



## Schlussbericht

<b>InnoRegio-Projekt:</b>	Aufbau einer Maritimen Allianz in der Ostseeregion
<b>Einzelprojekt:</b>	Automatische Liegeplatzansteuerung <b>Regelungstechnik/ Simulation</b>
<b>Förderkennzeichen:</b>	03i0732
<b>Unternehmen:</b>	ENITECH Energietechnik Elektronik GmbH
<b>Projektleiter:</b>	Dipl.- Ing. J. Martin
<b>Zeitraum:</b>	01.04.2004 - 30.06.2006

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03i0732 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Bentwisch, den 27.09.2006

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Voraussetzung und Zielstellung des Vorhabens</b>	<b>5</b>
2.1	Voraussetzung	5
2.2	Zielstellung	6
<b>3</b>	<b>Planung und Ablauf des Vorhabens</b>	<b>6</b>
3.1	Planung laut Projektantrag	6
3.2	Planungsänderung nach Projektbeginn	8
<b>4</b>	<b>Ausgangssituation, Stand Wissenschaft und Technik</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenarbeit mit anderen Stellen/ Partnern</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Wissenschaftlich-technische Ergebnisse/ Erfahrungen</b>	<b>10</b>
6.1	Lösungsansätze/ Analyse sinnvoller Optimierungspotentiale (Arbeitspaket 10)	11
6.1.1	Projekteinarbeitung	11
6.1.2	Ableitung wichtiger Fragestellungen	12
6.2	Lösungswege für eine automatisierte zeit-, energie- und emissionsoptimierte Liegeplatzansteuerung (Arbeitspaket 20)	13
6.2.1	Erarbeitung von Grundvarianten	13
6.2.2	Vorbereitende Arbeiten für die Simulation	14
6.3	Lösungswege und Konzeptionen für realisierbare aktive und passive Anlegehilfen (Arbeitspaket 30)	18
6.3.1	Daten zu Schiff und Hafen	19
6.3.2	Erarbeitung eines Schiffssimulators	20
6.3.3	Entwurf des Aufbaus eines automatischen Anlegereglers	24
	Aufbau des automatischen Anlegereglers	24
6.4	Regeln Anlegeszenarien (Arbeitspaket 40)	25
6.4.1	Regelungstechnischer Entwurf des Anlegereglers	25
6.4.2	Festlegungen zur Testhardware des Anlegereglers	25
6.4.3	Signalaustausch mit Projektpartner NORIS	26
6.4.4	Schnittstellen zwischen den Komponenten von ENTECH	26
6.4.5	Testaufbau für die regelungstechnischen Untersuchungen	26
6.4.6	Kursgenerator	27
6.4.7	Anlegeregler	28
6.4.8	Bedieneinheit des Anlegereglers	29
6.5	Überprüfung der erarbeiteten Konzeptionen durch Simulations-rechnungen anhand einer beispielhaften Streckennachbildung (Arbeitspaket 50)	30
6.5.1	Ziele der Simulation eines automatischen Anlegevorganges	30
6.5.2	Simulationsrechnungen	31
6.5.3	Zusammenfassung der wichtigsten Untersuchungsergebnisse	33

---

<b>7</b>	<b>Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse, Anschlussmöglichkeiten.....</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>Während der Bearbeitung des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt gewordener Fortschrittsgrad auf dem Gebiet, Wettbewerbssituation.....</b>	<b>35</b>
<b>9</b>	<b>Veröffentlichungen.....</b>	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>35</b>

## 1 Aufgabenstellung

Das Umschlagsvolumen im Fährverkehr zwischen den Ländern der Ostseeregion hat in den vergangenen Jahren eine rasante Aufwärtsentwicklung erfahren. Zur Bewältigung dieses hohen Aufkommens an zu transportierenden Gütern, Passagieren und Fahrzeugen wurden von verschiedenen Fährgesellschaften neue Wege zur Erhöhung der Qualität und des Durchsatzes der Fährverbindungen beschritten. Wesentliche Verbesserungen konnten dabei durch die Konstruktion neuartiger Fähren und der darauf abgestimmten Hafenanlagen erreicht werden. Als sehr effektiv haben sich dabei moderne Doppelendfähren erwiesen, die aufgrund ihrer hohen Manövrierfähigkeit wesentlich zur Verkürzung der Zeiten für das An- und Ablegen beigetragen haben. Da die Manöver für das An- und Ablegen eines Schiffes nach wie vor manuell durchgeführt werden, ist deren gestiegenen Anzahl mit erhöhten Anforderungen an die Besatzung und damit mit einem erhöhten Risiko für die Sicherheit einer Fährüberfahrt verbunden. Insbesondere der Anlegevorgang ist ein sehr komplizierter Vorgang geblieben, der die volle Aufmerksamkeit des Schiffsführungspersonals in Anspruch nimmt. Die Aufgabenstellung des vorliegenden Vorhabens bestand deshalb darin, den Anlegevorgang von Doppelendfähren bezüglich seiner Automatisierbarkeit näher zu untersuchen.

