



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorthesis

Jens-Peter Sendelbach

Modellgestützte Telegrammgenerierung für den
Test von Navigationssystemen

Jens-Peter Sendelbach
Modellgestützte Telegrammgenerierung für den Test
von Navigationssystemen

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr.-Ing. Jochen Maaß
Zweitgutachter : Prof. Dr. Heike Neumann

Abgegeben am 3. März 2016

Jens-Peter Sendelbach

Thema der Bachelorthesis

Modellgestützte Telegrammgenerierung für den Test von Navigationssystemen

Stichworte

NMEA, Nautik, Schiffssimulation, Modellbildung, Delphi, Bedienoberfläche, Schnittstelle, Navigationssystem

Kurzzusammenfassung

Diese Thesis umfasst eine modellgestützte Telegrammgenerierung zum Testen von Navigationssystemen. Eine für diesen Zweck in Delphi programmierte Software generiert mit Hilfe einer entwickelten Schiffssimulation sinnvolle Dateninhalte der Telegramme. Die Übertragung der Telegramme an das Navigationssystem erfolgt auf bis zu acht seriellen Schnittstellen.

Jens-Peter Sendelbach

Title of the paper

Model-based generation of telegrams to test navigation systems

Keywords

NMEA, nautical science, ship simulation, modeling, Delphi, operating interface, interface, navigation system

Abstract

This thesis includes a model-based generation of telegrams which enable tests of navigation systems. Therefore, a ship simulation software was programmed in Delphi which generates major data of the telegrams. The transmission of the telegrams to the navigation system occurs in up to eight serial ports.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich zunächst Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Maaß danken, der diese Thesis als Erstprüfer betreute. Bei Fragen fand er stets Zeit für ein persönliches Gespräch. Mit großem Engagement und Interesse setzte er wichtige Impulse. Mein Dank gilt auch Frau Prof. Dr. Heike Neumann für die Betreuung der Thesis als Zweitprüferin.

Weiterhin möchte ich meinem innerbetrieblichen Betreuer Herrn Dieter Goretzky danken, der mich jederzeit bei der Bewältigung von Problemen unterstützt und die notwendigen Rahmenbedingungen für die Durchführung der Thesis geschaffen hat.

Außerdem möchte ich meiner Familie danken, die mich im Verlauf meines Studiums zu jeder Zeit unterstützt hat und mich auch in schwierigen Zeiten motivierte.

Schließlich danke ich meiner Lerngruppe für die schöne gemeinsame Zeit.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
1. Einleitung	9
1.1. Wärsilä SAM Electronics GmbH	9
1.2. Problemstellung	9
2. Grundlagen	10
2.1. Nautik	10
2.1.1. Meridiane und Breitenparallele	10
2.1.2. Geografische Breite und Länge	11
2.1.3. Seemeile und Knoten	12
2.1.4. Breiten- und Längenunterschied	13
2.1.5. Verfahren der Mittelbreite	14
2.1.6. Magnetische Abweichung	16
2.2. NMEA	17
2.2.1. Aufbau der Telegramme	17
2.2.2. Bildung der Prüfsumme	17
3. Anforderungen	18
4. Modellbildung	19
4.1. Wind-, Wasser- und Tiefenmodell	19
4.1.1. Reihenentwicklungen	20
4.1.2. Funktionen	20
4.1.3. Gegenüberstellung	21
4.2. Schiffsmanövriermodell	22
4.2.1. Drehzahl	22
4.2.2. Geschwindigkeit	23
4.2.3. Ruder	23
4.2.4. Drehrate	24
4.2.5. Richtung	25
4.2.6. Position	25

4.2.7. Simulation	26
4.2.8. Diskretisierung	28
4.3. Erweiterung und Anpassung	29
4.3.1. Drift	29
4.3.2. Kurs	30
4.3.3. Position	31
4.3.4. Relative Windgeschwindigkeit	31
4.3.5. Längs- und Quergeschwindigkeiten	32
4.3.6. Magnetische Abweichung	33
4.4. Anlegemanöver	34
5. Implementierung	38
5.1. Architektur	38
5.2. Fehlervermeidung	39
5.3. Bedienoberflächen	40
5.3.1. Telegramme	40
5.3.1.1. Proprietäre Telegramme	40
5.3.1.2. Standardisierte Telegramme	41
5.3.1.3. Zusätzliche Telegramme	42
5.3.2. Simulation	43
5.3.2.1. Schiffsmanövriermodell	44
5.3.2.2. Wind-, Wasser- und Tiefenmodell	45
5.3.2.3. Sonstiges	46
5.3.3. Schnittstellen	46
5.4. Erweiterung	47
5.4.1. Speichern und Laden von Einstellungen	47
5.4.2. Protokollieren gesendeter Telegramme	49
6. Exemplarische Überprüfung	50
6.1. Wind-, Wasser- und Tiefenmodell	50
6.2. Schiffsmanövriermodell	51
6.3. Relative Windgeschwindigkeit	53
6.4. Anlegemanöver	53
7. Fazit und Ausblick	55
Literaturverzeichnis	56
Symbolverzeichnis	57
A. Anhang	59

Abbildungsverzeichnis

2.1. Meridiane und Breitenparallele	10
2.2. Geografische Breite und Länge	11
2.3. Verfahren der Mittelbreite	14
2.4. Magnetische Abweichung	16
4.1. Gegenüberstellung von Reihenentwicklung und Funktion	21
4.2. Modellteil der Drehzahl	22
4.3. Modellteil der Geschwindigkeit	23
4.4. Modellteil der Ruderlage	24
4.5. Modellteil der Drehrate	24
4.6. Modellteil der Richtung	25
4.7. Modellteil der Position	25
4.8. Vorgabe der Drehzahl und Ruderlage für die Simulation	26
4.9. Simulation der Geschwindigkeit, Ruderlage, Drehrate und Richtung	27
4.10. Simulation der Position	28
4.11. Exemplarische Darstellung eines Anlegemanövers	34
5.1. Architektur der erstellten Software	38
5.2. Bedienoberfläche der proprietären Telegramme	41
5.3. Bedienoberfläche der standardisierten Telegramme	42
5.4. Bedienoberfläche der zusätzlichen Telegramme	43
5.5. Bedienoberfläche zum Steuern der Simulation bzw. Übertragung	43
5.6. Bedienoberfläche des Schiffsmanövriermodells	44
5.7. Bedienoberfläche des Wind-, Wasser- und Tiefenmodells	45
5.8. Bedienoberfläche für sonstige Einstellungen	46
5.9. Bedienoberfläche einer Schnittstelle	47
5.10. Exemplarischer Aufbau einer INI-Datei	48
5.11. Protokollierung gesendeter Telegramme	49
6.1. Überprüfung des Wind-, Wasser- und Tiefenmodells	51
6.2. Überprüfung des Schiffsmanövriermodells	52
6.3. Überprüfung der relativen Windgeschwindigkeit	53
6.4. Überprüfung des Anlegemanövers	54

A.1. Schiffsmanövriermodell in Matlab Simulink (Fachgespräch)	59
A.2. Schiffsmanövriermodell in Matlab Simulink (Erweiterung)	60
A.3. Bedienoberfläche der Software	61

1. Einleitung

1.1. Wärtsilä SAM Electronics GmbH

Die Wärtsilä SAM Electronics GmbH ist einer der weltweit führenden Ausrüster auf dem Gebiet der maritimen Schiffselektrik und -elektronik. Das Unternehmen mit Hauptsitz in Hamburg beschäftigt weltweit mehr als 1600 Mitarbeiter. Es verfügt über mehr als hundert Jahre Erfahrung und entwickelt und fertigt Produkte für verschiedenste Schiffstypen. Die Produktpalette reicht dabei von Energie- und Antriebstechnik bis hin zu Automations-, Navigations- und Kommunikationstechnik.

1.2. Problemstellung

Eine der Aufgaben des Navigationssystems Nacos Platinum der Wärtsilä SAM Electronics GmbH liegt in der Visualisierung von Daten, die mittels NMEA-Telegrammen zur Verfügung gestellt werden. Diese Visualisierung ist nur zum Teil fest vorgegeben. Je nach Schiffstyp und Kundenwunsch kommt es hier zu Anpassungen. Für die Darstellung auf den Monitoren werden verschiedene Symbole übereinander gelegt und datenabhängig ein- bzw. ausgeblendet. Eine Erprobung bzw. ein Test der angepassten Visualisierungen ist aufgrund einer fehlenden Simulationsumgebung nicht möglich. Infolgedessen kann es zu fehlerhaften Darstellungen beim Kunden und kostenintensiven Servicearbeiten kommen.

2. Grundlagen

2.1. Nautik

2.1.1. Meridiane und Breitenparallele¹

Für die geografische Bestimmung von Orten auf der Erdoberfläche ist diese mit einem Gitternetz, welches in [Abbildung 2.1](#) dargestellt ist, belegt. Die Pole werden hierbei durch die Schnittpunkte der Erdachse mit der Erdoberfläche definiert. Nord- und Südpol sind durch Halbkreise, auch Längengrade oder Meridiane genannt, verbunden. Orthogonal zu den Meridianen verlaufen die kreisförmigen Breitenparallele.

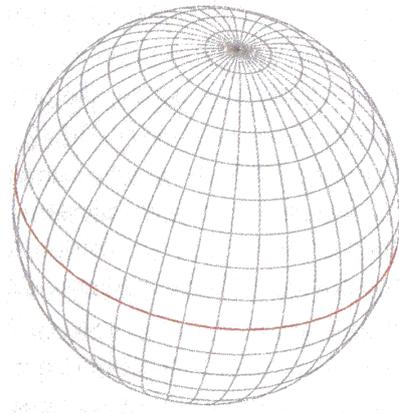


Abbildung 2.1.: Meridiane und Breitenparallele²

Der Äquator stellt das Breitenparallel mit dem größten Umfang dar und befindet sich in der Mitte der beiden Pole. Durch ihn wird die Erde in Nord- und Südhalbkugel getrennt. Sein Mittelpunkt entspricht dem Mittelpunkt der Erde. Somit ist der Radius seines Kreises gleich dem Erdradius. Solche Kreise werden auch Großkreise genannt.

¹ Vgl. [Berking und Huth \(2010, S. 48 ff.\)](#)

² Vgl. [Berking und Huth \(2010, S. 48\)](#)

Meridiane stellen mit ihrem gegenüberliegendem Pendant ebenfalls Großkreise dar. Weil der Umfang von Breitenparallelen mit der Annäherung an die Pole abnimmt, handelt es sich, mit der Ausnahme des Äquators, bei ihnen nicht um Großkreise. Bei der Quantifizierung von Längen- und Breitenkreisen stellt sich die Frage nach dem Koordinatenursprung. Bei den Breitenparallelen wurde der Äquator als Nulllinie festgelegt. Eine solche natürliche Nulllinie existiert bei den Meridianen nicht. Hier verläuft die Nulllinie aus historischer Gründung durch die Sternwarte des Londoner Vorortes Greenwich.

2.1.2. Geografische Breite und Länge³

Die geografische Breite (φ) eines Ortes auf der Erdoberfläche wird als Winkel am Erdmittelpunkt zwischen der Ebene des Äquators und dem Radiusvektor des Breitenparallels angegeben. Somit haben alle Orte auf einem Breitenparallel dieselbe geografische Breite.

Der Wertebereich der geografischen Breite verläuft von 0° bis 90° . Um bei Berechnungen zwischen den Halbkugeln unterscheiden zu können, wird der geografischen Breite ein positives Vorzeichen für Orte auf der Nordhalbkugel und ein negatives Vorzeichen für Orte auf der Südhalbkugel zugewiesen.

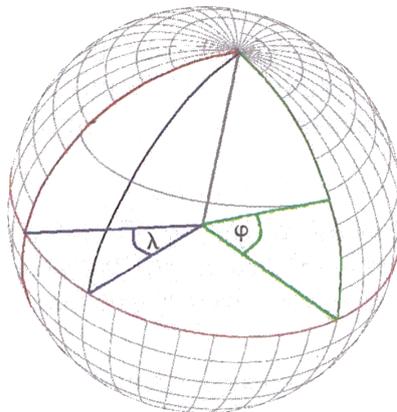


Abbildung 2.2.: Geografische Breite und Länge⁴

Die geografische Länge (λ) eines Ortes auf der Erdoberfläche wird als Winkel am Erdmittelpunkt zwischen den Radiusvektoren des Nullmeridians und des Meridians des Ortes angegeben. Somit haben alle Orte auf einem Meridian dieselbe geografische Länge.

Der Wertebereich der geografischen Länge verläuft von 0° bis 180° . Die geografische Länge wird vom Nullmeridian nach Osten positiv und nach Westen negativ angegeben.

³ Vgl. [Berking und Huth \(2010, S. 49\)](#)

⁴ Vgl. [Berking und Huth \(2010, S. 49\)](#)

Geografische Breite und Länge sind in Abbildung 2.2 dargestellt. Durch sie kann ein Ort auf der Erdoberfläche bestimmt werden. In der Nautik ist die Angabe in Grad, Minuten und Zehntelminuten üblich. Anstelle des Vorzeichens wird die entsprechende Himmelsrichtung dargestellt.

2.1.3. Seemeile und Knoten⁵

Laut der Definition entspricht eine Seemeile der Entfernung einer Bogenminute eines Großkreises. Durch die Beziehung, dass der Umfang eines Großkreises dem Erdumfang entspricht, lässt sich der Erdumfang in Seemeilen ($U_{erde}[sm]$) berechnen.

$$U_{erde}[sm] = 360^\circ \cdot 60 \frac{sm}{^\circ} = 21.600sm \quad (2.1)$$

Weiterhin lässt sich der Erdumfang in Kilometer ($U_{erde}[km]$) über den Erdradius (R_{erde}) bestimmen.

$$U_{erde}[km] = R_{erde} \cdot 2\pi = 6367km \cdot 2\pi = 40.005km \quad (2.2)$$

Durch Gleichsetzen der Erdumfänge in Seemeilen und Kilometern ergibt sich die Länge einer Seemeile in Meter.

$$1sm = 1.852m \quad (2.3)$$

Ein Knoten entspricht der Geschwindigkeit mit der eine Seemeile in einer Stunde zurückgelegt wird. Über dieses Verhältnis lässt sich die Geschwindigkeit von einem Knoten in Meter pro Sekunde umrechnen.

$$1kn = 1 \frac{sm}{h} = 0,5144 \frac{m}{s} \quad (2.4)$$

⁵ Vgl. [Berking und Huth \(2010, S. 53\)](#)

2.1.4. Breiten- und Längenunterschied⁶

Als Breitenunterschied ($\Delta\varphi$) bezeichnet man die Differenz zweier geografischer Breiten. Sie kann als Winkel oder als Bogenlänge aufgefasst werden.

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A \quad (2.5)$$

Durch den Zusammenhang, dass die Bogenlänge beim Breitenunterschied Teil eines Großkreises ist, entspricht die Bogenlänge in Seemeilen ($B[sm]$) dem Winkel in Bogenminuten ($\Delta\varphi[']$).

$$B[sm] \hat{=} \Delta\varphi['] \quad (2.6)$$

Als Längenunterschied ($\Delta\lambda$) bezeichnet man die Differenz zweier geografischer Längen. Sie kann als Winkel oder als Bogenlänge aufgefasst werden.

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A \quad (2.7)$$

Beim Längenunterschied entspricht die Bogenlänge der Distanz beider Meridianen auf dem Äquator. Durch diese Festlegung lässt sich auch hier der Zusammenhang zwischen der Bogenlänge in Seemeilen ($L[sm]$) und dem Winkel in Bogenminuten ($\Delta\lambda[']$) herstellen.

$$L[sm] \hat{=} \Delta\lambda['] \quad (2.8)$$

⁶ Vgl. [Berking und Huth \(2010, S. 53\)](#)

2.1.5. Verfahren der Mittelbreite⁷

Das Verfahren der Mittelbreite ermöglicht es aus einem Kurs (β), einer Distanz (d) und einer Abfahrtsposition (φ_A, λ_A) die Ankunftsposition (φ_B, λ_B) durch eine Näherung zu berechnen. Die genannten Parameter sind exemplarisch in der angepassten Abbildung 2.3 dargestellt.

