



## Darstellung der Ergebnisse von Notschleppmanövern am Schiffsführungssimulator

### Auftraggeber:

Havariekommando

Gemeinsame Einrichtung des Bundes und der Küstenländer

### Gliederung

Gliederung.....	1
1 Einleitung .....	2
2 Aufgabenstellung .....	3
3 Untersuchungsmethodik.....	5
4 Simulationsvorgaben.....	8
4.1 Bemessungsschiffe .....	8
4.2 Seegebiete .....	14
4.3 Umweltbedingungen.....	14
5. Laufdurchführung .....	17
6. Ergebnisse .....	19
7. Schlußbemerkungen .....	32
Quellen.....	33

Prof. Dr.-Ing. Th. Böcker  
Professor für Schiffsführung  
Dipl.-Ing (FH) G. Tuschling

Warnemünde, 22. Mai 2006

Hochschule Wismar  
University of Technology, Business and Design  
Department of Maritime Studies  
Maritime Education and Training Centre Warnemünde



## 1 Einleitung

Am 03. Mai 2006 wurden im Auftrag des Havariekommandos am Schiffsführungssimulator des Maritimen Simulationszentrums Warnemünde (MSCW) der Hochschule Wismar am Fachbereich Seefahrt die Simulationsläufe von Notschleppmanövern durchgeführt. Von diesen Simulationsläufen wurden Messreihen zur

Ermittlung von  
TROSSENZÜGEN

nach den Vorgaben des Auftraggebers aufgenommen.

In dieser Ausarbeitung werden die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Simulationsläufe dargestellt. Wegen der Kürze der zur Auswertung zur Verfügung stehenden Zeit war eine vertiefende Darstellung nicht möglich.

Die Aufgabenstellung des Auftraggebers beinhaltete nicht die Bestimmung von Notschleppkapazitäten, das bedeutet, es bestand nicht die Aufgabe notwendige Pfahlzugkräfte für Schlepper zu ermitteln.

Die aufgenommenen Messreihen dienen dem Auftraggeber zur Festlegung von so genannten Standardtrossenzügen.

Die Ergebnisse sind in der vorliegenden Ausarbeitung zusammengefasst dargestellt. Der Anhang enthält die erforderlichen Diagramme und Datenaufstellungen.

Weiterhin wird eine Simulations-Replay (SimRec) Software zur Darstellung der Simulationsläufe auf einem PC bereitstellt.

In dieser Simulationssoftware ist ein nach den vom Auftraggeber vorgegebenen Algorithmen entwickeltes Zusatzmodul integriert wurden, das zur Weiterverarbeitung der aufgenommenen Messwerte dient.

## 2 Aufgabenstellung

Die vom Auftraggeber vorgegebene Aufgabenstellung umfasste die Aufgabe mit Hilfe von Simulationsläufen zu untersuchen, welche Trossenzüge anzusetzen sind, um verschiedene Bemessungsschiffe unter definierten Umwelt- und Seegebietsbedingungen von verschiedenen Schleppertypen in eine kontrollierte Lage zu bringen.

Die Simulationsläufe sollten mit Hilfe von komplexen Eigenschiffsmodellen für Schlepper und Havarist durchgeführt werden.

Dabei wirken die Schleppkräfte des Schleppereigenschiffsmodells auf den Havaristen und die ansetzenden Kräfte der Umweltbedingungen (Wind, Strom und gegebenenfalls Seegang) auf beide Eigenschiffe zur Berechnung der Kräftebilanz und dem daraus resultierenden Bewegungsverhalten der Bemessungsschiffe.

In den Läufen wurden vom Auftraggeber vorgegebene zwei Schleppstrategien genutzt. Dabei handelte es sich um

- das Querantauen des Havaristen durch den Schlepper aus einer Querposition des Schleppers zum Havaristen,
- das Längsantauen des Havaristen durch den Schlepper aus einer Position des Schleppers in Längsrichtung des Havaristen.

Nach dem Aufrichten gegen die hydrometeorologischen Bedingungen (gegen Wind und Strom) soll bei beiden Strategien die Drift aufgestoppt werden und nach Möglichkeit der Beharrungszustand eingestellt werden.

Bei den Simulationsläufen wurde keine Bedeutung

- auf das Anlaufen des Schleppers zum Havaristen
- auf die Manöver des Schleppers vor dem Bug des Havaristen zum Herstellen der Schleppverbindung

gelegt.

Die Schlepper befanden sich zum Simulationslaufbeginn auf der für die festgelegte Schleppstrategie erforderliche Position in Bezug auf den Havaristen. Dies bedeutet der Schlepper hatte sich in eine Position zum Havaristen gelegt, aus der der Schleppvorgang begonnen werden sollte. Die Schleppverbindung war jeweils hergestellt.



Dabei wurde die Länge der Schleppverbindung durch den Schlepperkapitän auf der Basis der Parameter des Havaristen und der Umweltbedingungen festgelegt.

Zum Beginn der Simulationsläufe waren keine Trossenzüge vorhanden. Das bedeutet der Schlepper befindet sich mit seinem System Schlepper – Leine – Havarist in der Phase „Lose Leine“.

Die Havaristen sind in einem schiffbaulich unbeschädigten Zustand. Die Ruderlage ist Null Grad.



### 3 Untersuchungsmethodik

Simulationsuntersuchungen an Schiffsführungssimulatoren zur Ermittlung von relevanten Parametern für den praktischen Schiffsführungsprozess sind grundsätzlich bewährte Verfahren. Auf eine ausführliche Diskussion der Validität von Simulationsuntersuchungen und die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis soll an dieser Stelle verzichtet werden; hierzu wird auf die im Abschnitt Quellen angegebene Literatur /1/, /2/, /3/ verwiesen.

Für die Genauigkeit der zu bewertenden physikalischen Größen sind im Wesentlichen die Präzision der Eingangsdaten und Modellgenauigkeit des verwendeten Schiffsführungssimulators verantwortlich. Der Schiffsführungssimulator (SHS) des Maritimen Simulationszentrums Warnemünde (MSCW) ist in seinem Gesamtkomplex eine technisch hochwertige Anlage (vgl. Anlage). Die verwendeten Modelle entsprechen dem Stand der Technik. Der Schiffsführungssimulator ist der Gruppe der Echtzeitsimulatoren zu zuordnen.

Durch bereits durchgeführte Simulationsübungen am Schiffsführungssimulator zum Notschleppen konnten Erfahrungen auf diesem Gebiet gesammelt werden. Als Schlepper und Havaristen wurden in der Simulation Eigenschiffsmodelle eingesetzt.

Die an den Simulationsläufen beteiligten Experten (Schlepperkapitäne des Auftraggebers und Schlepperkapitäne von Schleppreedereien) haben in den Übungen zum Ausdruck gebracht, dass die Simulationsübungen mit Eigenschiffsmodellen als Schlepper als sehr realitätsnah eingeschätzt werden kann.

Zur Bewertung der durchgeführten Simulationsläufe wurden

- das so genannte „EXPERT-RATING, und
- die Evaluierung der aufgezeichneten Daten

verwendet.

Die Bewertung der einzelnen Simulationsläufe erfolgte somit durch zwei unterschiedliche, sich gegenseitig ergänzende Methoden:

- I subjektive Bewertung: Expert Rating

Beim Verfahren des Expert Rating wird jeder Simulationslauf unmittelbar im Anschluss durch die beteiligten Experten in einem Debriefing-Gespräch ausführlich diskutiert und bewertet. An diesem moderierten Gespräch waren als Experten beteiligt:

- die an den Simulationsläufen beteiligten Kapitäne der Gewässerschutzschiffe (Experten des Auftraggebers),
- die Beobachter der Simulationsläufe (Experten des Havariekommandos und des MSCW/SHS).

Zur besseren Gliederung und Objektivierung der Aussagen im Expert Rating wurde folgende Schwerpunkte angesprochen:

- Bahnführung der Simulationsschiffe (Schlepper / Havarist)
- Einfluss von Wind und Strom auf die Simulationsschiffe (Schlepper / Havarist)
- System Schlepper – Leineverbindung - Havarist

Bei dem Debriefing-Gespräch erfolgte über eine Großbildprojektion ein Replay des Simulationslaufes, bei dem besonders interessante Phasen ausführlich dargestellt und kommentiert werden konnten. Das Replay unterstützte das Expert Rating, da hiermit objektive Parameter des Simulationslaufes (z.B. Schiffsgeschwindigkeiten, Trossenkräfte (Trossenzüge)) für die Diskussion zur Verfügung standen.

## II Evaluierung des Expert Rating durch aufgezeichnete Daten (Post-Processing)

Während der Simulationsläufe erfolgte eine Aufzeichnung von Simulationsdaten; hierbei wurden zwei Mechanismen eingesetzt:

### a) RECORDING/REPLAY

Jeder Simulationslauf wurde in Form eines sog. Recording aufgezeichnet. Diese Aufzeichnung erlaubt ein späteres „Abspielen“ des Laufes (REPLAY); hierbei können sämtliche Simulationsdaten verfügbar gemacht werden.

### b) LOGGING

Zusätzlich zum Recording wurden ausgewählte „physikalische“ Simulationsdaten aufgezeichnet. Diese Daten wurden in einer anschließenden Auswertephase weiter analysiert (Post-Processing). Diese Simulationsdaten können mit Hilfe der Simulations-Replay-Software SimRec in geeigneter Weise dargestellt werden. Es ist so möglich die Schiffsbahnen über die gesamte Laufdauer und auch einzelne Phasen des Laufes einer genaueren Analyse zu unterziehen. Dies ermöglichte Aussagen u.a. zu Seeraumverbräuchen und Schleppstrategien und somit eine Evaluierung der Aussagen des Expert Ratings.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die oben erläuterte Kombination von subjektiven und objektiven Bewertungsmethoden eine Evaluierung der Simulationsläufe ermöglichte.