Daraus leiteten sich 2 wichtige Teilaufgaben ab. Dies ist einerseits die Untersuchung von Möglichkeiten zur wetterunabhängigen und sicheren Erfassung aller erforderlichen Messgrößen mit land- und schiffsgestützten Mitteln und andererseits die Untersuchung zur Realisierbarkeit einer automatischen Anlegeeinrichtung. Unter dem Überbegriff „Automatische Liegeplatzansteuerung“ wurden so zwei große Themenkomplexe definiert:

Themenkomplex 1: Sensorik und Schiffstechnik

Themenkomplex 2: Regelungstechnik/ Simulation

Der erste Themenkomplex wurde von der Firma Noris Automation Rostock bearbeitet.

Der vorliegende Abschlussbericht bezieht sich auf den 2. Komplex:

**„Automatische Liegeplatzansteuerung“**  
**„Regelungstechnik/ Simulation“**

## 2 Voraussetzung und Zielstellung des Vorhabens

### 2.1 Voraussetzung

Ein repräsentatives Beispiel für die Erreichung einer sehr hohen Effektivität im Fährverkehr sind die Fähren und Hafenanlagen der Fährverbindung Puttgarden - Rodby. Hier werden sogenannte Doppelendfähren eingesetzt, die aufgrund ihrer 4 leistungsstarken POD-Antriebe eine ausgesprochen hohe Manövrierfähigkeit besitzen. In Verbindung mit einer Vielzahl von modernen Hilfsmitteln, die dem Schiffspersonal den Anlegevorgang erleichtern (GPS, Bordkameras, optisches Richtfeuer), teilautomatisierten Hafenanlagen (hydraulische Zange, Automoorung - Anlage) sowie durch eine Optimierung des Ent- und Beladevorganges im Hafen einschließlich des Austausches der erforderlichen Versorgungsgüter für die Fahrgäste (Abwasser, Catering- Service u.s.w.) konnten die Hafentiegezeiten auf dieser Fährlinie auf 15 min verkürzt werden.

In Folge dieser Maßnahmen hat sich die Anzahl der durchzuführenden An- und Ablegemanövern pro Schiff und Besatzung deutlich erhöht. Die daraus resultierenden gestiegenen Belastungen für das Schiffsführungspersonal vergrößern die Gefahr von Unfällen und Schäden am Schiff und den Hafenanlagen.

#### Schiff und Besatzung

Um den Fahrplan einhalten zu können, unterliegt neben der Be- und Entladung auch die Zeit für die Überfahrt einem strengen Zeitregime. Als besonders kritischer Abschnitt stellt sich dabei der Anlegevorgang dar. Einerseits müssen das Manövrieren in Hafen und das eigentliche Anlegen des Schiffes aufgrund des Zeitdruckes sehr zügig erfolgen, und das unter nahezu allen Wetterbedingungen, andererseits rufen gerade in diesem Abschnitt Manövrierfehler sehr schnell Schäden am Schiff und insbesondere an den Hafenanlagen hervor. Das Anlegen der Fähre ist nach wie vor ein rein manueller Vorgang und erfordert viel Erfahrung und insbesondere eine ganz besondere Aufmerksamkeit. Nach Aussage von Kapitänen sind weniger schlechte Wetterbedingungen und Defekte sondern eher Unaufmerksamkeiten die Ursache für Manövrierfehler mit Folgeschäden.

#### Hafenanlage

Das punktgenaue Anlegen eines Schiffes ist aufgrund der freien Beweglichkeit des Schiffes auf dem Wasser in 2 Richtungen und um die eigene Achse ein sehr komplizierter Vorgang.