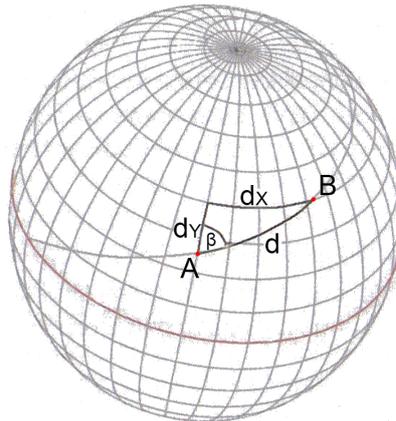


Abbildung 2.3.: Verfahren der Mittelbreite⁸

Hierbei wird berücksichtigt, dass der Umfang der Breitenparallele vom Äquator zu den Polen kosinusförmig abnimmt. Durch Einführung der Abweitung (A) wird die Berechnung der Bogenlänge zwischen zwei Meridianen auf einem Breitenparallel abseits des Äquators ermöglicht.

$$A = L \cdot \cos(\varphi) \quad (2.9)$$

Wird die Position in einem Koordinatensystem mit X- und Y-Achse betrachtet, so lassen sich aus dem Kurs und der Distanz die zurückgelegten Entfernungen in X- und Y-Richtung (d_X, d_Y) bestimmen.

$$d_X = d \cdot \sin(\beta) \quad (2.10)$$

$$d_Y = d \cdot \cos(\beta) \quad (2.11)$$

⁷ Vgl. Berking und Huth (2010, S. 53 ff.)

⁸ Vgl. Berking und Huth (2010, S. 54)

Weil die Entfernungen zwischen den Breitenparallelen konstant sind, entspricht die zurückgelegte Entfernung in Y-Richtung in Seemeilen dem Breitenunterschied in Bogenminuten. Die umgestellte Gleichung zur Berechnung des Breitenunterschiedes liefert die Berechnung der Ankunftsweite.

$$\varphi_B = \varphi_A + d_Y \quad (2.12)$$

Die in X-Richtung zurückgelegte Entfernung entspricht der Abweitung. Als Näherung der Breite wird das arithmetische Mittel aus der Abfahrts- und Ankunftsweite (φ_M) gebildet und die Abweitung in den Längenunterschied überführt.

$$\varphi_M = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} \quad (2.13)$$

$$L = \frac{d_X}{\cos(\varphi_M)} \quad (2.14)$$

Bei dem berechneten Längenunterschied handelt es sich um den Längenunterschied in Bogenminuten. Die umgestellte Gleichung zur Berechnung des Längenunterschiedes liefert die Berechnung der Ankunftsweite.

$$\lambda_B = \lambda_A + L \quad (2.15)$$

Durch Einsetzen der Gleichungen können die Berechnungen zusammengefasst werden. Die folgenden Gleichungen zeigen die Bestimmung der Ankunftsposition nach Breiten- und Längengrad mit den gegebenen Parametern.

$$\varphi_B = \varphi_A + d \cdot \cos(\beta) \quad (2.16)$$

$$\lambda_B = \lambda_A + \frac{d \cdot \sin(\beta)}{\cos\left(\frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}\right)} \quad (2.17)$$

2.1.6. Magnetische Abweichung⁹

In der Navigation wird zwischen dem missweisenden und rechtweisenden Nordpol unterschieden. Der missweisende Nordpol entspricht dem magnetischen und der rechtweisende dem geografischen Nordpol.

Die Magnetnadel eines Magnetkompasses zeigt an einem eisenfreien Kompassort ohne magnetische Störfelder in Richtung der Horizontalkomponente des magnetischen Erdfeldes. Diese Richtung entspricht dem missweisenden Nordpol. Aufgrund der unterschiedlichen Lage der magnetischen und geografischen Pole kommt es zu einer Missweisung, welche auch magnetische Abweichung genannt wird. Diese ist positionsabhängig und wird in Seekarten für das entsprechende Seegebiet angegeben.

Die magnetische Abweichung hat neben der Positions- auch eine Zeitabhängigkeit, welche auf die Wanderung der magnetischen Pole zurückzuführen ist. In Abbildung 2.4 ist die magnetische Abweichung der Erdoberfläche für das Jahr 2015 exemplarisch dargestellt.

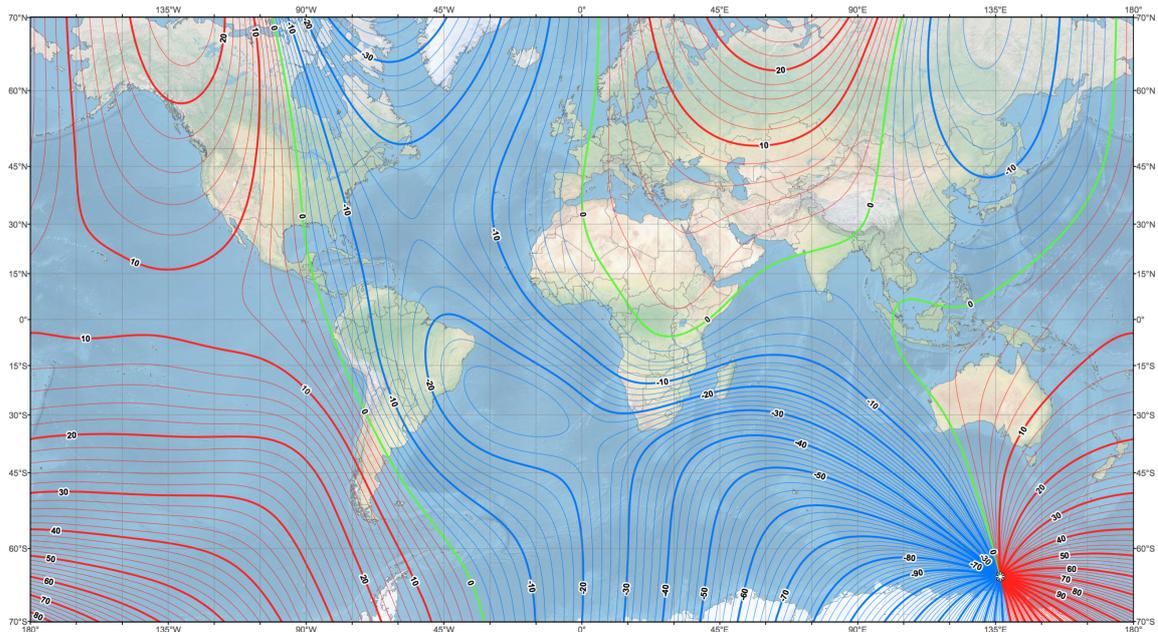


Abbildung 2.4.: Magnetische Abweichung¹⁰

Wie zuvor beschrieben, zeigt die Magnetnadel nur an einem eisenfreien Kompassort zum magnetischen Nordpol. Durch das vom Schiff hervorgerufene Magnetfeld kommt es allerdings zu einer Magnetkompassablenkung.

⁹ Vgl. [Berking und Huth \(2010, S. 126\)](#)

¹⁰ Vgl. [National Oceanic and Atmospheric Administration \(2014\)](#)

2.2. NMEA

NMEA 0183 ist ein von der National Marine Electronics Association entwickelter Standard, der den Datenaustausch zwischen elektronischen Geräten in der Schifffahrt definiert.

2.2.1. Aufbau der Telegramme¹¹

Der Datenaustausch erfolgt über im ASCII-Code formatierte Telegramme. Diese können bis zu 80 Zeichen beinhalten und verfolgen in den meisten Fällen den folgenden Aufbau.

$$\$ \langle \text{address field} \rangle, \langle \text{data field} \rangle, \dots, \langle \text{data field} \rangle * \langle \text{checksum} \rangle \langle \text{CR} \rangle \langle \text{LF} \rangle$$

Das vorangeführte Dollarzeichen (\$) signalisiert den Beginn eines Telegramms. Anschließend folgt die Übertragung der Adresse. In der Regel beginnt diese mit zwei Zeichen, die für den *talker identifier* stehen und den Sender des Telegramms beschreiben. Die folgenden drei Zeichen der Adresse beinhalten den *sentence formatter*. Dieser gibt Auskunft über den Telegrammtyp und bestimmt so die Interpretation der anschließend beigefügten Daten. Die Trennung der Daten erfolgt durch Kommata. Im Anschluss an das letzte Datum werden ein Sternchen (*) und eine Prüfsumme übertragen. Das Telegramm wird durch die für Wagenrücklauf (<CR>) und Zeilenvorschub (<LF>) stehenden Zeichenketten abgeschlossen.

2.2.2. Bildung der Prüfsumme¹²

Die Bildung der Prüfsumme erfolgt über eine XOR-Verknüpfung der Zeichen, die sich zwischen dem Dollarzeichen und dem Sternchen befinden. Es handelt sich hierbei um eine bitweise Verknüpfung der für die Zeichen im ASCII-Code verwendeten acht Datenbits. Das Ergebnis wird als hexadezimale Zahl durch zwei Zeichen im ASCII-Code dargestellt.

¹¹ Vgl. SAM (2015, S. 6)

¹² Vgl. SAM (2015, S. 6)

3. Anforderungen

Im Rahmen dieser Bachelorthesis soll eine geeignete Simulationsumgebung geschaffen werden. Eine in Delphi geschriebene Software soll auf bis zu acht seriellen Schnittstellen die benötigten Dateninhalte der NMEA-Telegramme generieren.

Für die Erzeugung dieser Dateninhalte ist eine vereinfachte Schiffssimulation zu erstellen, die vom Anwender gesteuert werden kann. Bei dieser Simulation ist darauf zu achten, dass die erzeugten Dateninhalte einen sinnvollen Zusammenhang aufweisen. Die Simulation betrifft hierbei die Dateninhalte der standardisierten Telegramme, welche dem Datenblatt des Navigationssystems zu entnehmen sind. Die manuelle Eingabe dieser Telegramme soll ebenfalls möglich sein. Außerdem ist eine Eingabemöglichkeit für herstellerspezifische Telegramme zu schaffen.

Die Zuordnung der Telegramme zu den jeweiligen Schnittstellen ist von Projekt zu Projekt unterschiedlich und soll über die Bedienoberfläche der Software erfolgen. Zudem soll der Anwender die Möglichkeit haben die Konfiguration der Schnittstellen zu verändern.

4. Modellbildung

Modelle werden genutzt um einen Ausschnitt der Realität in mathematischer Form wiederzugeben. Mit der Realitätstreue eines Modells steigt in der Regel die Komplexität und der Arbeits- und Berechnungsaufwand. Für den späteren Anwender macht es in dieser Thesis keinen Unterschied, ob die von der Software erstellten Daten der Realität entsprechen oder nicht. Es ist viel mehr von Relevanz, dass der Anwender bestimmte Datenbereiche einfach testen und somit unkompliziert und in einem kurzen Zeitraum die Funktion der Anlage sicherstellen kann. Dennoch sollen die vom Modell berechneten Daten einen sinnvollen Zusammenhang aufweisen.

4.1. Wind-, Wasser- und Tiefenmodell

Eine realitätsnahe Berechnung von Daten für die Tiefe, Geschwindigkeit und Richtung von Wind und Wasser wurde für diese Thesis nicht in Betracht gezogen. Diese Berechnung würde dem Anwender die Möglichkeit nehmen, gezielt gewisse Datenbereiche zu erzeugen und ihre Komplexität würde den Rahmen dieser Thesis überschreiten.

Aufgrund der kontinuierlich zu erzeugenden Daten stellen periodische Funktionen eine akzeptable und unkomplizierte Lösung dar. Durch Vorgabe von Frequenz (f), Amplitude (a) und Offset (o) kann der Anwender gezielt die von ihm gewünschten Datenbereiche erzeugen.

Um dem Anwender neben der stetigen Sinusschwingung auch die Möglichkeit einzuräumen sich sprungförmig oder linear verändernde Daten zu erzeugen, wurden Rechteck-, Dreieck- und Sägezahnschwingungen in das Modell eingebunden.

4.1.1. Reihenentwicklungen

Das bei der Fourierreihenentwicklung auftretende Gibbs'sche Phänomen und die daraus resultierenden Ungenauigkeiten stellen für den Anwender ein Problem dar. Außerdem führt das Verfahren der Reihenentwicklung zu einem erhöhten Rechenaufwand.

Rechteckschwingung:

$$rect(t) = a \cdot \frac{4}{\pi} \left(\sum_{n=1}^N \frac{\sin((2 \cdot n - 1) \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)}{2 \cdot n - 1} \right) + o \quad (4.1)$$

Dreieckschwingung:

$$tri(t) = a \cdot \frac{8}{3\pi} \left(\sum_{n=1}^N \frac{\cos((2 \cdot n - 1) \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)}{(2 \cdot n - 1)^2} \right) + o \quad (4.2)$$

Sägezahnschwingung:

$$saw(t) = a \cdot \frac{-2}{\pi} \left(\sum_{n=1}^N \frac{\sin(n \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)}{n} \right) + o \quad (4.3)$$

4.1.2. Funktionen

Um Ungenauigkeiten auszuschließen und den Rechenaufwand zu minimieren, wurden die genannten periodischen Schwingungen unter der Verwendung der Sinus-, Signum-, Betrags- und Abrundungsfunktion realisiert.

Rechteckschwingung:

$$rect(t) = a \cdot \text{sign}(\sin(2\pi \cdot f \cdot t)) + o \quad (4.4)$$

Dreieckschwingung:

$$tri(t) = a \cdot (\text{abs}(4 \cdot (f \cdot t - \text{floor}(f \cdot t) - 0.5)) - 1) + o \quad (4.5)$$

Sägezahnschwingung:

$$saw(t) = a \cdot 2 \cdot (f \cdot t - \text{floor}(f \cdot t) - 0.5) + o \quad (4.6)$$

4.1.3. Gegenüberstellung

Eine in Matlab erstellte Gegenüberstellung, welche in Abbildung 4.1 dargestellt ist, zeigt die aus dem Gibbs'schen Phänomen resultierenden Ungenauigkeiten der Reihenentwicklung und die erzielte Verbesserung durch Verwendung der genannten Funktionen.

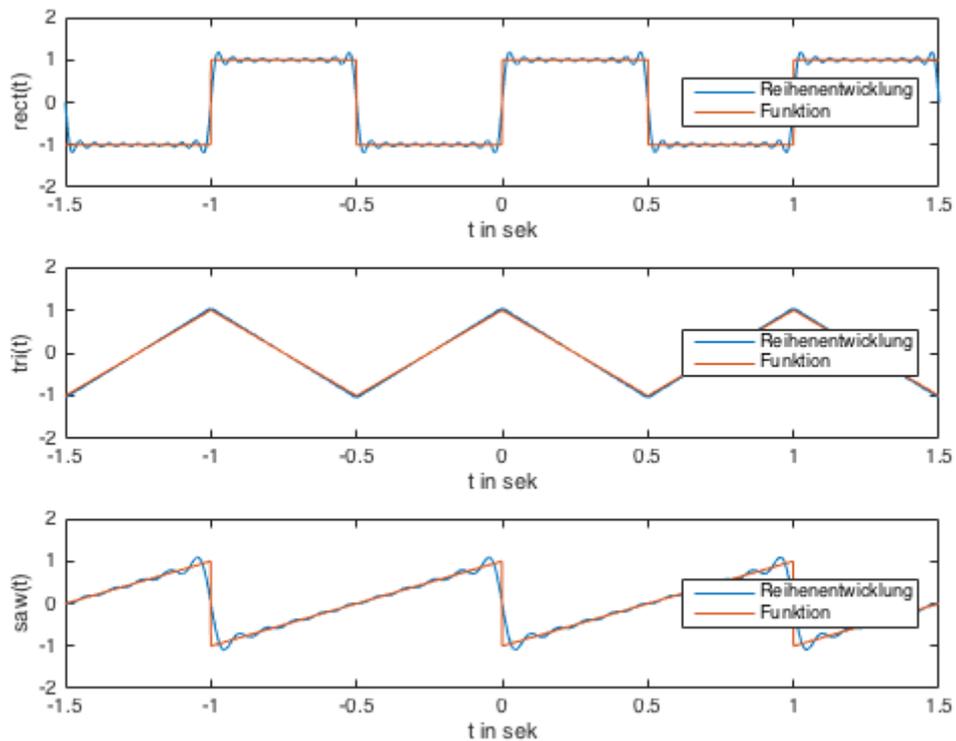


Abbildung 4.1.: Gegenüberstellung von Reihenentwicklung und Funktion

4.2. Schiffsmanövriermodell

Ein Schiff, das von einer Schraube angetrieben und von einem Ruder gelenkt wird, lässt sich über die Drehzahl der Schraube und die Lage des Ruders steuern. Der Erzeugung von Schiffsmanövrierdaten aus diesen Parametern dient ein mit Matlab Simulink erstelltes Modell. Das Modell wurde in einem Fachgespräch mit dem betreuenden Erstprüfer dieser Thesis erarbeitet und anschließend erweitert. Bei den dargestellten Abbildungen handelt es sich um Modellausschnitte. Die vollständigen Darstellungen des im Fachgespräch erarbeiteten und des erweiterten Modells befinden sich im Anhang.