Eine Analyse nach statistischen Verfahren hätte für jeden Untersuchungsbereich eine ausreichende Anzahl von Simulationsläufen unter identischen Bedingungen erfordert und somit den zeitlichen Rahmen der Messreihen gesprengt. Auf Grund des vorgegebenen Zeitrahmens war es nicht möglich weitere Simulationsläufe durchzuführen, so dass sich auf die vorhandene Anzahl der Läufe für die Darstellung der Ergebnisse beschränkt werden musste.

Die letztere Aussage muss unbedingt bei der Bewertung der Ergebnisse durch den Auftraggeber Beachtung finden.

## 4 Simulationsvorgaben

Zu den Simulationsvorgaben sind folgende Elemente zu zählen:

- die Bemessungsschiffe (Havaristen)
- die Schlepper
- die Seegebiete und
- die Umweltbedingungen

Diese Elemente werden nachfolgend näher dargestellt.

### 4.1 Bemessungsschiffe

Für die Lösung der Aufgabenstellung wurden vom Auftraggeber verschiedene Bemessungsschiffe (Havaristen) und Schlepper in ihren Daten vorgegeben. Dabei wurden für die unterschiedliche Seegebiete verschiedene Schiffstypen festgelegt. Die Auswahlkriterien für diese Bemessungsschiffe legte der Auftraggeber fest.

Folgende Bemessungsschiffe (Havaristen) wurden für die Simulationsläufe genutzt:

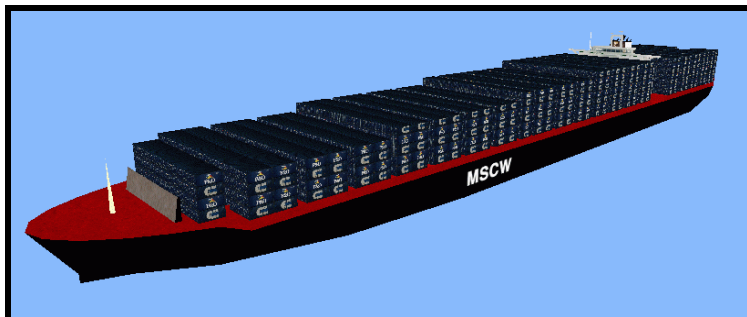


Abbildung 4.1: Sichtmodell des 9200 TEU-Containerschiffes

Containerschiff 9200 TEU (Nordsee)		
Länge über alles	337,00 m	
Länge in der Wasserlinie	330,00 m	
Breite	45,60 m	
Tiefgang	14,50 m	
Displacement	140.524 t	
Frontale Windangriffsfläche	1800 m <sup>2</sup>	
Laterale Windangriffsfläche	9500 m <sup>2</sup>	
Containerkapazität	9.200 TEU	

Tabelle 4.1: Schiffsdaten des 9.200 TEU-Containerschiffes



Abbildung 4.2: Sichtmodell des 13.000 TEU-Containerschiffes

Containerschiff 13000 TEU (Nordsee)		
Länge über alles	382,00 m	
Länge in der Wasserlinie	366,00 m	
Breite	54,20 m	
Tiefgang	15,00 m	
Displacement	207.515 t	
Frontale Windangriffsfläche	1974 m <sup>2</sup>	
Laterale Windangriffsfläche	10333 m <sup>2</sup>	
Containerkapazität	13.000 TEU	

Tabelle 4.2: Schiffsdaten des 13.000 TEU-Containerschiffes

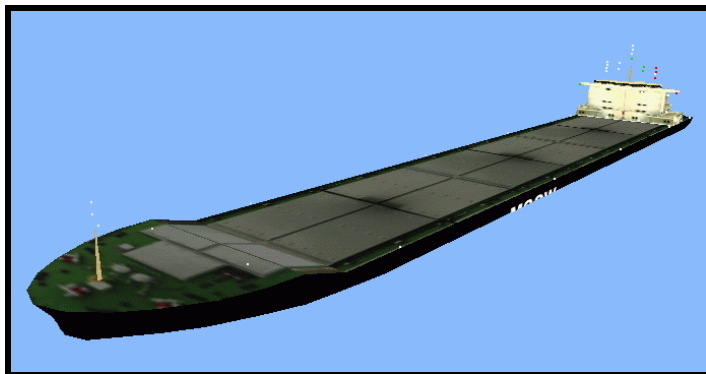


Abbildung 4.3: Sichtmodell des 135.000 t Tankers

Tanker 135000 t (Ostsee)		
Länge über alles	260,00 m	
Länge in der Wasserlinie	256,00 m	
Breite	43,00 m	
Tiefgang	13,14 m	
Displacement	134.000 t	
Frontale Windangriffsfläche	800 m <sup>2</sup>	
Laterale Windangriffsfläche	2000 m <sup>2</sup>	

Tabelle 4.3: Schiffsdaten des 135.000 t-Tankers

Als Schlepper kamen folgende Eigenschiffsmodelle zum Einsatz:

175 t Schlepper		
Länge über alles	88,00 m	
Länge in der Wasserlinie	81,00 m	
Breite	14,50 m	
Tiefgang	6,50 m	
Displacement	4.000 t	
Frontale Windangriffsfläche	160 m <sup>2</sup>	
Laterale Windangriffsfläche	530 m <sup>2</sup>	
Pfahlzug	ca. 175 t	

Tabelle 4.4: Schiffsdaten des 175 t Schleppers

110 t Schlepper		
Länge über alles	79,00 m	
Länge in der Wasserlinie	73,20 m	
Breite	18,00 m	
Tiefgang	5,00 m	
Displacement	4.153 t	
Frontale Windangriffsfläche	400 m <sup>2</sup>	
Laterale Windangriffsfläche	1000 m <sup>2</sup>	
Pfahlzug	ca. 110 t	

Tabelle 4.5: Schiffsdaten des 110t Schleppers

Die vom Auftraggeber geforderten Bemessungsschiffe wurden, soweit vorhanden, der Datenbank des Schiffsführungssimulators entnommen.

Zur Bewertung der Ergebnisse der Läufe wird in dieser Stelle auf den Einsatz von Eigenschiffsmodellen in der Simulation kurz eingegangen werden.

Für die Eigenschiffe werden grundsätzlich alle am Schiff wirkenden Kräfte in ihre Einzelkomponenten Längskräfte, Querkkräfte und die daraus resultierenden Momente zerlegt. Daraus erfolgt die Ermittlung der Kräfte- und Momentenbilanz aus der die resultierende Bewegung des Eigenschiffes berechnet wird. Weiterhin wird ebenfalls zur Laufzeit der Einfluss des dem Schiff umgebenen Mediums (Wasser) auf den Schiffskörper (Unterwasserschiffskörper) mit Hilfe von komplexen mathematischen Algorithmen berechnet. Diese Berechnungen erfolgen dynamisch unter Berücksichtigung der Anströmung und der Eigenbewegung des Schiffes.

## Havaristen

Für den Einsatz in den Simulationsläufen wurden die o.g. Bemessungsschiffe (Havaristen) falls erforderlich modifiziert.

Für das Fahrzeug Tanker / Ostsee wurde ein Eigenschiffsmodell aus dem Datenbestand des Schiffsführungssimulators genutzt.

Das 9.200 TEU Containerschiff ist ebenfalls ein am Schiffsführungssimulator vorhandenes Eigenschiffsmodell. Dieses Eigenschiffsmodell wurde auf der Grundlage der Schiffsdaten und Manövrierkennwerte erarbeitet und durch Praktiker verifiziert.

Schwierig gestaltete sich die Erarbeitung eines mathematischen Eigenschiffsmodells für das 13.000-TEU-Containerschiff. Für die Modellierung standen lediglich folgende Angaben zur Verfügung:

- ein Kennblatt mit den „Main Particulars“ (als Auszug aus einer Power-Point-Präsentation im pdf-Format) und
- zwei Datenblätter mit der Darstellung des Schiffes (vergleichbar mit einem Generalplan) und der Darstellung des Hauptspantquerschnittes („Midship-Section“); (als Auszug aus einer Power Point-Präsentation im pdf-Format)

Erschwerend kam dazu, dass die Darstellungen verzerrt waren.

Dieser geringe Datenumfang ermöglichte keine vollständige Modellierung des Bemessungsschiffes. Da keine Angaben zum Bewegungsverhalten vorlagen, war es nicht möglich die Hydrodynamik des Rumpfes des Schiffes genau abzubilden. Aus diesem Grund wurde auf vorhandene hydrodynamische Werte eines Containerschiffes zurückgegriffen, die an die vorliegenden Schiffsdaten angepasst wurden. Die vorhandenen Daten der Hauptabmessungen wurden eingepflegt.

Auf der Basis der vorliegenden Angaben wurden die Windangriffsflächen bestimmt und das Displacement abgeschätzt. Als Windkraftbeiwerte wurde auf vorhandene Werte aus dem am Schiffsführungssimulator vorhandenen Datenbestand zurückgegriffen, die der Schiffsform nahe kommen.

Es muss an dieser Stelle auf folgende Feststellung verwiesen werden:

Eine Einschätzung der Genauigkeit der Abbildung dieses Eigenschiffes hinsichtlich seines Bewegungsverhaltens ist schwer bzw. nicht möglich, da weder Prognosedaten für das Manövrierverhalten des Schiffsprojektes noch Echtdata aus der Praxis vorhanden waren.

Diese Aussage muß unbedingt bei Bewertung der Ergebnisse der Simulationsläufe mit diesem Bemessungsschiff durch den Auftraggeber Berücksichtigung finden.

### Schlepper

Als Schlepper wurden Eigenschiffe genutzt, die als modellierte numerische Modelle in gleicher Weise wie die als Havaristen genutzten Eigenschiffe in ihren Bewegungen gerechnet werden.