Da die POD- Antriebe vorn und Achtern außerhalb der Längsachse angeordnet und außerdem noch unabhängig voneinander jeweils um 360 Grad drehbar sind, erzeugt ein einzelner Antrieb mit Ausnahme ganz weniger Stellungen neben dem Schub in eine oder sogar 2 Richtungen auch immer noch ein Drehmoment um den Schwerpunkt des Schiffes.

Um sich das Anlegen zu erleichtern, suchen die Kapitäne deshalb schon viele Meter vor dem Erreichen der Endposition den seitlichen Kontakt zu den Fendern. Durch das Andrücken an die Fender kann sich das Schiff nur noch in eine Richtung bewegen und auch nicht mehr drehen. Der restliche Weg bis zum vorderen Anlegepunkt wird dann durch Entlanggleiten an den Fendern zurückgelegt.

Dieses Rutschen an den Fendern ruft hohen Verschleiß an deren Gleitflächen hervor und verursacht damit immer wieder Kosten für deren Erneuerung. Aus Sicht der Hafenmeisterei sind deshalb Anlegemanöver dieser Art nicht erwünscht.

## 2.2 Zielstellung

Doppelendfähren mit 4 POD- Antrieben haben sich als sehr effektiv für den Kurzstreckenverkehr erwiesen. Ihre hohe Manövrierfähigkeit ermöglicht im Vergleich zu herkömmlichen Fähren vergleichsweise sehr kurze An- und Ablegezeiten. Gleichzeitig sind insbesondere die Anlegemanöver bei der Lösung der Gesamt- Transportaufgabe Land - See - Land ein Abschnitt, der aufgrund seines Kompliziertheitsgrades und seiner Häufigkeit mit einem erhöhtem Risiko verbunden ist.

Das Ziel dieser Vorhabens war es , diesen Abschnitt insbesondere unter den Gesichtspunkten

- Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit
- Minimierung von Schäden an Schiff und Hafen
- Entlastung der Schiffsführung von Routineaufgaben

bezüglich vorhandener Optimierungspotentiale für den Schiffstyp der Doppelendfähren mit 4 POD- Antrieben näher zu untersuchen.

## 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

### 3.1 Planung laut Projektantrag

Die Laufzeit des Vorhabens erstreckte sich über 2 Jahre von Juli 2004 bis einschließlich Juli 2006. Der Bearbeitungszeitraum wurde entsprechend dem Projektantrag in 5 Bearbeitungsabschnitte (Arbeitspakete) unterteilt:

Arbeitspaket 10:	Analyse sinnvoller Optimierungspotentiale für das automatisierte Anlegen
Arbeitspaket 20:	Erarbeitung von Lösungswegen für eine automatisierte zeit-, energie- und emissionsoptimierte Liegeplatzansteuerung
Arbeitspaket 30:	Erarbeitung von Lösungswegen und Konzeptionen für realisierbare aktive und passive Anlegehilfen
Arbeitspaket 40:	Erarbeitung von Regeln für Anlegeszenarien und Konzeptionelle Bearbeitung der dazugehörigen Regelungen und Stellgrößenvorgaben
Arbeitspaket 50	Überprüfung der erarbeiteten Konzeptionen durch Simulationsrechnungen anhand einer beispielhaften Streckennachbildung auf der Grundlage vereinfachter Bewegungsmodelle

Zwei Meilensteine nach dem zweiten und dem 4 Arbeitspaket dienen zur Beurteilung des erreichten Standes und erforderlicher Abgleiche zu den anderen Teilprojekten

Die geplante Dauer der einzelnen Abschnitte geht aus dem folgenden Zeitplan hervor:

Aktivitätenplan des Teilprojektes  
 „Automatische Liegeplatzansteuerung“

AP	Aktivitäten	MM	2004			2005				2006	
			II.	III.	IV.	I.	II.	III.	IV.	I.	II.
10	Analyse sinnvoller Optimierungspotentiale für das automatisierte Anlegen	Gehalt 5		→							
20	Erarbeitung von Lösungswegen für eine automatisierte zeit-, energie- und emissionsoptimierte Liegeplatzansteuerung	Gehalt 5 Lohn 3			→						
30	Erarbeitung von Lösungswegen und Konzeptionen für realisierbare aktive und passive Anlegehilfen	Gehalt 5 Lohn 1			→	→					
40	Erarbeitung von Regeln für Anlegeszenarien Konzeptionelle Bearbeitung der dazugehörigen Regelungen und Stellgrößenvorgaben	Gehalt 11 Lohn 1					→	→			
50	Überprüfung der erarbeiteten Konzeption durch Simulationsrechnungen anhand einer beispielhaften Streckennachbildung auf der Grundlage vereinfachter Bewegungsmodelle	Gehalt 11 Lohn 3								→	
		Gehalt 5.180 h Lohn 1120 h									
		Σ 37 MM Σ 8 MM									