Ein manövrierendes Schiff weist in der Realität eine gewisse Trägheit auf und soll diese auch im Modell zeigen. Außerdem stellt die Anpassung der maximalen Geschwindigkeit, Ruderlage und Drehrate des Schiffes durch den Anwender eine weitere wichtige Anforderung an das Modell dar.

Die verwendete Lösung dieser Anforderungen liegt in der Nutzung von PT1-Gliedern für Drehzahl, Geschwindigkeit, Ruderlage und Drehrate. Hierfür ist das Modell so konzipiert, dass sowohl die Vorgaben für die Schraubendrehzahl und Ruderlage als auch die Ist-Werte der PT1-Glieder in prozentualer Form vorliegen. Durch Multiplikation der Ist-Werte mit den durch den Anwender vorgegebenen, maximalen Parametern wird die Anpassfähigkeit des Modells sichergestellt. Die Einführung von Zeitkonstanten ermöglicht es zusätzlich die Dauer der verschiedenen Teilmodelle zu steuern.

4.2.1. Drehzahl

Die Drehzahl der Schraube zeigt nach einer Eingabe des Anwenders in der Realität kein sprungförmiges Verhalten auf den vorgegebenen Wert. Ähnlich wie bei einem unter Last anfahrenen Motor weist auch die Schraube bei ihrer Beschleunigung eine gewisse Trägheit auf. Dementsprechend erfolgt die Umsetzung im Modell mit einem PT1-Glied. Die Zeit, in der die Schraube auf eine bestimmte Drehzahl beschleunigt oder verzögert, wird über die Zeitkonstante T_n gesteuert. Der Modellteil der Drehzahl ist in Abbildung 4.2 dargestellt.

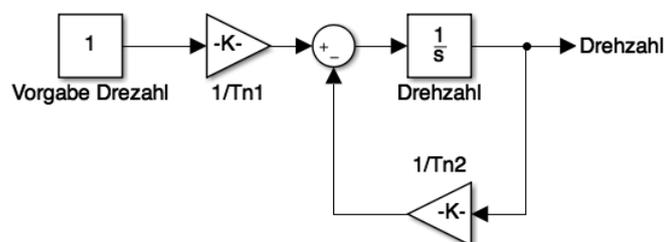


Abbildung 4.2.: Modellteil der Drehzahl

4.2.2. Geschwindigkeit

Aus der Drehzahl der Schraube resultiert ein Schub. Über diese Beschleunigung integriert sich die Geschwindigkeit des Schiffes. Durch Einwirkungen wie Wasserwiderstand und die damit verbundene Reibung kommt es ähnlich wie bei einem Auto zu einer Begrenzung der Geschwindigkeit. Je höher die Geschwindigkeit ist, desto langsamer nähert sich diese ihrem Endwert. Um dieses Verhalten wiederzugeben, wurde ebenfalls ein PT1-Glied für die Modellierung verwendet. Um die deutlich erhöhte Reibung bei größeren Geschwindigkeiten mit einer entsprechenden Gewichtung zu versehen, geht der Ist-Wert der Geschwindigkeit quadratisch in die Rückkopplung ein. Die Zeit, in der das Schiff auf eine bestimmte Geschwindigkeit beschleunigt oder verzögert, wird über die Zeitkonstante T_v gesteuert. Der Modellteil der Geschwindigkeit ist in Abbildung 4.3 dargestellt.

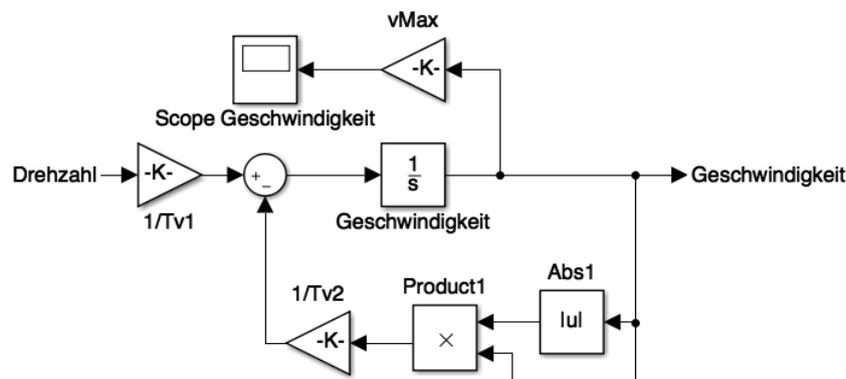


Abbildung 4.3.: Modellteil der Geschwindigkeit

4.2.3. Ruder

Wie bei der Drehzahl der Schraube erfolgt auch bei der Lage des Ruders die Eingabe durch den Anwender. Durch das bei einer Änderung der Ruderlage zu verdrängende Wasser und dem daraus resultierenden Widerstand stellt das Verfahren des Ruders ebenfalls ein Teilmodell dar, das mit einem PT1-Glied modelliert wurde. Die Zeit, in der das Ruder auf eine bestimmte Position verfährt, wird über die Zeitkonstante T_r gesteuert. Der Modellteil der Ruderlage ist in Abbildung 4.4 dargestellt.

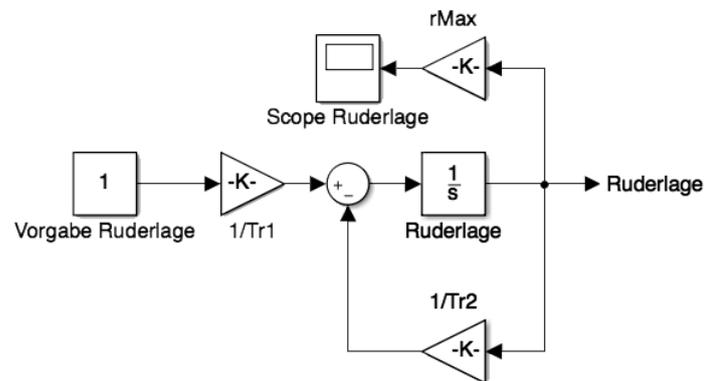


Abbildung 4.4.: Modellteil der Ruderlage

4.2.4. Drehrate

Die Drehrate von einem Schiff ist von zwei Parametern abhängig. So kann sich ein Schiff nicht drehen, wenn das Ruder mittschiffs gelegt ist oder kein Wasser entlang des Ruders fließt. Einerseits wird Wasser durch die hinter dem Ruder liegende Schraube, aber auch durch die Geschwindigkeit des Schiffes entlang des Ruders befördert. Die Schraube leistet hier im Normalfall den größeren Anteil. Für die Bildung der Drehrate werden die Drehzahl der Schraube und die Geschwindigkeit des Schiffes jeweils mit der Ruderlage multipliziert, gewichtet und anschließend addiert. Die Gewichtung erfolgt so, dass bei der maximalen Ruderlage, Drehzahl und Geschwindigkeit die maximale Drehrate erreicht wird. Die Zeit, in der sich die Drehrate des Schiffes auf einen bestimmten Wert ändert, wird über die Zeitkonstante T_w gesteuert. Der Modellteil der Drehrate ist in [Abbildung 4.5](#) dargestellt.

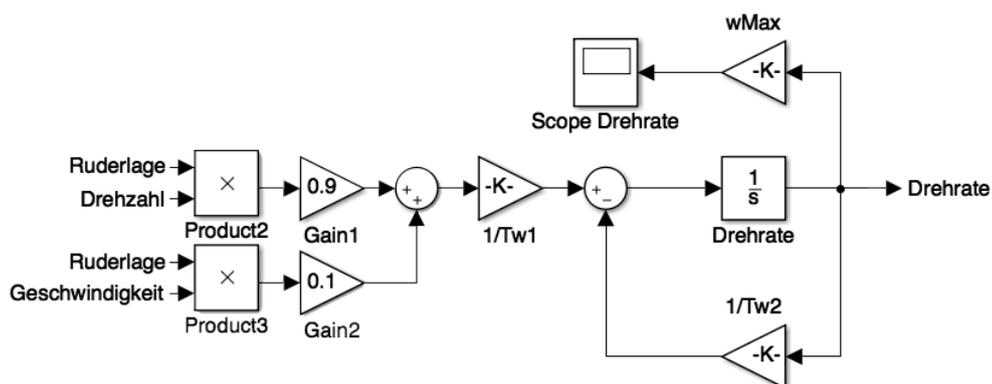


Abbildung 4.5.: Modellteil der Drehrate

4.2.5. Richtung

Durch Integration der Drehrate ergibt sich die Richtung des Schiffes. Zu beachten ist jedoch, dass die Drehrate in Grad pro Minute angegeben wird und eine Umrechnung in Grad pro Sekunde erforderlich ist. Der Modellteil der Richtung ist in [Abbildung 4.6](#) dargestellt.

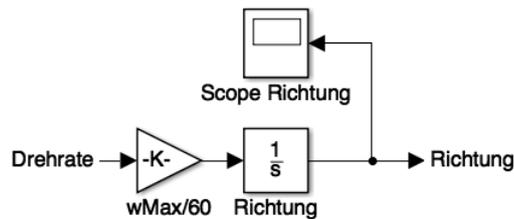


Abbildung 4.6.: Modellteil der Richtung

4.2.6. Position

Aus der Richtung und Geschwindigkeit lässt sich die Position des Schiffes bestimmen. Das Integral über die Geschwindigkeit ergibt die zurückgelegte Strecke. Durch Betrachtung der Position im zweidimensionalen Raum muss mittels der Richtung unterschieden werden, in welchem Anteil die zurückgelegte Strecke in X- bzw. Y-Richtung verändert wird. Die Multiplikation von Geschwindigkeit mit dem Sinus bzw. Kosinus der Richtung führt nach der Integration zu der Position, welche nach X- und Y-Richtung unterscheidet. Es musste berücksichtigt werden, dass die Geschwindigkeit in Knoten angegeben ist. Weil ein Knoten einer Seemeile pro Stunde entspricht, erfolgte die Umrechnung in Seemeile pro Sekunde. Die Richtung des Schiffes wurde von Grad in Radiant überführt. Der Modellteil der Position ist in [Abbildung 4.7](#) dargestellt.

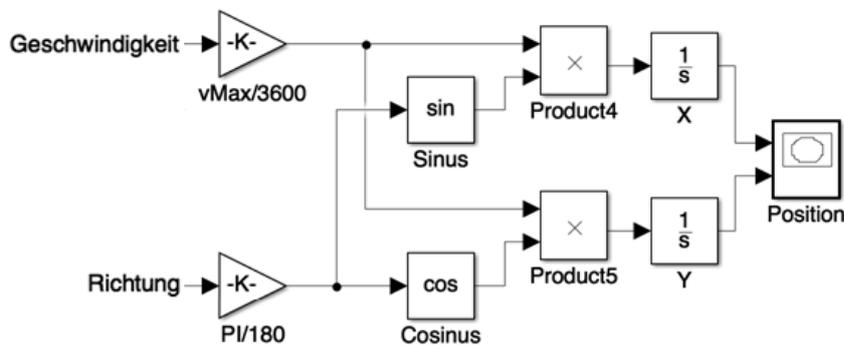


Abbildung 4.7.: Modellteil der Position

4.2.7. Simulation

Um die Funktion des Schiffsmanövriermodells zu überprüfen und geeignete Parameter für dieses zu bestimmen, wurde eine Simulation des in Matlab Simulink erstellten Modells durchgeführt.

Bei der Ermittlung geeigneter Zeitkonstanten wurde der Fokus auf eine schnelle Simulation gelegt, welche dem Anwender dennoch genug Zeit gibt ihren Verlauf zu verfolgen. Das Resultat stellen die folgenden Zeitkonstanten dar.

$$T_n = 5\text{sek} \quad T_v = 15\text{sek} \quad T_r = 5\text{sek} \quad T_\omega = 10\text{sek}$$

Die Parameter für die maximale Geschwindigkeit, Ruderlage und Drehrate des Schiffes können durch den Anwender an das Schiff angepasst werden. In dieser Simulation wurden folgende Parameter verwendet.

$$v_{max} = 20\text{kn} \quad r_{max} = 30^\circ \quad \omega_{max} = 80 \frac{^\circ}{\text{min}}$$

Das Manövrieren des Schiffes erfolgt über die in Abbildung 4.8 dargestellten Vorgaben für Drehzahl und Ruderlage. In dieser Simulation wurden die Vorgaben so gewählt, dass das Schiff nach einem Beschleunigungsvorgang auf die maximale Geschwindigkeit zwei aufeinander folgende Kurven fährt. Zudem wird die Vorgabe für die Drehzahl im Verlauf der ersten Kurve reduziert.

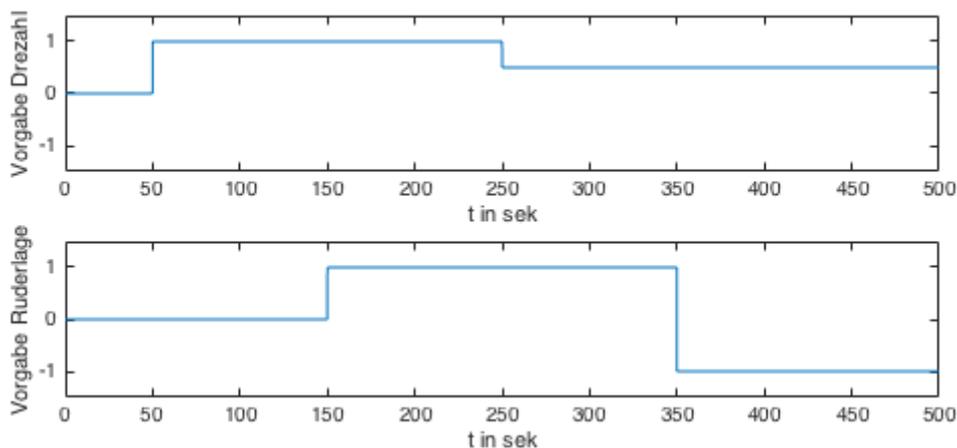


Abbildung 4.8.: Vorgabe der Drehzahl und Ruderlage für die Simulation

Der zeitliche Verlauf der Geschwindigkeit, Ruderlage, Drehrate und Richtung bei diesem Schiffsmanöver ist in [Abbildung 4.9](#) dargestellt.