Diese Modelle wurden auf der Basis der von Auftraggeber übergebenen Daten (Manövrierdaten, Abbildungen usw.) entwickelt und durch erfahrene Schlepperkapitäne verifiziert. Dabei ist neben dem entsprechenden hydrodynamischen Modell ein Sichtmodell vorhanden, das ein realitätsbezogenes Schleppen von en Brücken aus ermöglicht.

Der Kraftangriffspunkt der Schleppverbindung auf dem Schlepper entspricht dem realen Angriffspunkt und kann variiert werden.

Dabei wurde das Schleppermodell „110 t-Schlepper“ bereits mehrfach in en Schleppübungen des Auftraggebers eingesetzt. Als Vorlage diente ein Mehrzweckfahrzeug mit Azimutantrieb (Gewässerschutzschiff „Neuwerk“).

Das Schleppermodell „Schlepper 175 t“ stellt einen fiktiven Schlepper dar. Es wurde auf der Grundlage der entsprechenden Daten (durch den Auftraggeber beigestellt) modelliert. Eine Grobverifizierung des Schleppers erfolgte durch einen erfahrenen Schlepperkapitän vor den Simulationsläufen. Die Grundlage für diesen Schlepper bildet ein Hochseeschlepper mit konventionellem Zweischraubenantrieb.

### Leinendarstellung

Die Nutzung von Eigenschiffsmodellen als Schlepper ermöglicht es, im Gegensatz zu der Nutzung von Fremdschiffsschleppern, die in ihrem Verhalten nicht wie Eigenschiffe reagieren und als Schleppverbindung eine „Schleppstange“ besitzen, eine Verbindung von Schlepper und Anhang mit realistisch reagieren den Leinen zu simulieren.

Es wurden in Abhängigkeit von der Leinenlänge und -art unterschiedliche Federkonstanten zur Abbildung des Verhaltens der Leinenverbindung genutzt.

Die Abbildung 4.4 zeigt den zeitlichen Verlauf von Trossenzügen eines Schleppereigenschiffsmodells während des Schleppvorganges.

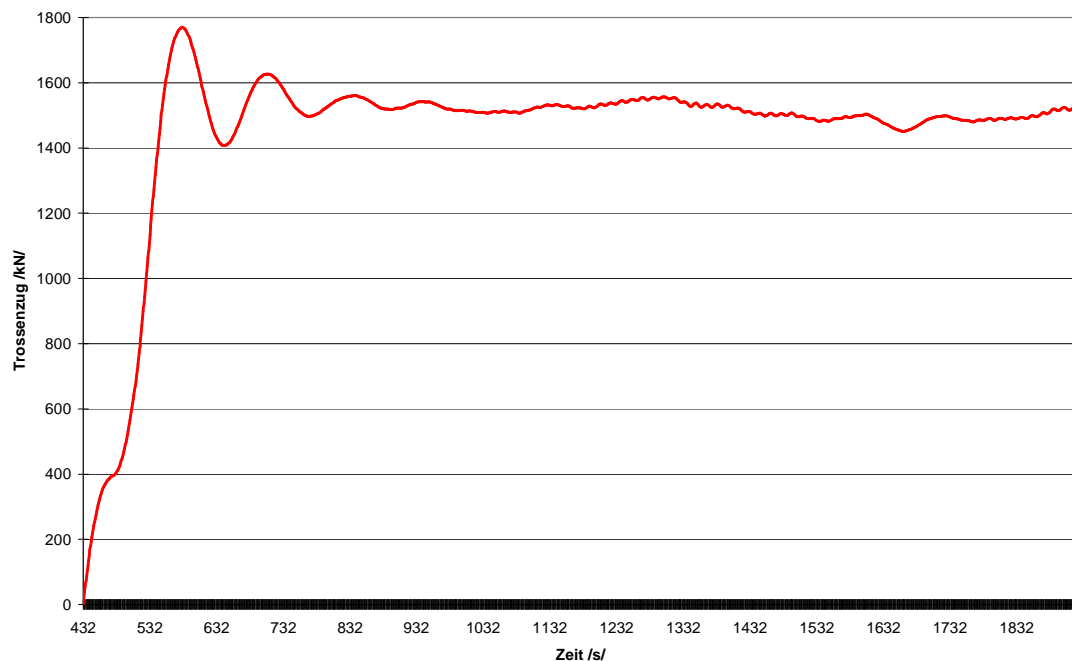


Abbildung 4.4: Verlauf der Trossenzüge über die Zeit

Deutlich sind folgende Effekte erkennbar:

- die Kräfte beim Eindampfen (Steiffahren) in die Leine (Simulationszeitraum: von 432 s bis ca. 750 s)
- Veränderungen durch das Manövrieren des Schleppers und
- Veränderung des Trossenzuges bei Fahrtaufnahme des Schleppers und des Havaristen.

Durch die auch auf den Schlepper wirkenden Umweltbedingungen, sowie durch das eigene Manövrieren des Schleppers kommt es zu Reduzierungen des verfügbaren Trossenzuges, die in der Simulation wiedergegeben werden. Die Bewertung von durchgeführten Schleppübungen durch Experten ergab, dass dieses Verhalten als realitätsnah eingeschätzt wird.

Da jedoch nicht alle Faktoren, die zur Veränderung des verfügbaren Trossenzuges führen vollständig in der Simulation abbildbar sind, sind Aussagen zum Schlepperwirkungsgrad nur durch die Simulation, wenn überhaupt machbar, nur mit Einschränkungen möglich.

## 4.2 Seegebiete

Als Simulationsgebiete kamen die Nordsee und die Ostsee zur Anwendung.

## 4.3 Umweltbedingungen

In den Simulationsläufen wurden die hydrometeorologischen Bedingungen durch die Umweltparameter

- Wind
- Strom und
- Seegang

gesetzt.

Dabei wurden folgende Bedingungen durch en Auftraggeber vorgegeben:

Wind

- Windrichtung
  - Westliche Windrichtungen
- Windstärke
  - Beaufort 9, in Böen Beaufort 11

Die Eigenschiffe wurden stets mit dem globalen Wind angeblasen. Dabei wurden in der Regel mittlere Windbedingungen entsprechend der Beaufort-Windstufenskala eingegeben. Eine Veränderung der Windrichtung lag im Größenbereich von ca.  $\pm 30^\circ$  um die eingegebene Windrichtung. Zur Simulation der Böigkeit des Windes wurde die Windgeschwindigkeit verändert.

Eine Veränderung der Windgeschwindigkeit, hervorgerufen durch die Oberflächenrauheit der See durch den Seegang war nicht vorhanden.

Die Wirkung des Windes ist vor allem für Schiffe mit großer Windangriffsfläche und bei langsamer Fahrt von Bedeutung.

Wichtig dafür sind das Verhältnis der Über- zur Unterwasserlateralfäche, ihre Form und die Lage der Schwerpunkte (Flächenmittelpunkte) zueinander sowie das Verhältnis Wind- zu Schiffsgeschwindigkeit und der Windangriffswinkel.

Infolge der Windanströmung ergibt sich eine Windkraft, die in die Schiffslängs- und Querrichtung zerlegbar ist. Neben der Windkraft ist das Windmoment die zweite Einflussgröße des Windes auf das jeweilige Schiff.

Diese Einflussgrößen erzeugen so lange ein Drehmoment, bis das Schiff seine stabile Lage gefunden hat. Dabei wird jedes Schiff eine Lage einnehmen, bei der kein Drehmoment mehr erzeugt wird. In der Regel wird ein Schiff in dieser so genannten stabilen Lage mit der maximalen Windkraft belastet. Diese Windkraft ist wiederum für die Winddriftgeschwindigkeit des Schiffes ausschlaggebend.

Durch die Simulationsläufe und durch die durchgeführten Simulationsschleppübungen wurde festgestellt, dass während des Schleppens bereits geringe Abweichungen der Lage des Havaristen zur Anströmungsrichtung des Windes zu schnellen Änderungen der Windkräfte und –momente führten.

Durch diese Änderungen kam es zum aus der Praxis bekannten Vorgang des

### „Durch-den-Wind-Gehen“

des Havaristen.

Hierbei können die auftretenden Kräfte unter Umständen den Havaristen wieder in eine Driftsituation bringen. Dieser Vorgang ist durch die Windkraft- und Windmomentenverläufe belegbar.

Diese Erscheinungen bzw. Wirkungen sind ebenso bei den Schleppern erkennbar. Durch die geringeren Windangriffsflächen sind diese Kräfte und Momente im Vergleich zu denen die die Havaristen ausgesetzt sind gering und können in der Regel durch den Schlepper beherrscht werden.

## Strom

Vom Auftraggeber wurden für die Simulationsläufe folgende Stromverhältnisse vorgegeben:

- Nordsee
  - 2 kn Strom; konstant
  - Ostrichtung
  
- Ostsee
  - 2 kn Strom; konstant
  - Ostrichtung

Dabei muss beachtet werden, dass dieser konstante Strom in Richtung und Stärke in der Praxis nur sehr selten vorhanden ist.

Wie auch der Wind hat auch der Strom Einfluss auf die Bewegungen des Schiffes. Dies drückt sich insbesondere durch eine seitliche Versetzung aus. Durch ungleiche Anströmung des Unterwasserschiffes ergeben sich zusätzlich zu den Stromkräften auch Momente (Drehmomente), die dem Schiff eine Lage aufzwingen. Somit wird jedes Schiff unter Stromeinwirkung (wenn kein Propulsionssystem / Antrieb wirkt) eine stabile Lage zum Strom einnehmen. In der Regel wird diese Lage quer zur Stromrichtung liegen. Das Schiff wird sich in der Regel mit einer maximalen Driftgeschwindigkeit bewegen, die die Stromgeschwindigkeit nicht übersteigt.