**Arbeitspaket 10**

**Analyse sinnvoller Optimierungspotentiale für das automatisierte Anlegen**

Es wird eine Analyse des Anlegevorganges von der Hafeneinfahrt bis zum Festmachen an der Kaimauer durchgeführt und bezüglich Zeitbedarf, Energiebedarf und Emissionen bewertet. Durch Auswertung verschiedener Fallbeispiele werden Optimierungspotentiale ermittelt. Dieser Arbeitspunkt wird gemeinsam mit der Firma Noris Steuerungstechnik GmbH bearbeitet.

**Arbeitspaket 20**

**Erarbeitung von Lösungswegen für eine automatisierte zeit-, energie- und emissionsoptimierte Liegeplatzansteuerung**

Anhand von Fallbeispielen werden auf der Grundlage von physikalischen und technischen Belastungsgrenzen sowie auf der Grundlage von Vorschriften Zeit-, Energie-, und Emissionsoptimierungen über Simulationsrechnungen durchgeführt. Dabei werden wesentliche Einflussgrößen und Zustandsabhängigkeiten ermittelt. Es sind Bewertungsverfahren zu erarbeiten die eine Beurteilung des optimalen Betriebes bezüglich der verschiedenen Optimierungskriterien ermöglichen.

### **Arbeitspaket 30**

#### **Erarbeitung von Lösungswegen und Konzeptionen für realisierbare aktive und passive Anlegehilfen**

Ausgehend von einer Recherche zum Stand der Technik sind Lösungswege und Konzeptionen für aktive und passive An- und Ablegehilfen zu erarbeiten und bezüglich ihrer technischen Realisierbarkeit, Zuverlässigkeit sowie des zu erwartenden Energiebedarfs und der Investitions- und Unterhaltungskosten zu bewerten. Die technisch- physikalischen Grenzen dieser Systeme und die sich hieraus ergebenden Zeit- und Energieeinsparungspotentiale sind abzuschätzen. Die erarbeiteten Lösungswege sind bezüglich ihrer Robustheit und ihrer technischen Sicherheit zu bewerten. Dieser Arbeitspunkt wird gemeinsam mit der Firma Noris Steuerungstechnik GmbH bearbeitet.

### **Arbeitspaket 40**

#### **Erarbeitung von Regeln für Anlegeszenarien und Konzeptionelle Bearbeitung der dazugehörigen Regelungen und Stellgrößenvorgaben**

Anhand von Fallbeispielen sind möglichst allgemeingültige Regeln für die verschiedenen Phasen des Anlegens zu erarbeiten. Die möglichen und sinnvollen Eintrittsphasen in ein automatisiertes Anlegen sind zu ermitteln. Die automatisierungstechnischen Aufgaben für die erarbeiteten Anlegeregeln sind aufzuzeigen. Es sind entsprechende Konzeptionen für die verschiedenen Regelungen mit den zugehörigen Sollwertprogrammen, Istwerterfassungen, Stelleingriffen und Zustandsabhängigkeiten zu erarbeiten. Mögliche Störgrößen sind aufzuzeigen und zu bewerten.

### **Arbeitspaket 50**

#### **Überprüfung der erarbeiteten Konzeptionen durch Simulationsrechnungen anhand einer beispielhaften Streckennachbildung auf der Grundlage vereinfachter Bewegungsmodelle**

Zur Überprüfung der verschiedenen, in den vorgelagerten Arbeitspaketen formulierten Definitionen, Anforderungen, Voraussetzungen, Konzepte und Verfahrensweisen soll in diesem Arbeitspaket durch beispielhafte Simulationsrechnung für die im Teilprojekt definierten Bedingungen anhand von einfachen Streckennachbildungen ein automatisiertes Anlegen simuliert werden. Die Streckennachbildung erfolgt durch starke Vereinfachung der Bewegungsmodelle.