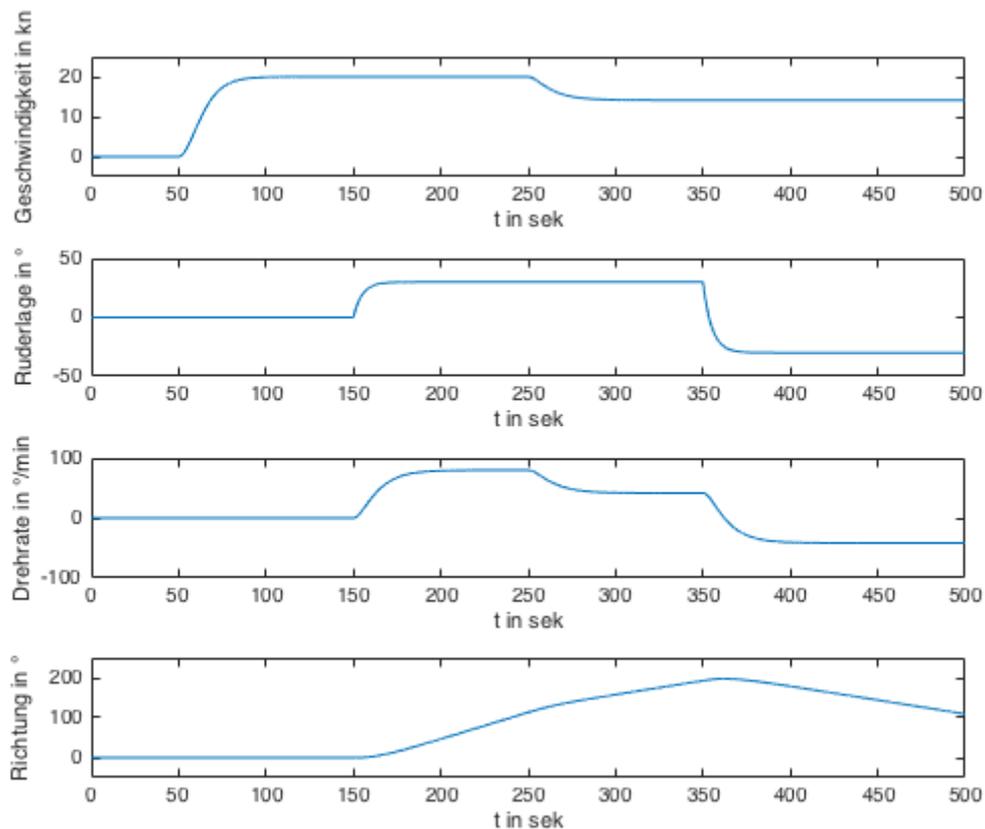


Abbildung 4.9.: Simulation der Geschwindigkeit, Ruderlage, Drehrate und Richtung

In der Abbildung sind die in der Modellbildung eingebrachten Eigenschaften zu erkennen. So erreicht das Schiff durch die quadratische Rückkopplung im Modellteil der Geschwindigkeit bei fünfzig Prozent der Drehzahl eine Geschwindigkeit die größer als fünfzig Prozent der maximalen Geschwindigkeit ist.

Zudem ist die Abhängigkeit der Drehrate von der Drehzahl, Geschwindigkeit und Ruderlage des Schiffes ersichtlich. Durch Reduzierung der Drehzahl nimmt die Drehrate und somit die Steigung der Richtung des Schiffes ab.

Die X- und Y-Position des Schiffes über den Verlauf des betrachteten Schiffsmanövers ist in Abbildung 4.10 dargestellt. Hierbei befindet sich der Startpunkt des Manövers im Ursprung des Koordinatensystems bei einer Schiffsrichtung von null Grad.

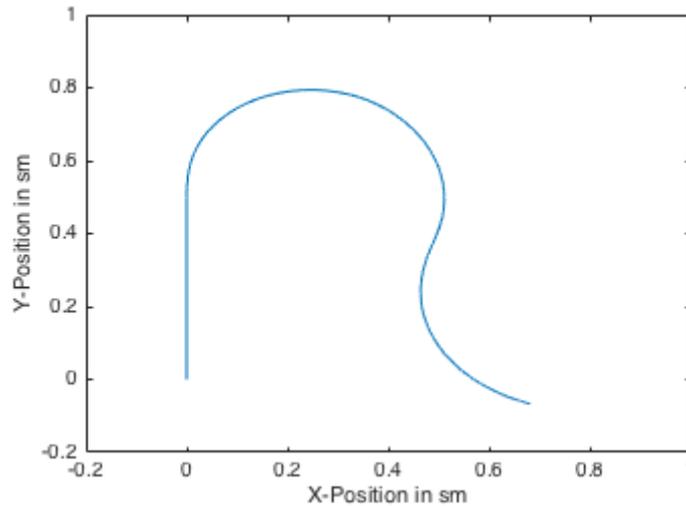


Abbildung 4.10.: Simulation der Position

4.2.8. Diskretisierung

Die Überführung der in Matlab Simulink erstellten Modellteile in Gleichungen, die in der Software genutzt werden können, erfolgte durch Bildung der Differentialgleichungen und anschließender Diskretisierung. Das Vorgehen wird am Beispiel einer Differentialgleichung erster Ordnung in den folgenden Gleichungen dargestellt.

$$\dot{y} = y \quad (4.7)$$

$$\dot{y} \approx \frac{y(kT + T) - y(kT)}{T} = y(kT) \quad (4.8)$$

$$y(kT + T) = y(kT) + y(kT) \cdot T \quad (4.9)$$

4.3. Erweiterung und Anpassung

Die zuvor in der Modellbildung ausgearbeiteten Überlegungen dienen als Ausgangspunkt zur Berechnung der Dateninhalte der Telegramme. Bei genauerer Betrachtung der Modelle wurde deutlich, dass für die Berechnung bestimmter Dateninhalte gewisse Erweiterungen und Anpassungen vorgenommen werden müssen.

4.3.1. Drift

Umwelteinflüsse wie Wind und Strömung versetzen ein Schiff. Dies hat zur Folge, dass die Richtung der resultierenden Schiffsbewegung über Grund bzw. der Kurs nicht der Richtung des Schiffes entspricht.¹ Um diesen Unterschied zwischen Richtung und Kurs des Schiffes auch im Modell zu berücksichtigen, wurde ein von diesen Umwelteinflüssen erzeugter Drift eingeführt.

Für die Berechnung wurde mit den aus dem Windmodell erzeugten Daten für Richtung (α_{wind}) und Geschwindigkeit (V_{wind}) eine Vektorzerlegung durchgeführt. Das negative Vorzeichen berücksichtigt, dass die Richtungsangabe vom Wind entgegengesetzt der des Schiffes erfolgt. Das berechnete Resultat ist die Windgeschwindigkeit in X- und Y-Richtung (V_{windX} , V_{windY}).

$$V_{windX} = -V_{wind} \cdot \sin(\alpha_{wind}) \quad (4.10)$$

$$V_{windY} = -V_{wind} \cdot \cos(\alpha_{wind}) \quad (4.11)$$

Die Strömung des Wassers erzeugt ebenfalls einen Drift. Dementsprechend wurde die für den Wind gezeigte Vektorzerlegung auf die vom Wassermmodell erzeugten Daten übertragen.

$$V_{wasserX} = -V_{wasser} \cdot \sin(\alpha_{wasser}) \quad (4.12)$$

$$V_{wasserY} = -V_{wasser} \cdot \cos(\alpha_{wasser}) \quad (4.13)$$

¹ Vgl. [Berking und Huth \(2010, S. 66\)](#)

Durch Addition der zuvor berechneten Geschwindigkeiten für Wind und Wasser resultiert die Driftgeschwindigkeit in X- und Y-Richtung (V_{driftX} , V_{driftY}). Die Proportionalbeiwerte für Wind (k_{wind}) und Wasser (k_{wasser}) können vom Anwender in prozentualer Form vorgegeben werden und ermöglichen eine Gewichtung.

$$V_{driftX} = \frac{k_{wind} \cdot V_{WindX} + k_{wasser} \cdot V_{wasserX}}{100} \quad (4.14)$$

$$V_{driftY} = \frac{k_{wind} \cdot V_{WindY} + k_{wasser} \cdot V_{wasserY}}{100} \quad (4.15)$$

4.3.2. Kurs

Mit den im Schiffsmanövriermmodell erzeugten Daten für Geschwindigkeit (V) und Richtung (α) wird ebenfalls eine Vektorzerlegung durchgeführt. Das Ergebnis stellt die theoretische Geschwindigkeit des Schiffes in X- und Y-Richtung (V_X , V_Y) dar. Die berechnete Driftgeschwindigkeit ist hier nicht berücksichtigt.

$$V_X = V \cdot \sin(\alpha) \quad (4.16)$$

$$V_Y = V \cdot \cos(\alpha) \quad (4.17)$$

Um die Berechnung möglichst einfach zu gestalten, wurde die Form und damit die Angriffsfläche des Schiffes für Wind und Wasser als gleichmäßig angenommen. Somit können die theoretische Geschwindigkeit und die Driftgeschwindigkeit vektoriell addiert werden. Das Ergebnis ist die resultierende Geschwindigkeit des Schiffes (V_{res}).

$$V_{resX} = V_X + V_{driftX} \quad (4.18)$$

$$V_{resY} = V_Y + V_{driftY} \quad (4.19)$$

$$V_{res} = \sqrt{V_{resX}^2 + V_{resY}^2} \quad (4.20)$$

Der Winkel der resultierenden Geschwindigkeit entspricht dem Kurs des Schiffes (β).

$$\beta = \operatorname{atan}\left(\frac{V_{resX}}{V_{resY}}\right) \quad (4.21)$$

4.3.3. Position

Mit dem in den Grundlagen erläuterten Verfahren der Mittelbreite und der resultierenden Geschwindigkeit des Schiffes berechnet sich die fortlaufende Position des Schiffes nach Breiten- (φ) und Längengrad (λ).

$$\varphi(kT + T) = \varphi(kT) + \frac{V_{resY} \cdot T}{21600} \quad (4.22)$$

$$\lambda(kT + T) = \lambda(kT) + \frac{V_{resX} \cdot T}{21600 \cdot \cos\left(\frac{\varphi(kT) + \varphi(kT + T)}{2}\right)} \quad (4.23)$$

4.3.4. Relative Windgeschwindigkeit

Beim theoretischen Wind handelt es sich um den tatsächlichen Wind aus der Perspektive des Schiffes. Der relative Wind hingegen berücksichtigt den durch das Schiff erzeugten Fahrtwind. Es handelt sich also um den an Oberdeck des Schiffes gemessenen Wind.²

Das Windmodell erzeugt theoretische Dateninhalte für Windgeschwindigkeit und -richtung. Die Telegramme können jedoch zwischen theoretischen und relativen Dateninhalten unterscheiden. Für das Modell besteht somit die Notwendigkeit durch eine Erweiterung die theoretischen Dateninhalte in relative zu überführen.

Bei der Berechnung der relativen Dateninhalte ist die Geschwindigkeit und Richtung des Schiffes zu berücksichtigen. Die Differenz aus Kurs und Richtung liefert den Winkel und die resultierende Geschwindigkeit des Schiffes den Betrag des durch die Fahrt des Schiffes erzeugten Windes. Die Differenz aus Windrichtung und Richtung des Schiffes stellt den Winkel des theoretischen Windes aus der Perspektive des Schiffes dar. Der Betrag entspricht weiterhin dem Betrag des theoretischen Windes. Die Summe aus Fahrtwind und Wind führt zu den relativen Windgeschwindigkeiten in X- und Y-Richtung (V_{windRX} , V_{windRY}).

² Vgl. [Benedict und Wand \(2011, S. 323\)](#)

$$V_{windRX} = V_{res} \cdot \sin(\beta - \alpha) + V_{wind} \cdot \sin(\alpha_{wind} - \alpha) \quad (4.24)$$

$$V_{windRY} = V_{res} \cdot \cos(\beta - \alpha) + V_{wind} \cdot \cos(\alpha_{wind} - \alpha) \quad (4.25)$$

Durch Betragsbildung und Winkelberechnung folgen die relative Windgeschwindigkeit (V_{windR}) und -richtung (α_{windR}).

$$V_{windR} = \sqrt{V_{windRX}^2 + V_{windRY}^2} \quad (4.26)$$

$$\alpha_{windR} = \arctan\left(\frac{V_{windRX}}{V_{windRY}}\right) \quad (4.27)$$

4.3.5. Längs- und Quergeschwindigkeiten

Weitere Dateninhalte stellen die Längs- und Quergeschwindigkeiten des Schiffes dar. Hier wird zwischen der Geschwindigkeit durch Wasser und über Grund unterschieden. Für die Berechnung dieser Größen ist der Drehpunkt des Schiffes zu berücksichtigen. Bei einer reinen Drehung ist der Drehpunkt gleich dem Schwerpunkt. Durch die Fahrt verlagert sich der Drehpunkt jedoch in Richtung Bug des Schiffes.³

Der Schwerpunkt und die Verschiebung des Drehpunktes sind schiffsabhängig. Um die nachfolgenden Berechnungen zu vereinfachen, wurde ein konstanter Drehpunkt zwischen Schiffsmittle und Bug angenommen. Mit Platzierung der Messung für die Längs- und Quergeschwindigkeit durch Wasser ($V_{wasserL}$, $V_{wasserQ}$) in den Drehpunkt, entspricht die Anströmung an diesem Punkt der relativen Anströmung des Schiffes. Diese setzt sich aus der von der Fahrt des Schiffes und der aus dem Wassermodell erzeugten Anströmung zusammen. Die Berechnung gestaltet sich äquivalent zu den zuvor berechneten relativen Windgeschwindigkeiten in X- und Y-Richtung.

$$V_{wasserL} = V_{wasserR} \cdot \cos(\alpha_{wasserR}) = V_{wasserRY} \quad (4.28)$$

$$V_{wasserQ} = V_{wasserR} \cdot \sin(\alpha_{wasserR}) = V_{wasserRX} \quad (4.29)$$

³ Vgl. [Benedict und Wand \(2011, S. 313\)](#)

Die Längs- und Quergeschwindigkeit über Grund (V_{grundL} , V_{grundQ}) wird ebenfalls im Drehpunkt betrachtet. Die Bildung der Differenz von Kurs und Richtung führt zum Winkel der resultierenden Geschwindigkeit aus der Perspektive des Schiffes. Durch Vektorzerlegung folgt die Längs- und Quergeschwindigkeit über Grund.

$$V_{grundL} = V_{res} \cdot \cos(\beta - \alpha) \quad (4.30)$$

$$V_{grundQ} = V_{res} \cdot \sin(\beta - \alpha) \quad (4.31)$$

Die Messung der Quergeschwindigkeit des Achterschiffes durch Wasser und über Grund ($V_{wasserQA}$, $V_{grundQA}$) befindet sich außerhalb des Drehpunktes. Die Bahngeschwindigkeit des Achterschiffes berechnet sich aus der Drehrate (Ω) und der Entfernung des Achterschiffes zum Drehpunkt, welche auf drei Viertel der Schiffslänge (l) festgelegt wurde. Die Quergeschwindigkeiten des Achterschiffes resultieren aus jeweiliger Subtraktion der Bahngeschwindigkeit des Achterschiffes von den Quergeschwindigkeiten des Schiffes.

$$V_{wasserQA} = V_{wasserQ} - \frac{2 \cdot \pi \cdot \Omega \cdot 0,75 \cdot l \cdot 1,944}{60 \cdot 360} \quad (4.32)$$

$$V_{grundQA} = V_{grundQ} - \frac{2 \cdot \pi \cdot \Omega \cdot 0,75 \cdot l \cdot 1,944}{60 \cdot 360} \quad (4.33)$$

4.3.6. Magnetische Abweichung

Die realitätsnahe Berechnung der magnetischen Abweichung ist ein komplexes Unterfangen und wurde in dieser Thesis nicht in Betracht gezogen.

Eine Möglichkeit um die Positions- und Zeitabhängigkeit der magnetischen Abweichung dennoch im Modell zu berücksichtigen, stellt die Verwendung von Datensätzen dar. Diese lassen sich zum Beispiel über die Internetseite der Wetter- und Ozeanografiebehörde NOAA in tabularischer Form erstellen.

Um die Zeitabhängigkeit im Modell fortlaufend sicherzustellen, erfordert die Verwendung von Datensätzen eine regelmäßige Aktualisierung durch den Anwender. Zudem ist die gezielte Erzeugung von Datenbereichen mit Datensätzen nur eingeschränkt möglich. Diese ist für den Anwender jedoch von höherer Relevanz als die Realitätstreue der Dateninhalte.

Ein Fachgespräch mit dem betreuenden Erstprüfer dieser Thesis führte zu dem Entschluss, die magnetische Abweichung (γ) anhand von zwei Parametern zu berechnen. Der erste Parameter stellt die durch die Position des Schiffes hervorgerufene magnetische Abweichung (γ_{pos}) dar. Durch den zweiten Parameter wird der maximale Wert der durch das Schiff verursachten Magnetkompassablenkung (γ_{abl}) angegeben. Dieser geht in Abhängigkeit von der Richtung des Schiffes in die Berechnung ein. Aus der Addition resultiert die magnetische Abweichung.

$$\gamma = \gamma_{pos} + \gamma_{abl} \cdot \sin(\alpha) \quad (4.34)$$

4.4. Anlegemanöver

Bei einem Anlegemanöver des Schiffes kann das Navigationssystem die Entfernungen zum geplanten Anlegepunkt darstellen. Die Übermittlung dieser Dateninhalte erfolgt ebenfalls durch Telegramme. In Abbildung 4.11 ist eine exemplarische Visualisierung dieser Entfernungen dargestellt.