Für den Schleppprozess bedeutet dies, dass auch der Schlepper bei Beginn des Anschleppens von der Stromwirkung beeinflusst wird. Seine Zugkraft wird durch die Manöver zum Einnehmen der erforderlichen Lage gegen den Strom zum Havaristen reduziert.

## Seegang

Eine Einbeziehung der Wirkung des Seegangs in die Simulation des Bewegungsverhaltens der Eigenschiffe erfolgt durch ein Aufsetzen einer Störung auf die berechnete Drehgeschwindigkeit des Eigenschiffes.

Die Erfassung des statistischen Charakters dieser Störung erfolgt durch die Nachbildung der Störung mit Hilfe einer Zufallszahlfunktion. Die Auswirkungen dieser Störungsgröße sind stark von der Trägheit des Eigenschiffes abhängig.

Weiterhin erfolgt durch den Simulator die Berechnung von Stampf- und Rollbewegungen, die im Sichtsystem dargestellt werden.

Die Störung, die auf das Bewegungsverhalten des Schiffes aufmoduliert kann eine geringe Fahraufnahme des Eigenschiffes bewirken. Es muß an dieser Stelle festgestellt werden, dass sich diese Einflüsse mit dem weiteren auf das Eigenschiff wirkenden Kräften überlagern und somit die Bewegungen beeinflussen. Die Größe des Einflusses kann durch einen Seegangsfaktor beeinflusst werden. Es wurde der Faktor 3 in den Läufen eingestellt.

Weitere auf das mathematische Modell der Eigenschiffe wirkende hydrodynamische Einflüsse sind

- Flachwasser-Effekt
- Bank-Effekt und
- Passage-Effekt.

Dabei sind die beiden erst genannten Effekte für die Simulationsläufe nicht von Relevanz, da die Läufe nach Vorgaben des Auftraggebers auf ausreichend tiefen Wasser und nicht in der Nähe von Untiefen stattfanden.



## 5. Laufdurchführung

In den Simulationsläufen wurden erfahrene Schlepperkapitäne als durchführende Personen eingesetzt. Diese Experten wurden vom Auftraggeber bestimmt. Weiterhin war ein Vertreter des Auftraggebers bei der Durchführung der Läufe zugegen. Die Simulatorläufe wurden unter Leitung des Personals des Schiffsführungssimulators absolviert.

Vor dem Beginn der Simulationsläufe erfolgte eine Einführung in den Schiffsführungssimulator. Es wurde ein Briefing der entsprechenden Aufgabenstellung durchgeführt. Dabei wurde eine realistische Gestaltung der Versuchabläufe verwiesen.

Jeder Lauf wurde durch ein kompetentes Team des Schiffsführungssimulators überwacht. Es bestand ständig eine Kontrollmöglichkeit und Kommunikationsverbindung zwischen den Funktionsbereichen (Schiffsbrücken / Instruktorarbeitsplatz).

Den Schlepperkapitänen standen die normalen Navigationssysteme zur Positionsbestimmung zur Verfügung. Zur Darstellung der Leineparameter

- Länge der Leinenverbindung
- Richtung der Leine
- Zustand der Leinenverbindung
- Durchhang und
- Trossenzug

wurde ein separater Monitor genutzt, der den Zustand der Leinenverbindung in einer quasigrafischen Darstellung mit numerischen Werten anzeigte.

Die Kontrolle der Simulation erfolgte durch Informationsdisplays am Instruktorarbeitsplatz. Parallel zu der Replay-Aufzeichnung erfolgte eine zusätzliche Datenaufzeichnung, die als Datenquelle für die weitere Auswertung mit Hilfe der Simulation-Replay-Software dient.

Nach der Beendigung jedes Laufes erfolgte eine Besprechung über den abgefahrenen Lauf. Dieses Expert-Rating wurde von allen Teilnehmern durchgeführt. Falls erforderlich wurde die Replay-Funktion zur Bewertung genutzt.

Folgende Simulationsläufe wurden durchgeführt:

Lauf Nr.	Seegebiet	Havarist	Schlepper	Schlepp-strategie
1	Nordsee	13.000 TEU VCS	Schlepper 175 t	quer
2	Nordsee	13.000 TEU VCS	Schlepper 175 t	quer
3	Nordsee	13.000 TEU VCS	Schlepper 175 t	längs
4	Nordsee	9.200 TEU VCS	WSV 110 t	quer[längs]
5	Nordsee	9.200 TEU VCS	WSV 110 t	quer
6	Nordsee	9.200 TEU VCS	WSV 110 t	längs
7	Ostsee	134.000 t Tanker	WSV 110 t	quer
8	Ostsee	134.000 t Tanker	WSV 110 t	quer
9	Ostsee	134.000 t Tanker	WSV 110 t	längs

Tabelle 5.1: Simulationsläufe

Bemerkung:

- quer : Querantauen des Havaristen durch den Schlepper aus einer Querabposition des Schleppers zum Havaristen (ca. 90°)
- längs: Längsantauen des Havaristen durch den Schlepper aus einer Position des Schleppers in Längsrichtung des Havaristen

#### Laufbezeichnungen in der Simulationsreplay-Software

- 1) 06-00\_175t-Schlepper\_CV13000\_1
- 2) 06-00\_175t-Schlepper\_CV13000\_2
- 3) 06-00\_175t-Schlepper\_CV13000\_3
- 4) 06-00\_110t-Schlepper\_CV9200\_1
- 5) 06-00\_110t-Schlepper\_CV9200\_2
- 6) 06-00\_110t-Schlepper\_CV9200\_3
- 7) 06-00\_110t-Schlepper\_T135000\_1
- 8) 06-00\_110t-Schlepper\_T135000\_2
- 9) 06-00\_110t-Schlepper\_T135000\_3

## 6. Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse der Simulationsläufe erfolgt durch die Erläuterungen in diesem Abschnitt sowie durch die Darstellung der Ergebnisse in der Simulations-Replay-Software (SIMREC).

Es wurden insgesamt 9 Simulationsläufe für 3 verschiedene Schleppaufgabenstellungen durchgeführt.

### Schleppaufgabenstellung I: 175 t-Schlepper schleppt 13.000 TEU Containerschiff in der Nordsee

Für diese Aufgabenstellung wurden 3 Simulationsläufe durchgeführt. Als Strategien des Schleppens wurden zweimal das so genannte Querantauen und einmal das so genannte Längsantauen genutzt.

#### Simulationslauf Nr. 1 Querantauen (1)

Seegebiet	Nordsee	
Havarist	13.000 TEU VCS	
Schlepper	Schlepper 175 t	
Umweltbedingungen	Wind	Westlich Bft. 9, in Böen 11
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie	quer	
Max. Trossenzug	1661,3 kN	

Der Simulationslauf konnte als erfolgreich eingeschätzt werden. Durch die angewandte Schleppstrategie war es dem Schlepper möglich die Drift des Havaristen aufzustoppen, den Havaristen gegen Wind und Strom aufzurichten und ihn in Wind und Strom zu halten. Es war für den Schlepper schwierig den Havarist in einer stabilen Lage zu halten, da durch die Manöver zur Lagefixierung des Schleppers und durch die hydrometeorologischen Bedingungen Störungen erzeugt wurden sind, die die Lage und das Bewegungsverhalten des Havaristen stark beeinflussten.

Durch die Nutzung der maximal verfügbaren Leistung des Schleppers konnte der Havarist gegen Strom und Wind angeschleppt werden. Hier traten Trossenzüge im Bereich von 1500 kN und darüber auf.

In dieser Situation waren jedoch keine Reserven in der Leistung des Schleppers vorhanden, um auf eventuelle Störungen zu reagieren.

Dabei machte sich weiterhin erschwerend bemerkbar, dass alle Manöver des Schleppers zur Kurs- bzw. Lagefixierung auch gleichzeitig wie schon bemerkt Auswirkungen auf das Bewegungsverhalten des Anhangs hatten.

Wobei schon allein die Böigkeit des Windes eine ständige Bewegung des Havaristen durch eine laufende Veränderung der angreifenden Kräfte und somit Drehmomente bewirkte.

In der Abbildung 6.1 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

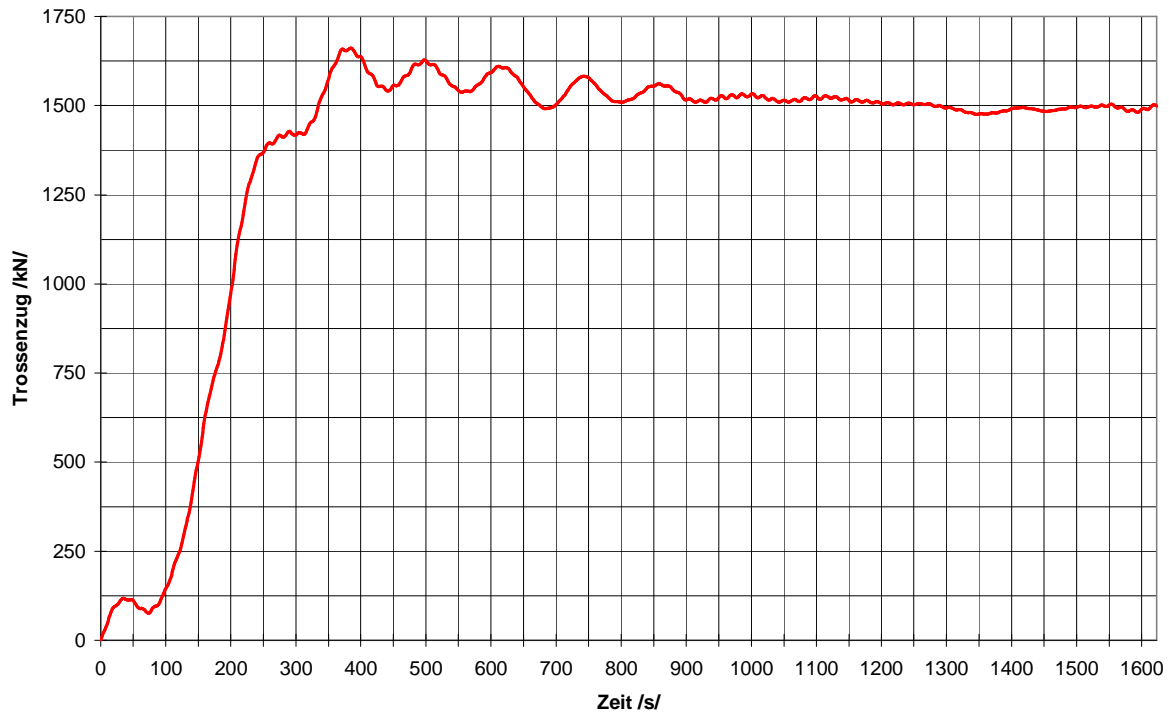


Abbildung 6.1: Verlauf des Trossenzuges Lauf 1 (Zeitzählung beginnt mit der Lastaufnahme)