## **3.2 Planungsänderung nach Projektbeginn**

Die Arbeitspakete 10, 20 und 30 sollten laut diesem Plan von den beiden Projektpartnern NORIS und ENITECH gemeinsam bearbeitet werden. Aufgrund der Tatsache, dass sich der Projektbeginn für NORIS verschoben hatte, musste diese Planung abgeändert werden. Da auf die gemeinsamen Recherchen nicht verzichtet werden konnte, hat ENITECH einen Teil von Aufgaben aus späteren Arbeitspaketen vorgezogen (hierbei handelte es sich insbesondere um die Schaffung der erforderlichen Simulations-, Mess- und Auswertewerkzeugen) und die gemeinsamen Recherchen dann zusammen mit NORIS nach deren Projekteinstieg im Januar 2005.



## 4 Ausgangssituation, Stand Wissenschaft und Technik

Von ENITECH konnten in der Fachliteratur, bei der durchgeführten Internetrecherche und bei Messebesuchen (SMM Hamburg) keine Hinweise auf Veröffentlichungen auf dem Gebiet des Automatischen Anlegens von Fährschiffen gefunden werden. Es war deshalb davon auszugehen, dass hier nicht auf Erfahrungen mit ähnlichen Systemen aufgebaut werden konnte.

Des Weiteren lagen bei ENITECH zu Projektbeginn nur sehr geringe Erfahrungen auf dem Gebiet der Simulation von Schiffsbewegungen vor. Hier musste eine intensive Einarbeitung unter Nutzung der Fachliteratur erfolgen. Auch bei der Umsetzung der Simulatorfunktionen in Softwareprogramme für den PC konnte nur auf wenig eigene Erfahrungen zurückgegriffen werden.

Auf dem Gebiet der Regelungstechnik sind langjährige praktische Erfahrungen in das Projekt eingeflossen, ebenso bei den Untersuchungen zu SPS - Systemen und der Datenkommunikation über Bussysteme.

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen/ Partnern

Zur erfolgreichen Bearbeitung des Vorhabens war die enge Zusammenarbeit mit Projektpartnern und Erfahrungsträgern eine wichtige Voraussetzung. Hierzu zählen insbesondere die Firmen Noris Automation Rostock GmbH, MET Motoren und Energietechnik GmbH, BMC Baltic Marine Consult GmbH und die Fährgesellschaft Scandlines Deutschland GmbH

### **NORIS Automation Rostock GmbH**

Die enge Zusammenarbeit mit Noris war während der gesamten Laufzeit nahezu ständig erforderlich. Wie schon im Projektantrag vorgesehen, wurden die Themenkomplexe der ersten 3 Arbeitspakete gemeinsam von NORIS und ENITECH bearbeitet, wenn auch, aufgrund des verspäteten Projekteinstieges von NORIS, in einem anderen Zeitabschnitt als vorgesehen. In der Phase der Einarbeitung, Analyse der Optimierungspotentiale, Recherchen zum technischen Stand und darauf aufbauend der Konkretisierung der Aufgabenstellungen waren gemeinsame Treffen besonders oft erforderlich. Beispielsweise wurde auch der Besuch beim Praxis - Partner Scandlines gemeinsamen vorbereitet und eine abgestimmte Frageliste über alle interessierenden Themenkomplexe vorbereitet.

Nach dieser Phase war es für beide Firmen möglich, relativ unabhängig voneinander die getrennten Aufgabenkomplexe zu bearbeiten. Dabei konzentrierte sich NORIS insbesondere auf die Messtechnik, ENITECH mehr auf die Verarbeitung der Messwerte und Simulation. Trotzdem waren auch hier immer wieder Abstimmungen notwendig. Beispielsweise musste abgestimmt werden, in welcher Form die Messwerte von NORIS an ENITECH übergeben werden. Hier waren Festlegungen zu den Signalen (Analog, Binär, Bussignale) unter Berücksichtigung der von beiden Firmen favorisierten Automatisierungstechnik erforderlich und wurden in Form von Datenpunktlisten getroffen. Im weiteren Verlauf erfolgte in regelmäßigen Zeitabständen eine gegenseitige Information zum erreichten Arbeitsstand und zu ggf. erforderlichen Neu - Abgleich von getroffenen Festlegungen.

Neben diesen wichtigen Abstimmungen zwischen beiden Firmen hat NORIS für ENITECH wichtige Informationen bezüglich der Steuerungs- und Automatisierungstechnik an Bord bereitgestellt, die beim Entwurf der Struktur des Anlegereglers zu berücksichtigen waren.