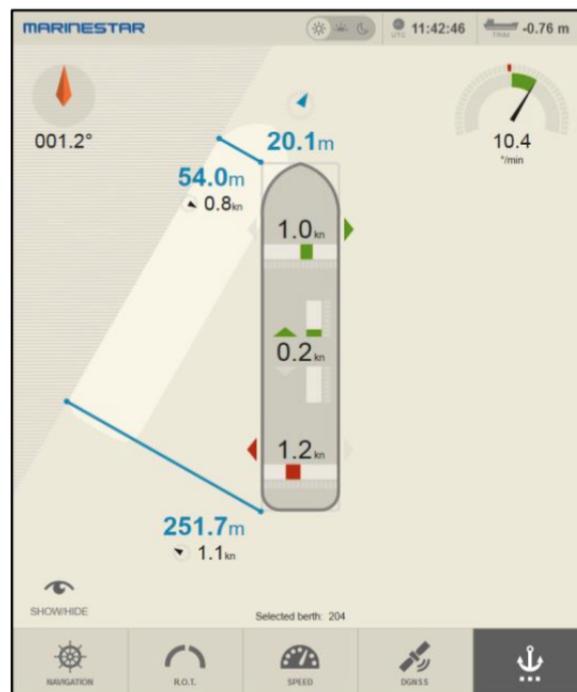


Abbildung 4.11.: Exemplarische Darstellung eines Anlegemanövers⁴

⁴ Vgl. Fugro (2014, S. 63)

In einem Fachgespräch mit dem betreuenden Erstprüfer wurde entschieden, für das Anlegemanöver ein separates Modell zu entwickeln. Bei diesem Manöver fährt das Schiff mit gleichbleibender Geschwindigkeit und Drehrate von einer Start- zu einer Zielposition (S, Z). Die Positionen bestehen aus X- und Y-Koordinaten und der Richtung des Schiffes und werden wie die Dauer des Manövers (T_{anl}) vom Anwender vorgegeben.

Um die gleichbleibende Geschwindigkeit und Drehrate im Modell umzusetzen, werden aus den Positionen und der Dauer des Manövers Geradengleichungen gebildet. Diese liefern die Position des Schiffes im Verlauf des Anlegemanövers.

$$X(t) = \frac{Z_X - S_X}{T_{anl}} \cdot t + S_X \quad (4.35)$$

$$Y(t) = \frac{Z_Y - S_Y}{T_{anl}} \cdot t + S_Y \quad (4.36)$$

$$\alpha(t) = \frac{Z_\alpha - S_\alpha}{T_{anl}} \cdot t + S_\alpha \quad (4.37)$$

Im Folgenden wird exemplarisch das in der Abbildung 4.11 gezeigte Anlegemanöver an der Backbordseite des Schiffes betrachtet. Die Berechnung der Ortsvektoren am Bug (\vec{S}_1) und Heck (\vec{S}_2) erfolgt unter Berücksichtigung der Länge (l) und Breite (b) des Schiffes.

$$S1_X(t) = X(t) + \sin(\alpha(t)) \cdot 0,5 \cdot l - \cos(\alpha(t)) \cdot 0,5 \cdot b \quad (4.38)$$

$$S1_Y(t) = Y(t) + \cos(\alpha(t)) \cdot 0,5 \cdot l + \sin(\alpha(t)) \cdot 0,5 \cdot b \quad (4.39)$$

$$S2_X(t) = X(t) - \sin(\alpha(t)) \cdot 0,5 \cdot l - \cos(\alpha(t)) \cdot 0,5 \cdot b \quad (4.40)$$

$$S2_Y(t) = Y(t) - \cos(\alpha(t)) \cdot 0,5 \cdot l + \sin(\alpha(t)) \cdot 0,5 \cdot b \quad (4.41)$$

Für die weiteren Berechnungen muss die Position der Pier bestimmt werden. Bei einem Anlegemanöver an der Backbord- oder Steuerbordseite des Schiffes entspricht die Richtung der Pier der Richtung des Schiffes beim Erreichen der Zielposition. Aus diesem Zusammenhang resultiert die Berechnung des Richtungsvektors der Pier (\vec{a}).

$$a_X = \sin(Z_\alpha) \quad (4.42)$$

$$a_Y = \cos(Z_\alpha) \quad (4.43)$$

Die Pier befindet sich direkt neben der Zielposition des Schiffes. Um den direkten Kontakt des Schiffes mit der Pier zu vermeiden, werden sogenannte Fender genutzt. Deswegen wurde bei der Berechnung des Ortsvektors der Pier (\vec{P}) der durch Fender verbleibende Abstand (f) eingebunden.

$$P_X = Z_X - \cos(Z_\alpha) \cdot (f + 0,5 \cdot b) \quad (4.44)$$

$$P_Y = Z_Y + \sin(Z_\alpha) \cdot (f + 0,5 \cdot b) \quad (4.45)$$

Mit der Abstandsbestimmung zwischen einem Punkt und einer Geraden (d) können die in der Abbildung 4.11 dargestellten Entfernungen vom Schiff zur Pier berechnet werden.

$$d = \frac{|\vec{a} \times (\vec{S} - \vec{P})|}{|\vec{a}|} \quad (4.46)$$

Durch Einsetzen der Ortsvektoren am Bug und Heck des Schiffes in die Gleichung zur Abstandsbestimmung, folgt die Berechnung der Entfernungen ($d1(t)$, $d2(t)$). Damit die Gleichungen in einer Software implementiert werden können, wurde das Kreuzprodukt aufgelöst und die Betragsbildung durchgeführt.

$$d1(t) = \frac{\sqrt{(a_X \cdot (S1_Y(t) - P_Y))^2 + (a_Y \cdot (S1_X(t) - P_X))^2}}{\sqrt{a_X^2 + a_Y^2}} \quad (4.47)$$

$$d2(t) = \frac{\sqrt{(a_X \cdot (S2_Y(t) - P_Y))^2 + (a_Y \cdot (S2_X(t) - P_X))^2}}{\sqrt{a_X^2 + a_Y^2}} \quad (4.48)$$

Neben den zuvor berechneten seitlichen Entfernungen gibt es zwei weitere Dateninhalte die durch Telegramme übertragen werden. Einer dieser Dateninhalte ist die in [Abbildung 4.11](#) mit $20,1m$ angegebene Entfernung vor dem Bug des Schiffes. Zu dieser Entfernung am Bug gibt es ein am Heck befindliches Pendant. Weil nicht genau geklärt werden konnte, worum es sich bei diesen Größen handelt, wurde von einer Berechnung abgesehen.

5. Implementierung

5.1. Architektur

Die Software wurde in Delphi mit der Entwicklungsumgebung Embarcadero programmiert. Um die Modularität zu gewährleisten, wurde die Software in mehrere Objekte unterteilt. Eine Übersicht ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Die Software befindet sich auf den CD's, welche beim Erstprüfer bzw. bei der Zweitprüferin einzusehen sind.

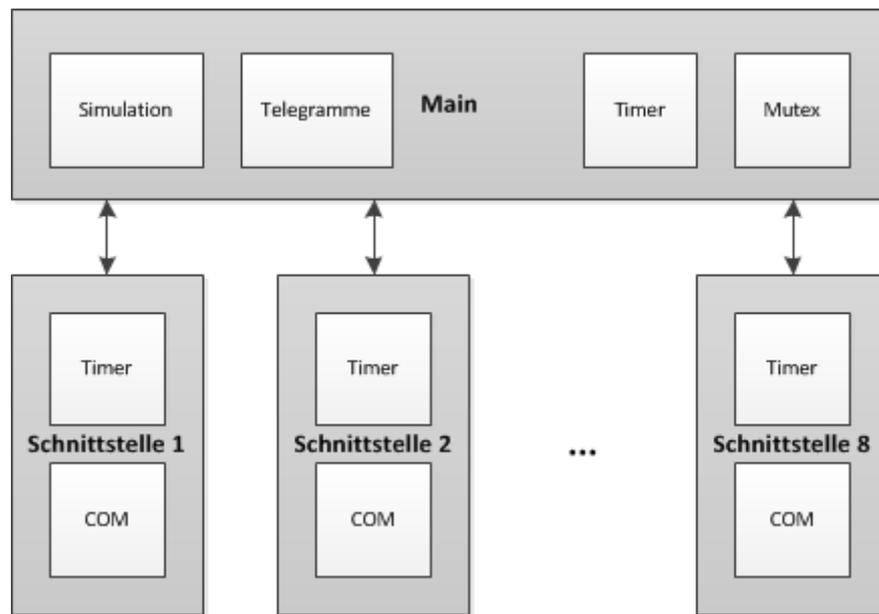


Abbildung 5.1.: Architektur der erstellten Software

Die in der Abbildung gezeigten Objekte verfügen alle über eine Bedienoberfläche. Das Objekt *Main* stellt das Herzstück der Software dar. Hier befinden sich die Variablen mit den Dateninhalten der Telegramme. Auch die zuvor beschriebene Schiffssimulation ist hier implementiert. Um einen zyklischen Aufruf der Berechnungen sicherzustellen, wurde ein Timer genutzt. Dieser kann über die Bedienoberfläche gestartet und angehalten werden. Im Event des Timers sind sämtliche Berechnungen implementiert. Im Anschluss an die Berechnungen werden die Ergebnisse in die Dateninhalte der Telegramme übertragen.

Zusätzlich werden neben dem Timer im Objekt *Main* auch die in den Objekten *Schnittstelle* befindlichen Timer gestartet bzw. angehalten. Die Events der jeweiligen Timer erstellen die in der Bedienoberfläche der Schnittstelle angewählten Telegramme. Die Dateninhalte der Telegramme werden aus dem Objekt *Main* abgerufen und mit den in der Schnittstelle angegebenen *talker identifier* zu einem Telegramm zusammengesetzt. Nach Berechnung der Prüfsumme wird das Telegramm über den COM-Port der Schnittstelle versendet. Über die Zeit dieser Timer wird die Zykluszeit, in der die angewählten Telegramme versendet werden, gesteuert.

Bei dem zuvor beschriebenen Programmablauf ist eine Race Condition ersichtlich. Es kann dazu kommen, dass die Ergebnisse der Simulation in die Dateninhalte der Telegramme eingetragen werden, während eine Schnittstelle bei der Generierung der Telegramme die Dateninhalte liest. Um Fehler auszuschließen, wurde ein sogenannter Mutex eingeführt. Hierfür wurde die in Delphi bereits bestehende Klasse *TCriticalSection* genutzt. Eine Instanz dieser Klasse verfügt über die Methoden *acquire()* und *release()*. Durch konsequente Nutzung dieser Methoden beim Zugriff auf die Dateninhalte der Telegramme wird sichergestellt, dass nur ein Zugriff zur Zeit stattfindet.

Neben der Race-Condition bei den Telegrammen kommt es bei der Änderung von Werten, die in der Simulation zur Berechnung genutzt werden, ebenfalls zu einer Race Condition. Durch einen weiteren Mutex wird auch hier der fehlerfreie Programmablauf sichergestellt.

Für die Einbindung der COM-Ports wurde ebenfalls eine in Delphi bereits bestehende Klasse genutzt. Die Klasse *TComPort* verfügt über alle für die Übertragung notwendigen Attribute und Methoden. Über die Methoden *open()* und *close()* kann der entsprechende COM-Port für die Übertragung oder den Empfang von Daten aktiviert bzw. deaktiviert werden. Mit der Methode *writestr()* können die Telegramme versendet werden.

Die Objekte *Schnittstelle* werden bei der Initialisierung des Objektes *Main* erzeugt. Eine Erweiterung der Software auf mehr als die geforderten acht Schnittstellen ist somit ohne großem Aufwand möglich.

5.2. Fehlervermeidung

Bei der Implementierung wurden diverse potenzielle Fehlerquellen berücksichtigt. So wurde konsequent darauf geachtet, dass Richtungsangaben ihren Wertebereich von 0° bis 360° nicht verlassen. Auch bei der Berechnung des Breiten- und Längengrades kann es zu einer Überschreitung der Wertebereiche kommen. Ein Beispiel hierfür wäre die direkte Überfahrt eines Poles. Solche Situationen werden von der Software erkannt und die Position des Schiffes wird entsprechend korrigiert. Zudem wurden für Eingabemöglichkeiten, welche die Simulation betreffen, Eingabeüberprüfungen implementiert.

5.3. Bedienoberflächen

Im Folgenden wird der Aufbau der Oberflächen und somit die Schnittstelle zur Bedienung der Software erläutert. Bei den dargestellten Abbildungen handelt es sich um Ausschnitte der Programmoberfläche. Eine vollständige Darstellung befindet sich im Anhang.

5.3.1. Telegramme

Die Visualisierung und manuelle Eingabe der Dateninhalte der Telegramme sind Voraussetzungen, welche bereits in den Anforderungen festgelegt wurden. Beim Erstellen der Oberfläche stellte der erhöhte Platzbedarf ein Problem dar. Um den Platzbedarf zu minimieren, wurde ein Panel mit Registerkarten eingeführt. In diesem Panel kann der Anwender zwischen drei Telegrammkategorien wählen.

In sämtlichen Kategorien werden die in den Eingabefeldern geschriebenen Dateninhalte erst nach Betätigung der Enter-Taste oder nach Verlassen des Eingabefeldes übernommen. Hiermit wird sichergestellt, dass eine Änderung der Dateninhalte bei laufender Telegrammübertragung keine ungültigen Telegramme zur Folge hat. Zudem können sämtliche Dateninhalte der Telegramme über die Buttons *Save* und *Load* gespeichert bzw. geladen werden.

5.3.1.1. Proprietäre Telegramme

Die Bedienoberfläche der proprietären Telegramme ist in Abbildung [5.2](#) dargestellt. Diese Telegramme können vom Anwender manuell eingegeben werden und unterliegen keinem Standard. Der Vorteil liegt hier in der Anpassung der Software auf herstellerspezifische Telegramme. Weiterhin besteht die Möglichkeit mehrere standardisierte Telegramme mit unterschiedlichen Dateninhalten zu generieren.

The screenshot displays a software interface for configuring proprietary telegrams. At the top, there are three tabs: 'Proprietary' (selected), 'Standard', and 'Additional'. Below the tabs, the interface is organized into two columns: 'Sentence' and 'Data'. The 'Sentence' column contains ten rows, each starting with a label from '+1' to '+10'. The 'Data' column contains a grid of input fields corresponding to the sentences. Each row in the 'Data' column has a fixed number of input fields: rows +1 through +7 have 14 fields, row +8 has 10 fields, row +9 has 14 fields, and row +10 has 10 fields. At the bottom right of the interface, there are two buttons labeled 'Save' and 'Load'.

Abbildung 5.2.: Bedienoberfläche der proprietären Telegramme

5.3.1.2. Standardisierte Telegramme

Die Bedienoberfläche der standardisierten Telegramme ist in Abbildung 5.3 dargestellt. Hier kann der Anwender die Dateninhalte der standardisierten Telegramme sowohl manuell eingegeben als auch automatisch durch die Schiffssimulation generieren lassen. Steuern kann der Anwender diese Funktion durch das Setzen eines Hakens in dem Feld *Auto* des jeweiligen Telegrammes.

Bei angewählter Automatik eines Telegrammes werden sämtliche Eingabefelder dieses Telegrammes deaktiviert. Die Dateninhalte werden bei laufender Schiffssimulation zyklisch berechnet und in die Eingabefelder eingetragen.

Ist die Automatik abgewählt, kann der Anwender das Telegramm über den Button *Default* auf die in der Software hinterlegten Default-Werte zurücksetzen. Des Weiteren sind in diesem Fall die Eingabefelder für dieses Telegramm aktiviert und eine manuelle Eingabe von Dateninhalten ist möglich.

Durch Betätigung des Buttons *Help* erhält der Anwender Informationen über den Aufbau des jeweiligen Telegrammes.