#### Simulationslauf Nr. 2 Querantauen (2)

Seegebiet	Nordsee	
Havarist	13.000 TEU VCS	
Schlepper	Schlepper 175 t	
Umwelt- bedingungen	Wind	Westlich Bft. 9, in Böen 11
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie	quer	
Max. Trossenzug	1635,5 kN	

Analog zum Lauf 1 konnte auch dieser Simulationslauf als erfolgreich eingeschätzt werden. Durch Schleppstrategie war es dem Schlepper möglich die Drift des Havaristen aufzustoppen, den Havaristen gegen Wind und Strom aufzurichten und ihn in Wind und Strom zu halten.

Auch in diesem Lauf war es schwer möglich, den Anhang in einem Beharrungszustand zu versetzen.

Bedingt durch die Nutzung der maximal verfügbaren Leistung des Schleppers konnte der Havarist gegen Strom und Wind angeschleppt werden.

Die auftretenden Trossenzüge decken sich mit den im Lauf 1 ermittelten Größen.

Auch in dieser Situation waren jedoch keine Reserven in der Leistung des Schleppers vorhanden, um auf eventuelle Störungen zu reagieren. Wegen des geringen Zeitfensters war es nicht möglich weitere Läufe zur Verifizierung dieser Schleppstrategie durchzuführen.

Das Bewegungsverhalten des Anhangs war eindeutig durch ein ständiges Ändern der Heading gekennzeichnet. Dieses Verhalten ist in erster Linie auf die Einwirkungen durch die Böigkeit des Windes zurückzuführen.

Durch die langsame Geschwindigkeitsaufnahme des Schleppverbandes stellte sich eine gewisse Konstanz der Trossenzüge (Bereich von 1500 kN bis 1520 kN ein.

In der Abbildung 6.2 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

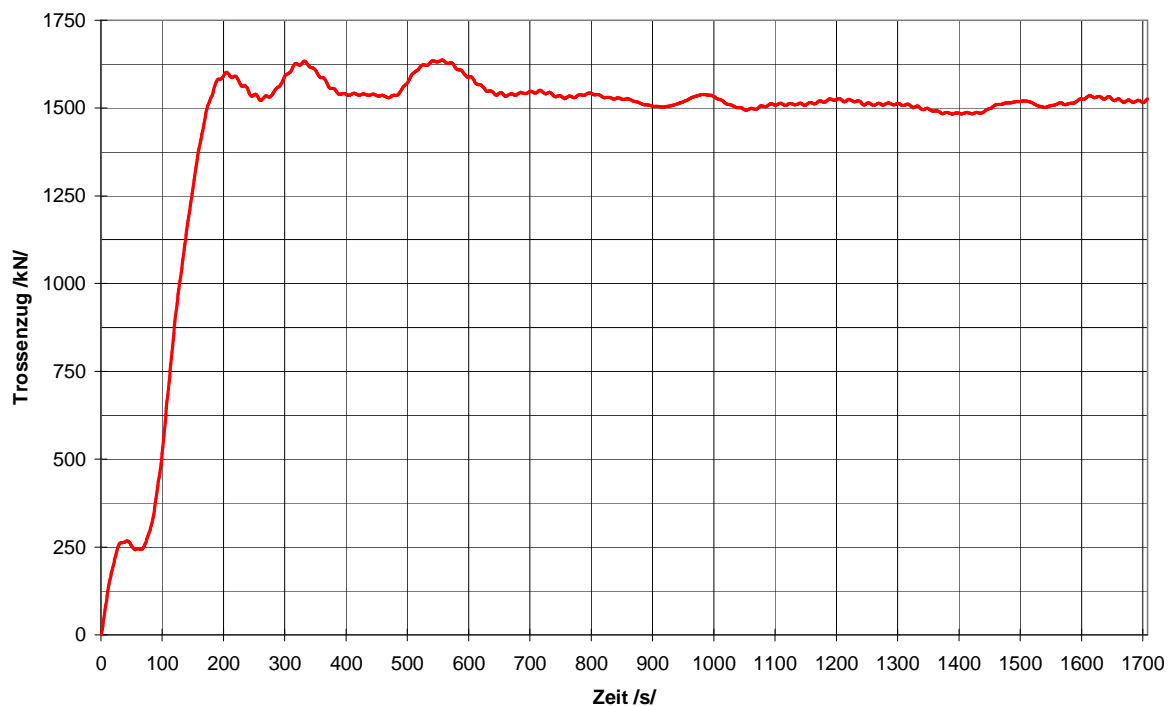


Abbildung 6.2: Verlauf des Trossenzuges Lauf 2 (Zeitzählung beginnt mit der Lastaufnahme)

### Simulationslauf Nr. 3 Längsantauen (1)

Seegebiet		Nordsee
Havarist		13.000 TEU VCS
Schlepper		Schlepper 175 t
Umwelt- bedingungen	Wind	Westlich Bft. 9, in Böen 11
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie		längs
Max. Trossenzug		1769,2 kN

Im Gegensatz zu den Läufen 1 und 2 wurden dieser Lauf mit der Schleppstrategie Längsanschleppen durchgeführt.

Durch diese Schleppstrategie war es dem Schlepper möglich die Drift des Havaristen aufzustoppen, den Havaristen gegen Wind und Strom aufzurichten und ihn in Wind und Strom zu halten.

Bei dieser Strategie zeigten sich in der Anfangsphase größere Trossenzüge, die durch den Schlepper nicht kompensiert werden konnten.

Nur durch das Nutzen der maximalen Leistung des Schleppers war es möglich in dieser Situation die Drift des Havaristen aufzustoppen. Weiterhin können die hohen Trossenzüge auf die zusätzlichen Scherkräfte des Schleppers bei Achterausfahrt zurückgeführt werden.

Auch in dieser Situation waren jedoch keine Reserven in der Leistung des Schleppers vorhanden, um auf eventuelle Störungen zu reagieren. Nach Vorgaben des Auftraggebers wurden für diese Schleppstrategie keine weiteren Läufe durchgeführt. Es hat sich auch in diesem Lauf gezeigt, dass es schwer möglich ist, den Anhang in eine stabile Lage zu bringen, da durch die Einwirkungen des Windes ständig neue Drehmomente zu kompensieren sind.

In der Endphase des Laufes hatte, wie bereits bemerkt, der Verband eine leichte Vorausfahrt erreicht. In dieser Phase lagen die Trossenzüge im Bereich von 1490 kN bis 1525 kN.

Die Trossenzüge liegen zu Beginn des Schleppprozesses über den Werten der Läufe 1 und 2.

In der Abbildung 6.3 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

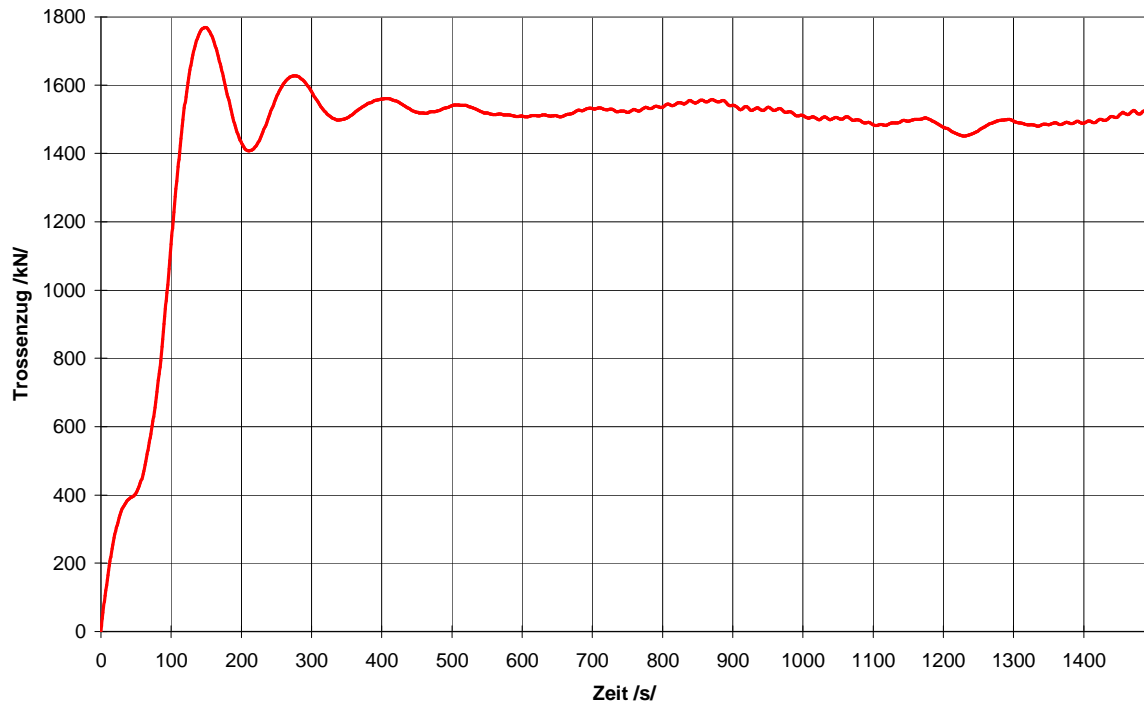


Abbildung 6.3: Verlauf des Trossenzuges Lauf 3 (Zeitählung beginnt mit der Lastaufnahme)

### Schleppaufgabenstellung II: 110 t-Schlepper schleppt 9.200 TEU Containerschiff in der Nordsee

Für diese Aufgabenstellung wurden 3 Simulationsläufe durchgeführt. Als Strategien des Schleppens wurden zweimal das so genannte Querantauen und einmal das so genannte Längsantauen genutzt.