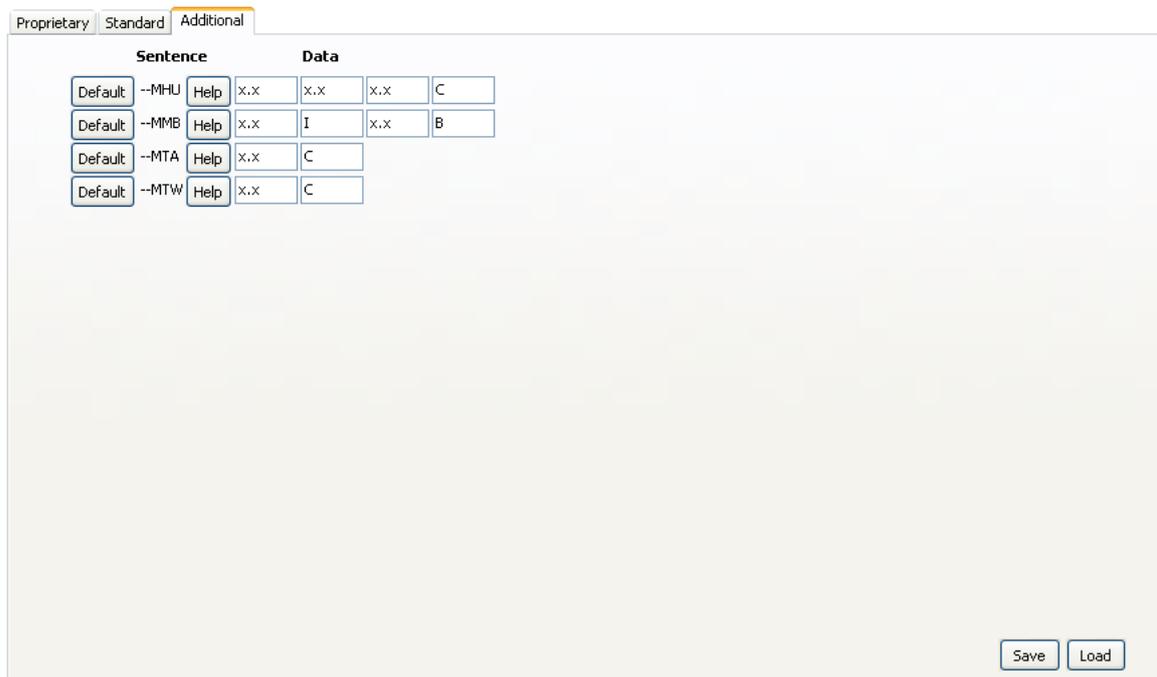


Abbildung 5.4.: Bedienoberfläche der zusätzlichen Telegramme

5.3.2. Simulation

In Abbildung 5.5 ist der Kopf der Software dargestellt. Die Schiffssimulation und Telegrammübertragung kann über die im Panel *Transmission* dargestellten Buttons gestartet, angehalten und zurückgesetzt werden. Über das Panel *Berthing* kann die Berechnung von Dateninhalten für das Anlegemanöver dazu geschaltet werden. Sämtliche Einstellungen der Software lassen sich über das Panel *Settings* speichern bzw. laden. Durch das Panel *Name* kann die Simulation betitelt und so einem Schiff bzw. Projekt zugeordnet werden.

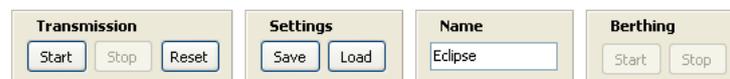


Abbildung 5.5.: Bedienoberfläche zum Steuern der Simulation bzw. Übertragung

Die Oberfläche der Simulation benötigt ebenfalls einen erhöhten Platzbedarf. Durch die bei den Telegrammen bereits erläuterte Verwendung von Registerkarten konnte auch hier der Platzbedarf minimiert werden.

5.3.2.1. Schiffsmanövriermodell

Über die erste Registerkarte gelangt der Anwender zu den Einstellungen und Anzeigen für das Schiffsmanövriermodell. Diese Registerkarte ist in Abbildung 5.6 dargestellt.

Im oberen Teil gibt es Eingabemöglichkeiten für Richtung sowie Breiten- und Längengrad des Schiffes. Weil die Anzeige und Eingabe der aktuellen Position des Schiffes miteinander gekoppelt sind, können Änderungen nur bei angehaltener Schiffssimulation vorgenommen werden.

Weiter unterhalb können die Abmessungen und die maximale Geschwindigkeit, Ruderlage und Drehrate des Schiffes angegeben werden. Außerdem befinden sich hier die beiden Schieberegler zum Steuern des Schubes und der Ruderlage. Diverse Anzeigen geben zudem Auskunft über die aktuelle Geschwindigkeit, zurückgelegte Strecke, Kurs und Drehrate des Schiffes. Im Anschluss folgen die Eingabemöglichkeiten für die magnetische Abweichung.

Der untere Teil beinhaltet das Anlegemanöver. Hier kann der Anwender neben der Art und Dauer des Anlegemanövers auch die Qualität der Messdaten und den Namen der Anlegestelle festlegen. Auch kann hier die Start- und Zielposition des Anlegemanövers bestimmt werden. Anzeigen informieren den Anwender über die verstrichene Zeit und die aktuelle Position des Schiffes.

Position, Vessel and Magnetic Variation | Depth, Wind, Water and Drift | Mode, Status and Other

Position
 Latitude: N 54 ° 54.32 ' Heading: 18.1 °
 Longitude: E 8 ° 08.08 '

Vessel
 Length: 300 m
 Width: 50 m
 Speed: 20 kn
 Rudder: 30 °
 Rate of Turn: 50 ° / min

Magnetic Variation
 Position: -10 °
 Vessel: 1.5 °

Distance to Quay
 Duration: 0 von 50 s
 Orientation: 0 Quality: 6
 Name of Quay: Hamburg

Start Current Finish

Heading: 75 0.00 90 °
 X-Position: 0 0.00 50 m
 Y-Position: 0 0.00 250 m

(50%) Thrust Speed: 15.67 kn
 X-Direction: 2.33 kn
 Y-Direction: 15.5 kn
 Distance: X-Direction: 0.05 sm
 Y-Direction: 0.32 sm
 Course: 8.57 °
 Rate of Turn: 13.01 ° / min
 Rudder (15°)

Abbildung 5.6.: Bedienoberfläche des Schiffsmanövriermodells

5.3.2.2. Wind-, Wasser- und Tiefenmodell

Über die zweite Registerkarte gelangt der Anwender zu den Einstellungen und Anzeigen für das Wind-, Wasser- und Tiefenmodell. Die in Abbildung 5.7 dargestellte Registerkarte ist in vier Bereiche unterteilt.

Die ersten drei Bereiche dienen zur Steuerung der Funktionen für das Wind-, Wasser- und Tiefenmodell. Neben den verwendeten periodischen Funktionen können hier Einstellungen zu deren Frequenz, Amplitude und Offset durchgeführt werden. Diverse Anzeigen geben Auskunft über die aktuell durch das Modell berechneten Werte.

Bei dem Tiefenmodell können zusätzlich Angaben zum Offset des Messwertgebers und zum Skalenbereich eingestellt werden. Auch im Windmodell gibt es eine Besonderheit. Hier kann der Anwender die Maßeinheit der eingegeben Daten bestimmen und angeben, ob die in den Telegrammen verwendeten Dateninhalte in theoretischer oder relativer Form eingetragen werden.

Im letzten Bereich hat der Anwender die Möglichkeit die Proportionalbeiwerte, mit denen sich Wind und Wasser im Drift auswirken, in prozentualer Form einzugeben. Des Weiteren wird hier die Geschwindigkeit des erzeugten Drifts in X- und Y-Richtung dargestellt.

Position, Vessel and Magnetic Variation				Depth, Wind, Water and Drift				Mode, Status and Other			
Depth											
Function	Sinus	Amplitude	25 fm	Offset from transducer	-0.5 m						
Frequency	0.01 Hz	Offset	250 fm	Maximum range scale	500 m						
Feet	1521.14 ft	Meters	463.64 m	Fathoms	253.52 fm						
Wind								Water			
Function	Relative	Unit	kn	Function	Rectangle	Amplitude	45 °	Function	Rectangle	Amplitude	45 °
Frequency	0.01 Hz	Offset	90 °	Frequency	0.01 Hz	Offset	90 °	Frequency	0.01 Hz	Offset	90 °
Relative	49.48 °	Theoretical	116.9 °	Relative	49.48 °	Theoretical	116.9 °				
Speed								Speed			
Function	Triangle	Amplitude	5 kn	Function	Triangle	Amplitude	5 kn				
Frequency	0.01 Hz	Offset	10 kn	Frequency	0.01 Hz	Offset	10 kn				
Relative	13.66 kn	Theoretical	14.55 kn	Relative	13.66 kn	Theoretical	14.55 kn				
Drift											
Wind	10 %	X-Direction:	-2.06 kn								
Water	10 %	Y-Direction:	2.06 kn								

Abbildung 5.7.: Bedienoberfläche des Wind-, Wasser- und Tiefenmodells

5.3.2.3. Sonstiges

Verbleibende Einstellungen der standardisierten Telegramme, die nicht durch die Schiffssimulation berechnet werden, befinden sich hinter der dritten Registerkarte und sind in Abbildung 5.8 dargestellt. Diese Einstellungen sind nach Telegrammnamen sortiert und mit Stichworten benannt. Es handelt sich hierbei also um eine komfortable manuelle Eingabemöglichkeit, welche die fehlenden Berechnungen der Schiffssimulation komplettiert.

Telegramm	Stichwort	Wert	Stichwort	Wert
GGA	GPS quality indicator	3	Number of satellites	05
	HDOP	0.8	Antenna altitude	25
	Geoidal seperation	40	Age of differential GPS data	10
	Reference station ID	1023		
GLL	Mode indicator	A		
GNS	Mode indicator	A	Number of satellites	07
	HDOP	1.5	Antenna altitude	30
	Geoidal seperation	45	Age of differential GPS data	10
	Reference station ID	1023	Navigational status indicator	5
RMC	Mode indicator	A	Navigational status indicator	5
STN	Talker ID number	00		
THS	Mode indicator	A		
VTG	Mode indicator	A		

Abbildung 5.8.: Bedienoberfläche für sonstige Einstellungen

5.3.3. Schnittstellen

Die in der Zielsetzung geforderte Zuweisungsmöglichkeit der Telegramme wird über die Bedienoberflächen der Schnittstellen geregelt. Eine der insgesamt acht Bedienoberflächen ist exemplarisch in Abbildung 5.9 dargestellt.

Im oberen Teil hat der Anwender die Möglichkeit die Schnittstelle zu konfigurieren. Hier können neben dem zu verwendenden COM-Port auch dessen Baudrate und Protokoll eingestellt werden. Zudem kann die Zykluszeit, in der die Telegramme versendet werden, festgelegt werden. Bei laufender Telegrammübertragung werden diese Eingabemöglichkeiten für den Anwender deaktiviert. Über die Buttons *Save* und *Load* können sämtliche Einstellungen der Schnittstelle, mit Ausnahme des COM-Ports, gespeichert bzw. geladen werden.



Abbildung 5.9.: Bedienoberfläche einer Schnittstelle

Die standardisierten, zusätzlichen und proprietären Telegramme können durch Setzen von Haken der Schnittstelle zugewiesen werden. Zudem kann der Anwender in den zu den Telegrammen gehörigen Kombinationsfeldern die entsprechenden *talker identifier* auswählen oder manuell eingeben.

Im Fuß der Bedienoberfläche kann durch Setzen eines Hakens das Protokollieren der von der Schnittstelle versendeten Telegramme aktiviert werden. Durch Betätigung des Buttons *Open* kann der Anwender das Protokoll einsehen. Die Einstellungen der Schnittstelle können über das Eingabefeld *Name* betitelt werden.

5.4. Erweiterung

5.4.1. Speichern und Laden von Einstellungen

Die Konfiguration der Software auf verschiedene Datenmodelle ist zeitintensiv. Um zu vermeiden, dass bei einem wiederkehrenden Test eines Datenmodells die Konfiguration erneut durchgeführt werden muss, wurde eine Implementierung von Funktionen zum Speichern und Laden der Einstellungen vorgenommen.

In der Software wurden drei verschiedene Arten zum Speichern und Laden von Einstellungen implementiert. Eine Unterscheidung der im Folgenden erklärten Arten erfolgt anhand des Dateinamens.

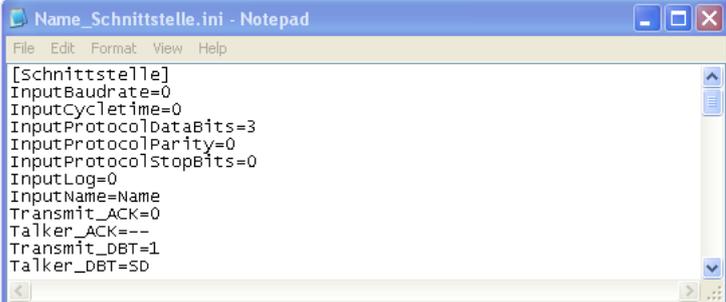
Der Anwender hat die Möglichkeit sämtliche Einstellungen der Software zu speichern. Diese Funktion dient primär der Wiederherstellung von Einstellungen der Software auf ein bereits in der Vergangenheit getestetes Datenmodell.

Zudem können die Dateninhalte der Telegramme separat gespeichert werden. Gerade bei proprietären Telegrammen kann es zwischen verschiedenen Datenmodellen zu Redundanzen kommen. Das selektive Speichern ermöglicht es, Dateninhalte von Telegrammen zu laden, ohne die Einstellungen der Simulation oder der Schnittstellen zu verändern.

Wie bereits zuvor beschrieben, können auch die Einstellungen einzelner Schnittstellen, mit Ausnahme des Comports, gespeichert bzw. geladen werden. Diese Funktion ermöglicht das Übertragen charakteristischer Einstellungen von Schnittstellen.

Das Speichern der Einstellungen erfolgte zuerst unter Verwendung von Textdateien. Bei diesem Verfahren kam es jedoch zu einigen Nachteilen. Beim Speichern und Laden von Einstellungen musste präzise auf die richtige Reihenfolge geachtet werden. Außerdem sind die erstellten Textdateien sehr unübersichtlich. Eine manuelle Änderung von Einstellungen in der Datei ist deswegen nur eingeschränkt möglich.

Um den genannten Nachteilen von Textdateien zu entgehen, wurde auf die Verwendung von INI-Dateien übergegangen. Durch die verschiedenen Bereiche einer INI-Datei konnten die Einstellungen nach Simulation, Telegramme und Schnittstellen unterteilt werden. Die Vergabe eines Schlüssels beim Speichern einer jeden Einstellung erhöhte die Übersichtlichkeit der Datei. Hierdurch kann diese wesentlich besser gelesen und editiert werden. Ein Ausschnitt einer durch die Software erstellten INI-Datei ist in [Abbildung 5.10](#) dargestellt.



```
File Edit Format View Help
[Schnittstelle]
InputBaudrate=0
InputCycletime=0
InputProtocolDataBits=3
InputProtocolParity=0
InputProtocolStopBits=0
InputLog=0
InputName=Name
Transmit_ACK=0
Talker_ACK=--
Transmit_DBT=1
Talker_DBT=SD
```

Abbildung 5.10.: Exemplarischer Aufbau einer INI-Datei

5.4.2. Protokollieren gesendeter Telegramme

Eine weitere vom Anwender gewünschte Erweiterung der Software ist die Protokollierung gesendeter Telegramme. Diese ermöglicht es, durchgeführte Tests von Datenmodellen zu dokumentieren und den Inbetriebnahme- bzw. Servicemitarbeitern die Verifizierung des Datenmodells darzustellen.

In der Bedienoberfläche der Schnittstelle wurde bereits beschrieben, wie der Anwender das Protokollieren der gesendeten Telegramme aktivieren und das erstellte Protokoll einsehen kann. Auf die Bedienoberfläche des Protokolls, welche in Abbildung 5.11 dargestellt ist, wird im Folgenden weiter eingegangen.

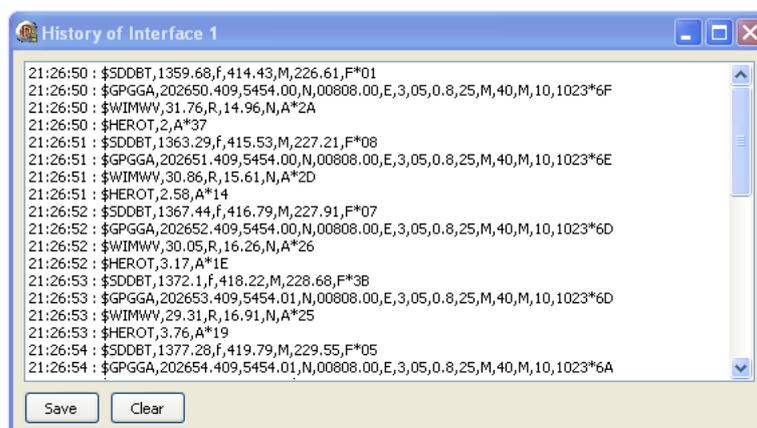


Abbildung 5.11.: Protokollierung gesendeter Telegramme

Die gesendeten Telegramme werden bei aktivierter Protokollierung fortlaufend einer Liste hinzugefügt. Das kann bei langen Tests dazu führen, dass zu viel Speicher belegt wird und die Software abstürzt. Um dieser Problematik zu entgehen, wurde die Länge der Liste auf tausend Telegramme begrenzt.

Über den Button *Clear* kann die Liste zu jedem Zeitpunkt gelöscht werden. Diese Funktion ist hilfreich, wenn der Anwender eine Änderung vornimmt und die zuvor protokollierten Telegramme für die Dokumentation nicht von Relevanz sind. Die endgültige Dokumentation der protokollierten Telegramme erfolgt über den Button *Save*. Hier hat der Anwender die Möglichkeit die in der Liste befindlichen Telegramme in einer Textdatei zu speichern.

6. Exemplarische Überprüfung

Die Überprüfung der Software konnte überwiegend ohne die Übertragung der Telegramme durchgeführt werden. Durch die Betrachtung trivialer Situationen wurden Berechnungen direkt nach ihrer Implementierung verifiziert. Die Software wurde schon frühzeitig genutzt um Datenmodelle von Schiffen zu verifizieren. Die Übertragung der Telegramme funktionierte auf Anhieb.

Durch die Nutzung der Software in der Entwicklungsphase wurden Erweiterungen und Verbesserungsvorschläge vor dem im Folgenden betrachteten Testlauf berücksichtigt und implementiert. Die Anwender erhielten eine Software, die durch ihre Mitgestaltung ihren Anforderungen genügt.

Für den Test wurde im Labor ein bereits bestehendes Datenmodell eines Schiffes genutzt. Der Testaufbau und die Zuweisung der Telegramme zu den jeweiligen Schnittstellen erfolgte durch Hilfestellung von Herrn Tobias Köster.

6.1. Wind-, Wasser- und Tiefenmodell

Die Erzeugung der Daten aus dem Wind-, Wasser- und Tiefenmodell erfolgt äquivalent zueinander. Dementsprechend wurde lediglich die Überprüfung des Tiefenmodells dargestellt. Für die Überprüfung des Modells wurden sämtliche Schwingungsarten über einen Zeitraum von zehn Minuten simuliert. Die durch das Navigationssystem erstellten Verläufe sind zusammengefasst in Abbildung 6.1 dargestellt.

In der Simulation werden sämtliche Werte in nautischen Einheiten angegeben. Die nautische Einheit für Tiefenangaben ist der nautische Faden. Für die in der Simulation verwendeten Parameter Frequenz, Amplitude und Offset wurden folgende Werte genutzt.

$$f = 0.01Hz \quad a = 50fm \quad o = 250fm$$

Die Anzeige im Navigationssystem erfolgt jedoch in Metern. Durch Umrechnung des Wertebereiches der Simulation von nautischer Faden in Meter resultiert der im Navigationssystem angezeigte Wertebereich von 365,76m bis 548,64m.

Aus der in der Abbildung dargestellten Rechteckschwingung lässt sich die Obergrenze des Wertebereiches von $548,1\text{m}$ ablesen. Die Differenz von $0,5\text{m}$ resultiert aus dem in der Simulation angegeben und im Telegramm übertragenen Offset des Messwertgebers. Dieser wird vom Navigationssystem berücksichtigt.

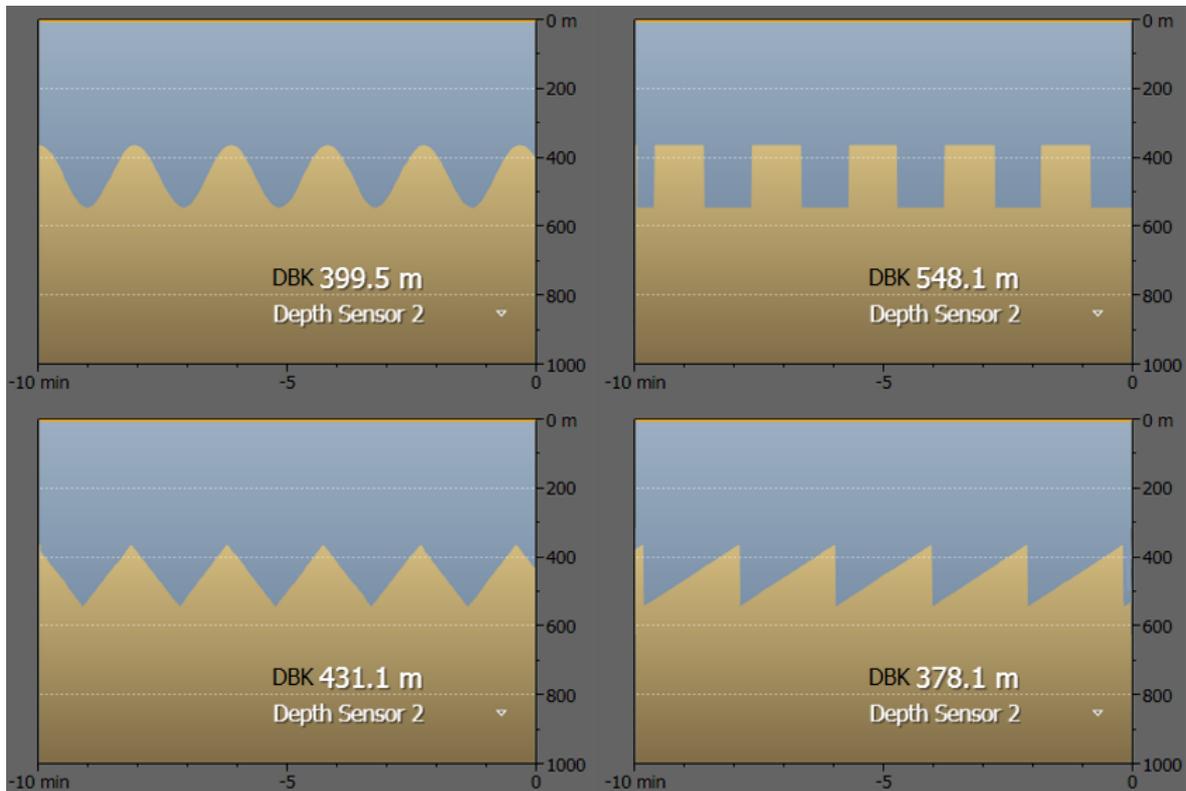


Abbildung 6.1.: Überprüfung des Wind-, Wasser- und Tiefenmodells

6.2. Schiffsmanövriermodell

Die korrekte Darstellung von Geschwindigkeit, Drehrate, Richtung, Kurs und Position des Schiffes in der Visualisierung des Navigationssystems wurde überprüft. Es wurde jedoch bewusst darauf verzichtet, die Verifizierung dieser Größen in dem folgenden Abschnitt zu dokumentieren. Die Überprüfung wurde eigenständig durchgeführt. Aus diesem Grund war die zeitgleiche Aufnahme von Screenshots nicht möglich. Zudem gibt die Darstellung der einzelnen Größen keine Auskunft über die korrekte Funktion des Modells.

Die im Navigationssystem aufgezeichnete zurückgelegte Strecke des Schiffes eignet sich besser zur Verifizierung des Modells. Hierfür wurde zuerst versucht das in der Simulation des Modells gezeigte Schiffsmanöver, welches in [Abbildung 4.10](#) dargestellt ist, nachzustellen. Bei diesem Versuch kam es jedoch zu einer geringen Abweichung. Die Abweichung konnte jedoch auf die Verwendung unterschiedlicher Zeitkonstanten zurückgeführt werden. Die Funktion des Modells war dennoch ersichtlich und von einer Korrektur der Zeitkonstanten wurde abgesehen.

In [Abbildung 6.2](#) ist ein vom Navigationssystem aufgezeichnetes Schiffsmanöver dargestellt. Auffällig ist die unrunde Darstellung der Kurven. Es stellte sich jedoch heraus, dass das Navigationssystem in der Lage ist die übertragenen Daten für Breiten- und Längengrad mit einer Genauigkeit von drei Nachkommastellen darzustellen. Die durch die Software erstellten Telegramme verfügten nur über zwei Nachkommastellen. Diese Ungenauigkeit spielt für den Anwender für die Verifizierung seiner Datenmodelle keine Rolle. Dennoch erfolgte eine Korrektur der Software, welche zu einer Verbesserung führte.

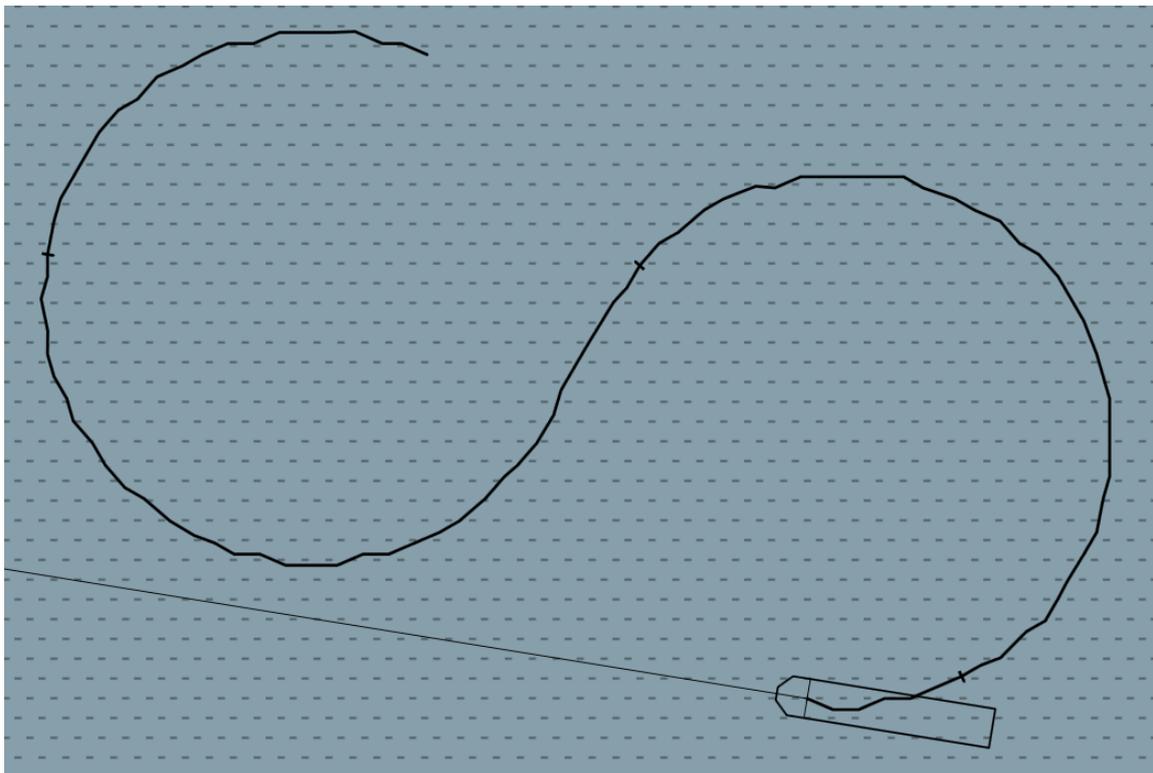


Abbildung 6.2.: Überprüfung des Schiffsmanövriermodells

6.3. Relative Windgeschwindigkeit

Die korrekte Berechnung der relativen Windgeschwindigkeit wurde ebenfalls verifiziert. In Abbildung 6.3 ist die Verifizierung zusammengefasst dargestellt. Für den Test wurde der Wind in relativer Form übertragen und das Schiff im Kreis manövriert.

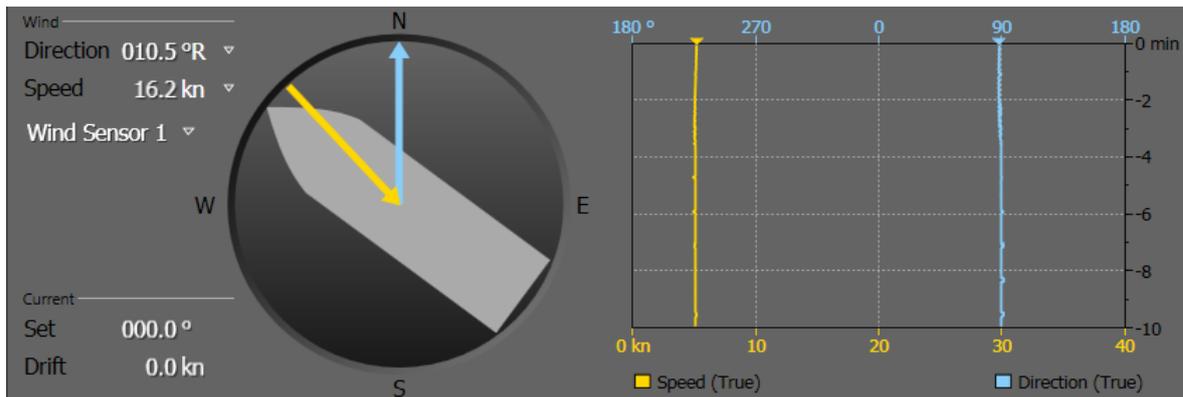


Abbildung 6.3.: Überprüfung der relativen Windgeschwindigkeit

Im linken Teil der Abbildung ist die relative Windrichtung von $10,5^\circ$ und die relative Windgeschwindigkeit von $16,2kn$ zum Zeitpunkt der Aufnahme ersichtlich. Das Navigationssystem ist in der Lage diese relativen Winddaten in theoretische zu überführen. Der rechte Teil der Abbildung zeigt den vom Navigationssystem über einen Zeitraum von zehn Minuten erstellten Verlauf dieser theoretischen Winddaten. Es handelt sich hierbei um die für diesen Test in der Schiffssimulation eingestellten Konstanten für Windgeschwindigkeit und -richtung. Diese Übereinstimmung verifiziert die korrekte Berechnung.

$$V_{wind} = 5kn \quad \alpha_{wind} = 90^\circ$$

6.4. Anlegemanöver

Eine Überprüfung des Anlegemanövers konnte ebenfalls durchgeführt werden. In Abbildung 6.4 ist die Visualisierung zu zwei Zeitpunkten des Anlegemanövers dargestellt. Für die Start- und Zielposition wurden folgende Werte genutzt.

$$S_X = 0m \quad S_Y = 0m \quad S_\alpha = 75^\circ \quad Z_X = 50m \quad S_Y = 250m \quad S_\alpha = 90^\circ$$

$$l = 300m \quad b = 50m$$

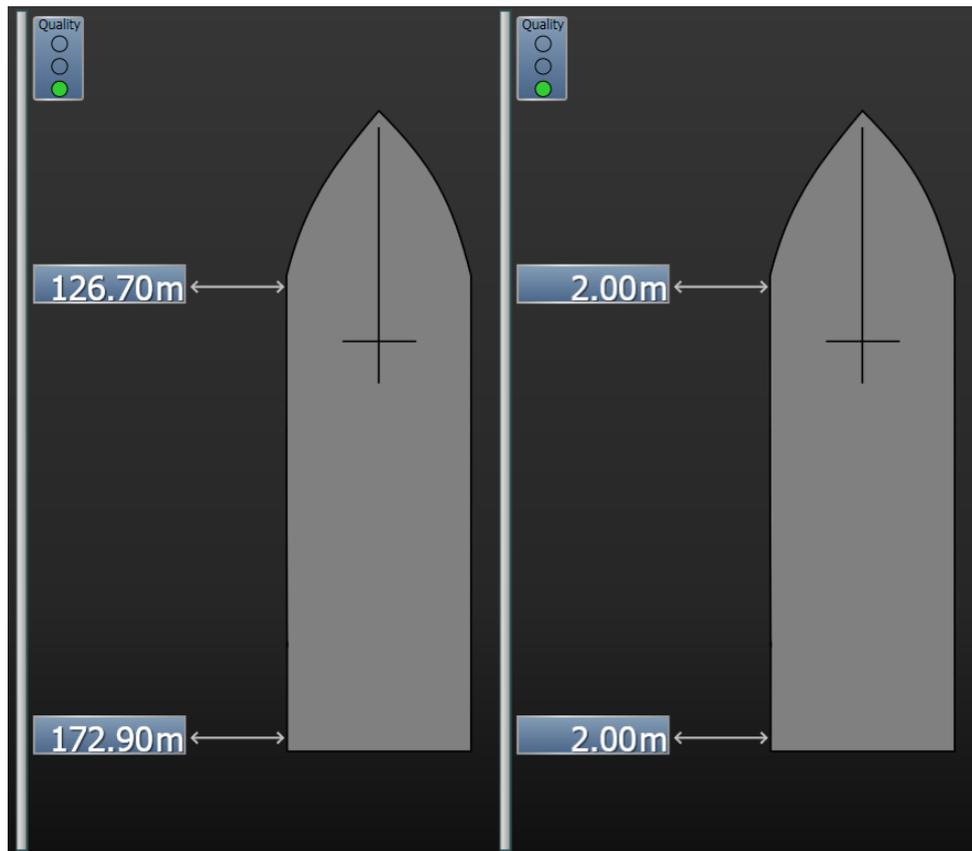


Abbildung 6.4.: Überprüfung des Anlegemanövers

Die linke Seite der Abbildung zeigt exemplarisch die Entfernungsdarstellung zwischen der Start- und Zielposition. Es ist ersichtlich, dass der Bug sich näher an der Pier befindet als das Heck des Schiffes. Hierfür verantwortlich ist die Drehung des Schiffes im Verlauf des Anlegemanövers. Im rechten Teil der Abbildung ist das Anlegemanöver abgeschlossen. Der durch Fender verbleibende Abstand des Schiffes zur Pier wurde mit zwei Metern in der Software implementiert und entspricht den in der Abbildung gezeigten Entfernungen.