Simulationslauf Nr. 4 Querantauen (1)[längs]

Seegebiet		Nordsee
Havarist		9.200 TEU VCS
Schlepper		Schlepper 110 t
Umwelt- bedingungen	Wind	Westlich Bft. 9
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie		quer/längs
Max. Trossenzug		1080,1 kN

Der Simulationslauf konnte als nicht erfolgreich eingeschätzt werden. Da ein Querantauen für diese Situation zu keinem positiven Ergebnis führte (vgl. Lauf 5) wurde in diesem Lauf eine Veränderung der Schleppstrategie vorgenommen.

In diesem Lauf wurde versucht durch ein mehr Längsanschleppen den Havaristen in einen Beharrungszustand (stabile Lage zu Wind und Strom) zu bringen. Dies war durch die angewandte Schleppstrategie nur kurzzeitig möglich. Es konnte die Drift des Havaristen nur unwesentlich aufgestoppt werden. Ein Aufrichten des Havaristen gegen Wind und Strom war ebenfalls nur kurzzeitig möglich. Der Schlepper konnte den Anhang nicht gegen Wind und Strom halten.

Das gesamte Manöver war dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Leistung des Schleppers genutzt wurde.

Aus den Laufdarstellungen ist ersichtlich, dass sich der Schlepper nach dem Aufrichten des Havaristen nicht auf Position halten konnte. Diese Aussagen sind auch durch den Verlauf der Trossenzüge belegbar. Sie liegen diese zum Ende des Laufes im Bereich von 900 kN bis 1000 kN. Im zweiten Drittel des Laufes sind Trossenzüge um 875 kN vorhanden. Dieser Zeitraum umfasst den Bereich, als der Anhang eine leicht Vorkomponente der Geschwindigkeit in seine Längsschiffsrichtung hatte.

In der Abbildung 6.4 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

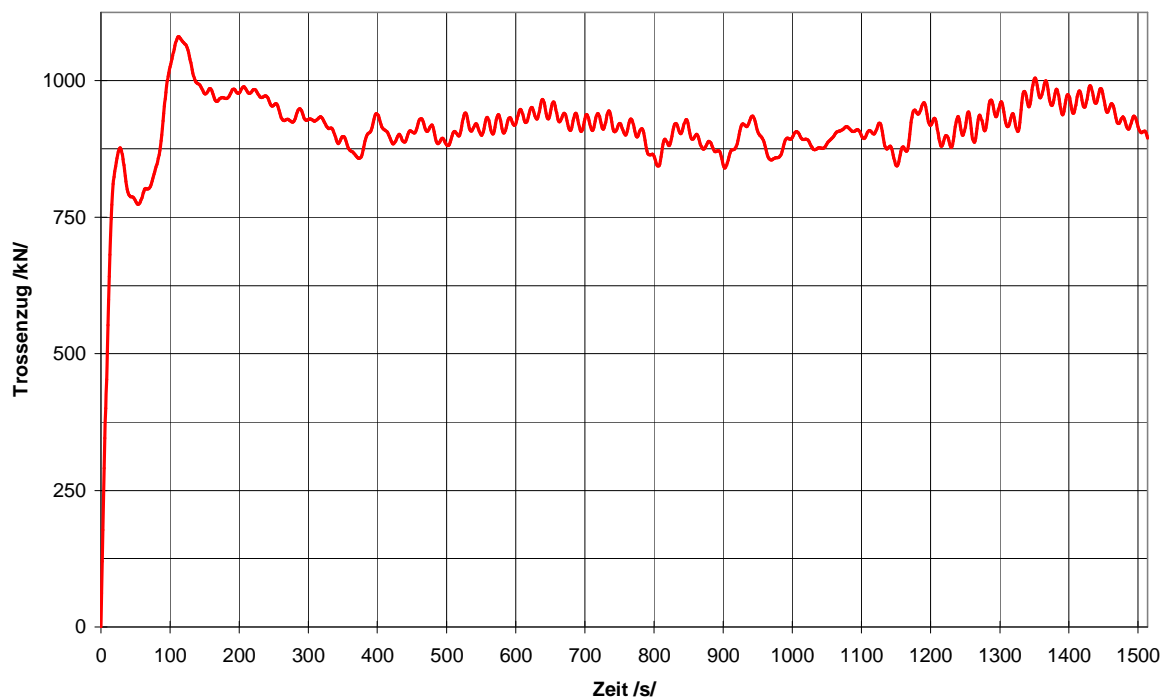


Abbildung 6.4: Verlauf des Trossenzuges Lauf 4 (Zeitählung beginnt mit der Lastaufnahme)

### Simulationslauf Nr. 5 Querantauen (2)

Seegebiet		Nordsee
Havarist		9.200 TEU VCS
Schlepper		Schlepper 110 t
Umwelt- bedingungen	Wind	Westlich Bft. 9, in Böen 11
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie		quer
Max. Trossenzug		1140,7 kN

Der Simulationslauf konnte ebenfalls als nicht erfolgreich eingeschätzt werden. In diesem Lauf traten die größten Trossenzüge auf. Durch die angewandte Schleppstrategie war es dem Schlepper nicht möglich die Drift des Havaristen vollständig aufzustoppen.

Ein Aufrichten des Havaristen gegen Wind und Strom war nur kurzzeitig möglich. Es gelang dem Schlepper nicht, den Anhang gegen Wind und Strom halten. Der Verlauf des Trossenzuges zeigt anschaulich wie durch die Lageveränderungen des Schleppers Veränderungen im Trossenzug hervorgerufen wurden. Im letzten Drittel des Laufes lagen die Trossenzüge im Bereich von oberhalb 900 kN bis zu 1000 kN.

Nach dem Aufrichten des Havaristen konnte sich der Schlepper nicht auf Position halten. Es wurde die maximale Leistung des Schleppers genutzt.

In der Abbildung 6.5 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

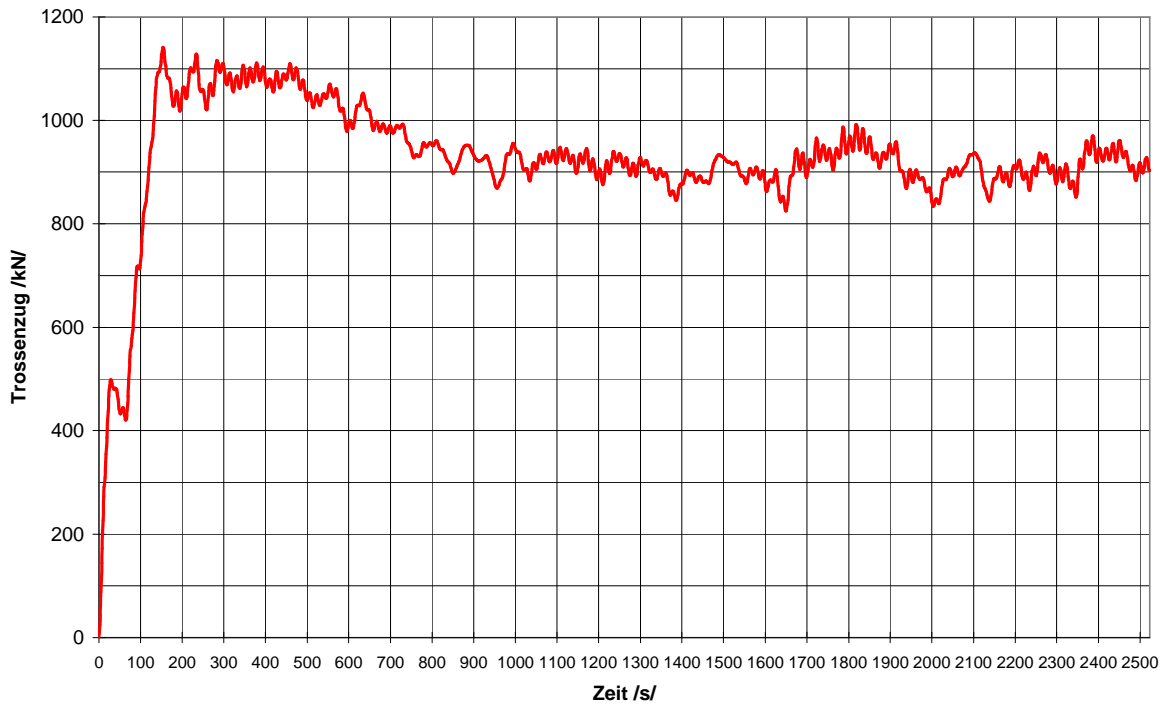


Abbildung 6.5: Verlauf des Trossenzuges Lauf 5 (Zeitählung beginnt mit der Lastaufnahme)

#### Simulationslauf Nr. 6 Längsantauen (1)

Seegebiet		Nordsee
Havarist		9.200 TEU VCS
Schlepper		Schlepper 110 t
Umweltbedingungen	Wind	Westlich Bft. 9, in Böen 11
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie		Längs
Max. Trossenzug		1099,9 kN

Der Simulationslauf konnte ebenfalls als nicht erfolgreich eingeschätzt werden. Durch die angewandte Schleppstrategie war es dem Schlepper nur kurzzeitig möglich die Drift des Havaristen aufzustoppen. Ein Aufrichten des Havaristen gegen Wind und Strom war ebenfalls nur kurzzeitig möglich. Der Schlepper konnte den Anhang nicht gegen Wind und Strom halten.