7. Fazit und Ausblick

Die in der Zielsetzung beschriebenen Anforderungen wurden in vollem Umfang erfüllt. Weiterhin genügt die entwickelte Schiffssimulation bzw. Software den Anforderungen des Anwenders. Bereits durchgeführte Tests von Datenmodellen bestätigten die Funktion. Die Einbindung gewünschter Erweiterungen gestaltete sich ohne Probleme und war aufgrund der gewählten Softwarearchitektur mit geringem Zeitaufwand möglich. Potenzielle Fehlerquellen, die zu einem Absturz der Software führen könnten, wurden behandelt. Zu diesem Zeitpunkt sind keine Fehler der Schiffssimulation bzw. Software bekannt.

In der Modellbildung des Anlegemanövers wurde bereits auf die fehlenden Berechnungen von zwei Dateninhalten hingewiesen. Das Anlegemanöver stellt keinen Bestandteil der Aufgabenstellung dar. Eine manuelle Eingabe der Dateninhalte ist dennoch möglich. Wegen anderer Schwerpunkte wurden die Berechnungen in dieser Thesis nicht umgesetzt. Zudem ist keine Überprüfung der Eingabewerte implementiert. Das Schiff ist somit in der Lage, bei ungünstig gewählten Werten für die Start- und Zielposition, in die Pier zu manövrieren.

Im aktuellen Stand der Software stellen die in den Abbildungen [5.3](#) und [5.4](#) dargestellten Dateninhalte die Default-Werte der Telegramme dar. Die Default-Werte können jedoch durch Änderungen der Texte in den Eingabefeldern der Telegramme in der Designoberfläche der Programmierumgebung unkompliziert angepasst werden.

Die acht Schnittstellen der Software sind bei vielen Tests oftmals nicht ausreichend. In diesem Fall ist der Anwender gezwungen selektive Tests durchzuführen oder einen zweiten Rechner einzubinden, um weitere acht Schnittstellen zur Verfügung zu haben. Wenn ein zweiter Rechner verwendet wird, muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Schiffssimulationen keine widersprüchlichen Dateninhalte erzeugen. Eine Erhöhung der Schnittstellenanzahl der Software wäre ohne großen Aufwand möglich und würde den vollständigen Test von Datenmodellen ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- [Fugro 2014] *Marinestar Manoeuvring System - User Manual and Installation Guide*. PDF. 2014. – PDF-Datei befindet sich auf der CD
- [SAM 2015] *NACOS Platinum - Technical Manuel IEC 61162 Interface*. PDF. 2015. – PDF-Datei befindet sich auf der CD
- [Benedict und Wand 2011] BENEDICT, Knud ; WAND, Christoph: *Handbuch Nautik - Technische und betriebliche Schiffsführung*. Hamburg : Seehafen-Verlag, 2011. – ISBN 978-3-877-43826-8
- [Berking und Huth 2010] BERKING, Bernhard ; HUTH, Werner: *Handbuch Nautik - Navigatorische Schiffsführung*. Hamburg : Seehafen-Verlag, 2010. – ISBN 978-3-877-43821-3
- [National Oceanic and Atmospheric Administration 2014] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION: *WMM 2015 Declination Map*. Dezember 2014. – URL <http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>. – Zugriffsdatum: Februar, 2016

Symbolverzeichnis

α	Richtung des Schiffes
$\alpha_{wasserR}$	Relative Wasserrichtung
α_{wasser}	Wasserrichtung
α_{windR}	Relative Windrichtung
α_{wind}	Windrichtung
β	Kurs des Schiffes
$\Delta\lambda$	Längenunterschied
$\Delta\varphi$	Breitenunterschied
γ	Magnetische Abweichung
γ_{abl}	Maximale magnetische Ablenkung des Schiffes
γ_{pos}	Magnetische Abweichung der Position
λ	Geografische Länge
λ_A	Abfahrtslänge
λ_B	Ankunftslänge
Ω	Drehrate des Schiffes
φ	Geografische Breite
φ_A	Abfahrtsbreite
φ_B	Ankunftsbreite
φ_M	Arithmetische Mittelbreite
\vec{a}	Richtungsvektor der Pier
\vec{P}	Ortsvektor der Pier

\vec{S}_1	Ortsvektor vom Bug des Schiffes
\vec{S}_2	Ortsvektor vom Heck des Schiffes
b	Breite des Schiffes
d	Distanz
f	Abstand der Fender
k_{wasser}	Proportionalbeiwert für Wasser
k_{wind}	Proportionalbeiwert für Wind
l	Länge des Schiffes
R_{erde}	Erdradius
S	Startposition des Anlegemanövers
T_{anl}	Dauer des Anlegemanövers
U_{erde}	Erdumfang
V	Geschwindigkeit des Schiffes
V_{drift}	Driftgeschwindigkeit des Schiffes
V_{grundL}	Längsgeschwindigkeit des Schiffes über Grund
$V_{grundQA}$	Quergeschwindigkeit des Achterschiffes über Grund
V_{grundQ}	Quergeschwindigkeit des Schiffes über Grund
V_{res}	Resultierende Geschwindigkeit des Schiffes
$V_{wasserL}$	Längsgeschwindigkeit des Schiffes durch Wasser
$V_{wasserQA}$	Quergeschwindigkeit des Achterschiffes durch Wasser
$V_{wasserQ}$	Quergeschwindigkeit des Schiffes durch Wasser
$V_{wasserR}$	Relative Wassergeschwindigkeit
V_{wasser}	Wassergeschwindigkeit
V_{windR}	Relative Windgeschwindigkeit
V_{wind}	Windgeschwindigkeit
Z	Zielposition des Anlegemanövers

A. Anhang

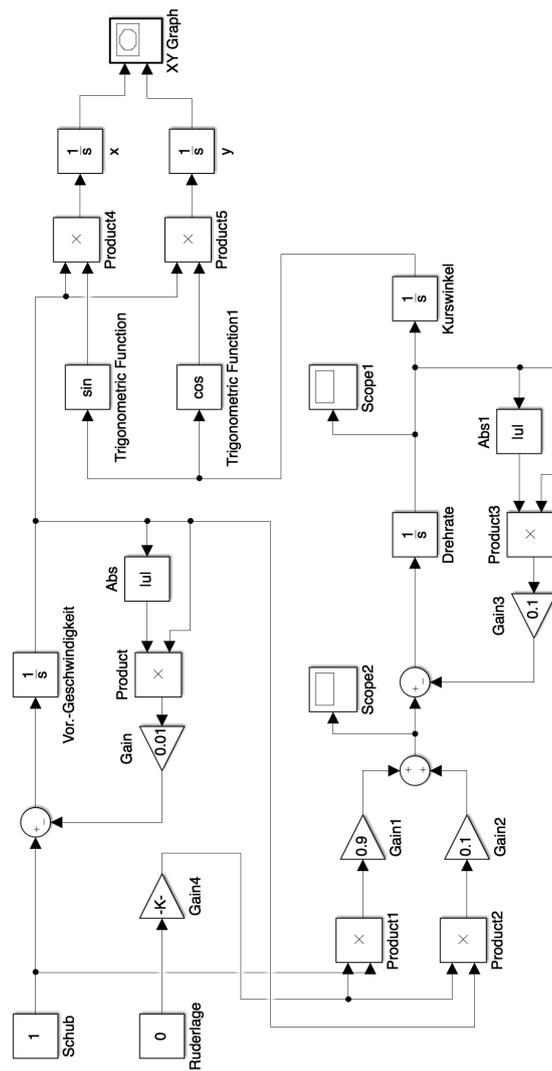


Abbildung A.1.: Schiffsmanövriermodell in Matlab Simulink (Fachgespräch)

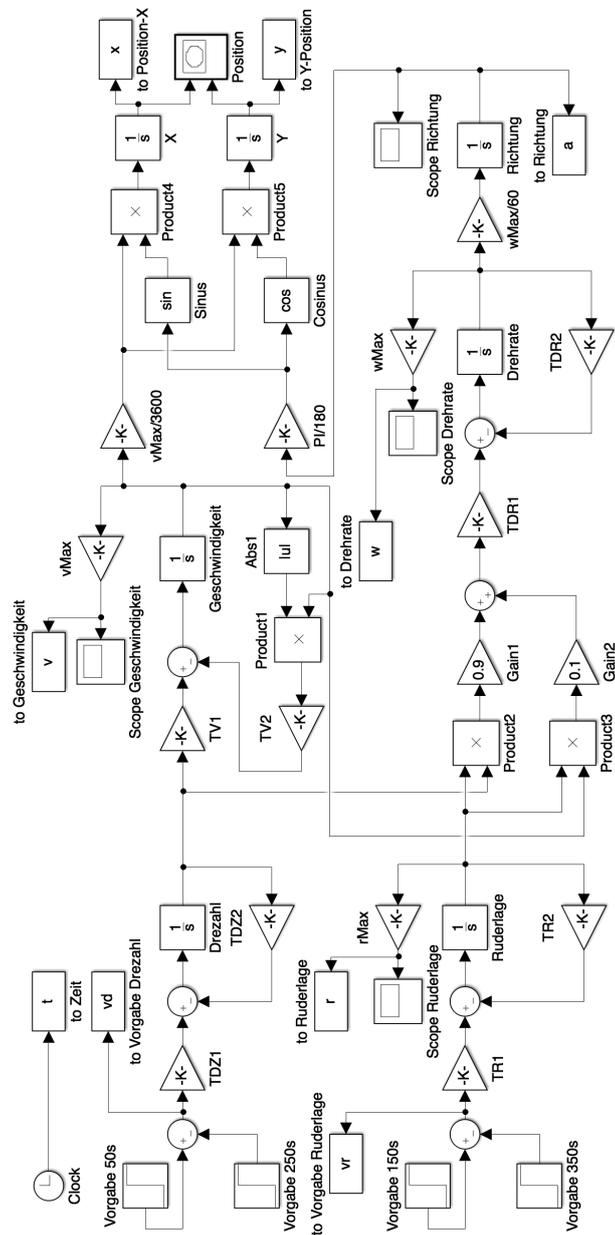


Abbildung A.2.: Schiffsmanövriermodell in Matlab Simulink (Erweiterung)

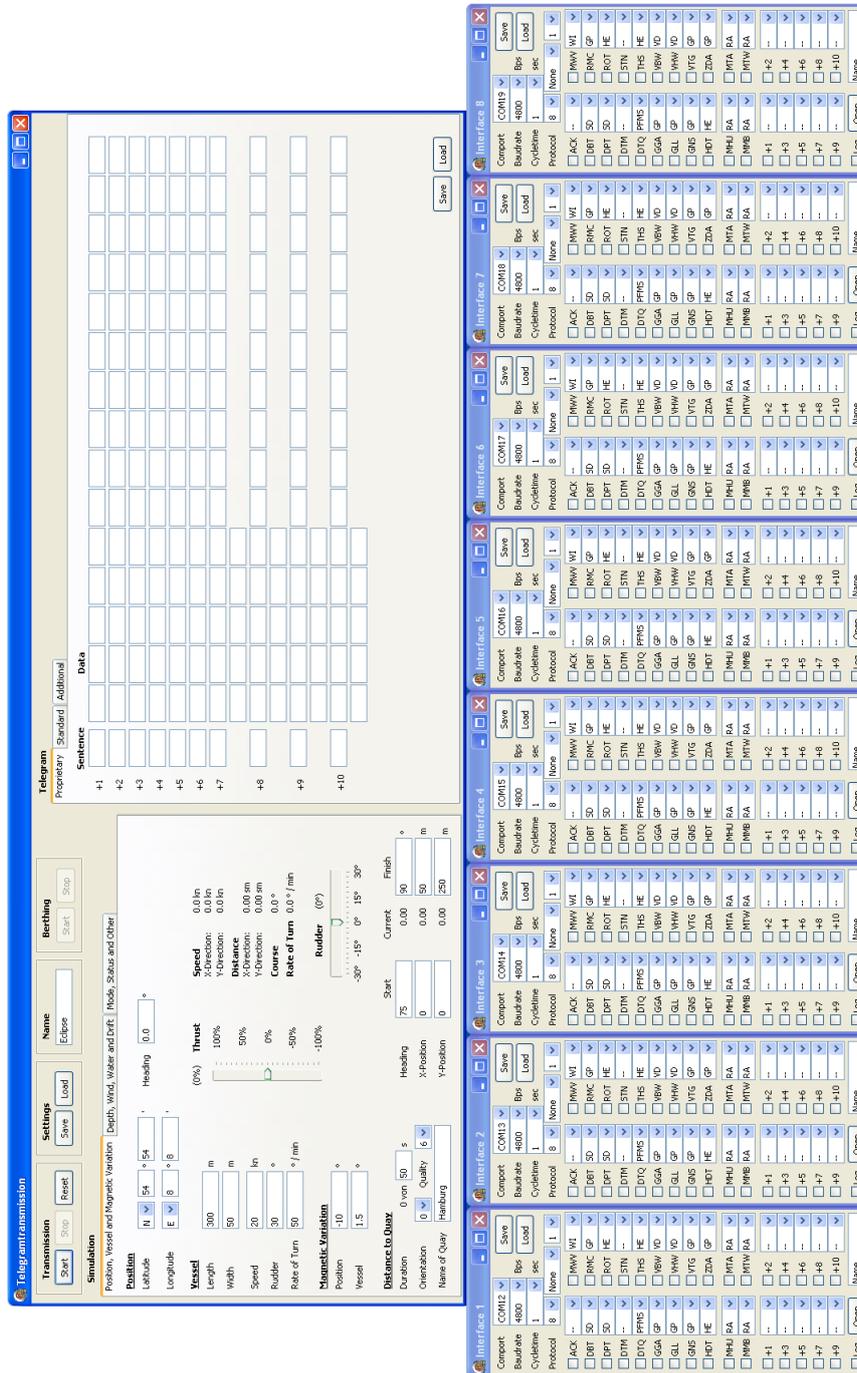


Abbildung A.3.: Bedienoberfläche der Software

Versicherung über die Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §16(5) APSO-TI-BM ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 3. März 2016

Ort, Datum

Unterschrift