Es wurde die maximale Leistung des Schleppers genutzt. Der Verlauf des Trossenzuges weist im Gegensatz zu den Läufen mit Querantauen einen teilweise geringeren Trossenzug auf. Hier ist zu erkennen, dass dem Schlepper gelang kurzzeitig den Havaristen zuhalten.

Nach dem Aufrichten des Havaristen konnte der Schlepper nicht auf Position gehalten werden.

In der Abbildung 6.6 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

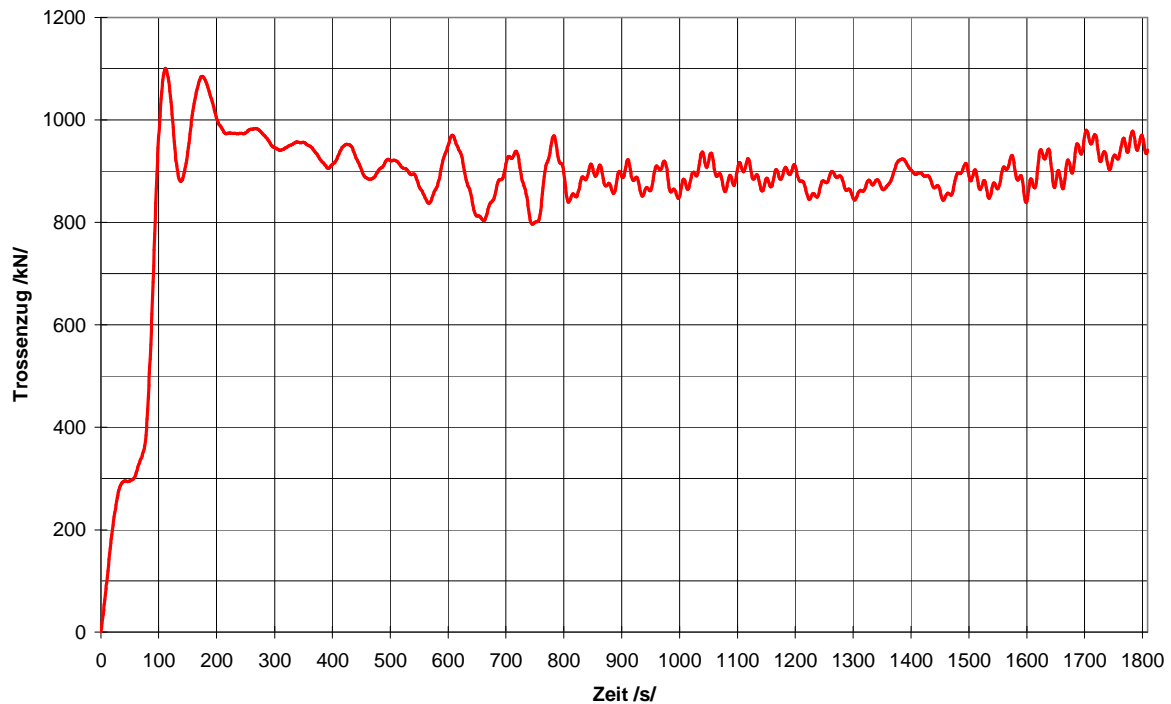


Abbildung 6.6: Verlauf des Trossenzuges Lauf 6 (Zeitählung beginnt mit der Lastaufnahme)

### Schleppaufgabenstellung III: 110 t-Schlepper schleppt 135.000 Tanker in der Ostsee

Für diese Aufgabenstellung wurden 3 Simulationsläufe durchgeführt. Als Strategien des Schleppens wurden zweimal das so genannte Querantauen und einmal das so genannte Längsantauen genutzt.

#### Simulationslauf Nr. 7 Querantauen (1)

Seegebiet		Ostsee
Havarist		135.000 Tanker
Schlepper		Schlepper 110 t
Umwelt- bedingungen	Wind	Westlich Bft. 9, in Böen 11
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie		quer
Max. Trossenzug		1153,4 kN

Der Simulationslauf konnte als erfolgreich eingeschätzt werden. Durch die angewandte Schleppstrategie war es dem Schlepper möglich die Drift des Havaristen aufzustoppen. Ein Aufrichten des Havaristen gegen Wind und Strom war möglich. Der Schlepper konnte den Anhang gegen Wind und Strom halten.

Es wurde die maximale Leistung des Schleppers genutzt.

Nach dem Aufrichten des Havaristen konnte sich der Schlepper auf Position halten bzw. den Havaristen gegen Wind und Strom anschleppen.

Die Darstellung des Verlaufes der Trossenzüge zeigt eindeutig, dass es sehr schwierig bzw. kaum möglich ist den Havaristen in einen Beharrungszustand zu versetzen.

Diese Aussage deckt sich auch mit der in den Simulationsübungen von allen Experten vertretenden Meinung, dass aufgrund der Einwirkungen der aktuellen Umweltbedingungen laufend Manöver des Schleppers erforderlich sind um seine Position (Lage) in der See zu stabilisieren. Neben diesen Manövern muss der Schlepperkapitän bestimmte Bewegungen des Anhangs kurzfristig prognostizieren und darauf in kurzer Zeit reagieren. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn der Schlepper an seine maximale Leistungsfähigkeitsgrenze arbeitet.

In der Abbildung 6.7 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

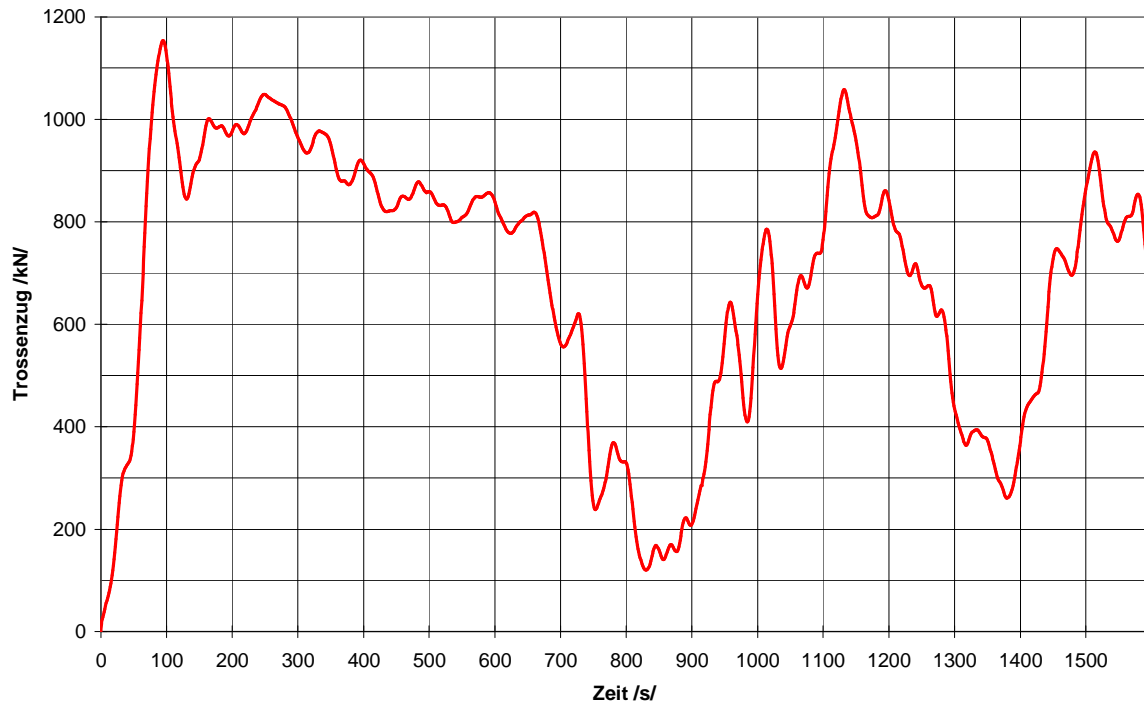


Abbildung 6.7: Verlauf des Trossenzuges Lauf 7 (Zeitählung beginnt mit der Lastaufnahme)

#### Simulationslauf Nr. 8 Querantauen (2)

Seegebiet	Ostsee	
Havarist	135.000 Tanker	
Schlepper	Schlepper 110 t	
Umwelt- bedingungen	Wind	Westlich Bft. 9, in Böen 11
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie	quer	
Max. Trossenzug	1045,4 kN	

Der Simulationslauf konnte als erfolgreich eingeschätzt werden. Durch die angewandte Schleppstrategie war es dem Schlepper möglich die Drift des Havaristen aufzustoßen. Ein Aufrichten des Havaristen gegen Wind und Strom war ebenfalls möglich. Der Schlepper konnte den Anhang gegen Wind und Strom halten.

Bei diesem Manöver wurde die nicht immer die maximale Leistung des Schleppers genutzt.

Nach dem Aufrichten des Havaristen konnte sich der Schlepper auf Position halten bzw. den Havaristen gegen Wind und Strom anschleppen.  
In der Abbildung 6.8 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

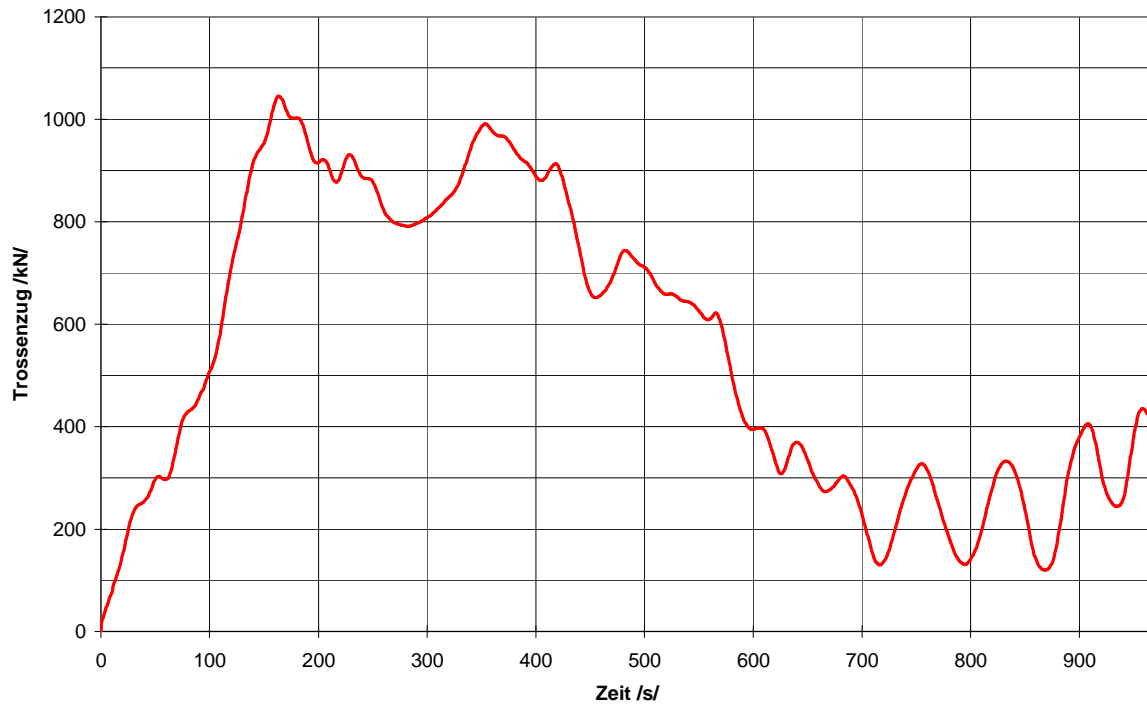


Abbildung 6.8: Verlauf des Trossenzuges Lauf 8 (Zeitzählung beginnt mit der Lastaufnahme)

#### Simulationslauf Nr.9 Längsantauen (1)

Seegebiet	Ostsee	
Havarist	135.000 Tanker	
Schlepper	Schlepper 110 t	
Umweltbedingungen	Wind	Westlich Bft. 9, in Böen 11
	Strom	2,0 kn Ost
	Seegang	3
Schleppstrategie	längs	
Max. Trossenzug	729,6 kN	

Der Simulationslauf konnte als erfolgreich eingeschätzt werden. Durch die angewandte Schleppstrategie war es dem Schlepper möglich die Drift des Havaristen aufzustoppen. Ein Aufrichten des Havaristen gegen Wind und Strom war ebenfalls möglich. Der Schlepper konnte den Anhang gegen Wind und Strom halten.

Für dieses Manöver wurde die ca. 96 % der maximalen Leistung des Schleppers genutzt.

Nach dem Aufrichten des Havaristen konnte sich der Schlepper auf Position halten bzw. den Havaristen gegen Wind und Strom anschleppen. Dazu war die maximale Leistung erforderlich. Im Vergleich zu den Läufen 7 und 8 waren die auftretenden Trossenzüge geringer.

Es zeigt aber, dass die Trossen in ihren Spitzenwerten deutlich oberhalb 700 kN lagen. Diese Trossenzugwerte waren über den gesamten Lauf vorhanden, und traten nicht nur zum Beginn des Laufes auf.

In der Abbildung 6.9 ist der Verlauf des Trossenzuges dargestellt.

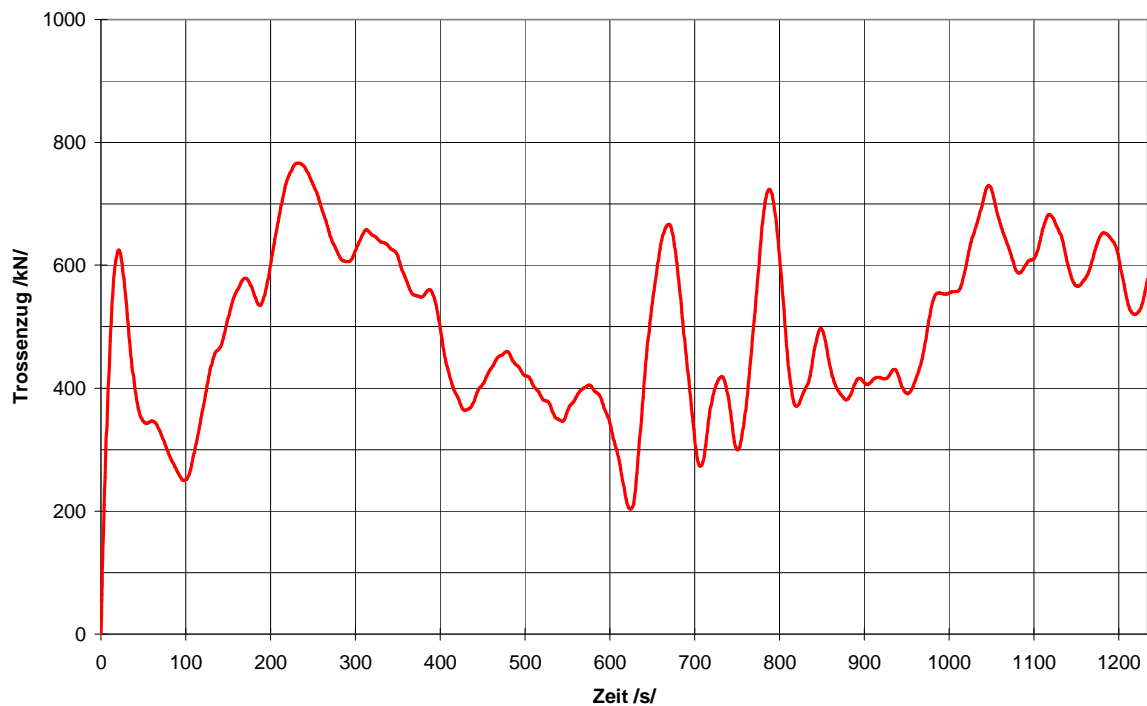


Abbildung 6.9: Verlauf des Trossenzuges Lauf 9 (Zeitählung beginnt mit der Lastaufnahme)



## 7. Schlußbemerkungen

Dieser Ergebnisdarstellung lagen insgesamt 9 Simulationsläufe zugrunde.

Dabei wurden jeweils 3 unterschiedliche Schleppkonfigurationen (Schleppaufgabenstellungen) betrachtet.

In den durchgeführten Läufen haben sich Trossenzüge eingestellt, die

- durch die gegebenen Umwelteigenschaften,
- die verwendeten Schleppermodelle und
- die Bemessungsschiffe für Havaristen

unter Simulationsbedingungen auftreten können.

Die Bewertung der Läufe zeigte, welche Trossenzüge für bestimmte Schleppstrategien erforderlich sind. Dabei wurde auch deutlich, dass Leistungsreserven der Schlepper die Sicherheit des Notschleppvorganges erheblich erhöhen. So ist es den Schlepperkapitänen möglich, Störungen (wie Fahrfehler, unvorhersehbares Verhalten des Anhangs, usw.) zu korrigieren.

Dies zeigten die Läufe zur Schleppaufgabenstellung III (Tanker, Ostsee). Hier waren zeitweise noch Reserven beim Schlepper vorhanden. Dadurch war es dem Schlepperkapitän fast immer möglich den Anhang zu beherrschen.

Anders sind die Läufe der Schlepperaufgabenstellung II (9200 TEU Containerschiff, Nordsee) zu bewerten. Diese Läufe konnten als nicht erfolgreich eingeschätzt werden. Trotz der Nutzung der maximalen Leistung aller Propulsionssysteme war es dem eingesetzten Schleppermodell nicht möglich den Havaristen in eine kontrollierte Driftlage zu versetzen.

Die Simulationsläufe der Schleppaufgabenstellung I (13000 TEU Containerschiff, Nordsee) ist unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.1 vorgenommenen Feststellungen zum mathematischen Simulationsmodell des Havaristen zu bewerten.

Die Läufe zeigten auf, welche Trossenzüge für dieses fiktive Containerschiff unter den gegebenen Bedingungen im Simulator erforderlich sein können, um den Notschleppvorgang erfolgreich zu gestalten.

Mit Hilfe der Simulationssoftware SimRec ist es möglich weitere Daten über den gesamten Simulationsverlauf darzustellen.



## Quellen

- /1/ Simulationsstudie „Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt“.- Untersuchungsphase II, Abschlußbericht. Institut of Ship Operation, Maritime Transport and Simulation (ISSUS).- Hamburg, Februar 1997.
- /2/ Simulationsstudie „Voruntersuchung zur weiteren Fahrrinnenanpassung der Ostansteuerung von Stralsund“ Abschlußbericht, Hochschule Wismar, University of Technology, Business and Design, Fachbereich Seefahrt Warnemünde, Juli 2004
- /3/ Simulationsstudie „Voruntersuchungen zur weiteren Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe“ - Durchführung von Versuchen im Schiffsführungssimulator.- Abschlußbericht, Hochschule Wismar, University of Technology, Business and Design, Fachbereich Seefahrt Warnemünde, Juni 2004