### **MET Motoren und Energietechnik GmbH**

Die Zusammenarbeit mit der Firma MET erfolgte vordergründig auf dem Teilgebiet der Simulationstechnik. Für die Durchführung von Simulationsrechnungen zur Auslegung des Anlegereglers musste von ENITECH ein Schiffsmodell programmiert werden, welches die Bewegung des Schiffes im Hafenbecken in einfacher Form nachbildet. Hierzu lagen bei Projektbeginn bei ENITECH nur wenig Erfahrungen vor. Durch den gemeinsamen Erfahrungsaustausch beider Firmen konnten wichtige Erkenntnisse zum Verhalten von Schiffen sowie wichtige Schiffsparameter aus dem know - how von MET in die Modellrechnungen einfließen. Wichtige Informationen und Hinweise der Firma MET sind auch bei der Präzisierung der Aufgabenstellung, die nach Auswertung des gemeinsamen Besuches der Firma Scandlines durchgeführt wurde, berücksichtigt worden.

### **BMC Baltic Marine Consult GmbH**

BMC war das verantwortliche Unternehmen für das Gesamtkonzept des Vorhabens Ostseetransportsysteme. Aus den von BMC durchgeführten Analysen zur Logistik der Transportwege zwischen den am Fährverkehr beteiligten Ländern der Ostsee - Region wurde letztendlich die diesem Teilvorhaben zugrundeliegende Aufgabenstellung zur Näherung Untersuchung von Optimierungspotentialen der Anlegevorgänge abgeleitet.

### **Scandlines Deutschland GmbH**

Die Zusammenarbeit mit Scandlines beschränkte sich auf relativ wenige Kontakte, war aber letztendlich von immenser Bedeutung für die genaue Präzisierung der zu bearbeitenden Aufgaben. So hat der gemeinsame Besuch aller Projektpartner bei Scandlines im März 2005 entscheidend zur Klarheit in dem Projekt beigetragen. Die Gelegenheit, die Anlegemanöver von der Land- und der Seeseite mitzuerleben und einen intensiven Erfahrungsaustausch diesbezüglich sowohl mit dem Schiffs- und dem Hafenpersonal führen zu können, hat einen sehr großen Einfluss auf die weitere Projektbearbeitung gehabt. Auf Basis dieser Erkenntnisse konnte nachfolgend sehr konkret festgelegt werden, welche Bearbeitungsschwerpunkte zu intensivieren sind und welche vernachlässigt werden können. Beispielsweise wurde hier klar, dass der zu automatisierende Anlegevorgang ohne zusätzliche hafenseitige Zwangsführungen (Fender, Greifer u.s.w.) und unter alleiniger Nutzung der schiffsseitig vorhandenen Antriebstechnik erfolgen soll.

Von Scandlines konnten weiterhin wichtige Log-Daten bereitgestellt werden, aus denen die erforderlichen Informationen über einen manuell durchgeführten Anlegevorgang hervorgehen.

## **6 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse/ Erfahrungen**

Im folgenden Abschnitt werden die durchgeführten Arbeiten zu den Themenkomplexen der einzelnen Arbeitspakete dargestellt. Auftretende Abweichungen gegenüber der Planung laut Projektantrag treten insbesondere bei den ersten 3 Arbeitspaketen auf, da hier ursprünglich die gemeinsame Bearbeitung von ENITECH und NORIS geplant war, NORIS aber mit zeitlicher Verzögerung das Vorhaben begonnen hat. So wurden von ENITECH zunächst nur Teilaufgaben dieser Komplexe bearbeitet, dafür aber wichtige Vorbereitungsarbeiten für die letzten beiden Arbeitspakete vorgezogen. Dies waren insbesondere Untersuchungen zu geeigneten Werkzeugen für die Darstellung und Auswertung von Ergebnissen durchgeführter Simulationsrechnungen.

## 6.1 Lösungsansätze/ Analyse sinnvoller Optimierungspotentiale (Arbeitspaket 10)

### 6.1.1 Projekteinarbeitung

Der erste Bearbeitungsabschnitt diente im wesentlichen der tieferen Einarbeitung in die mit dem Transportmittel Schiff im Anlegevorgang verbundenen Problemstellungen, der Recherche des Standes der Technik, dem Aufwerfen wichtiger Fragestellungen, die in Zusammenarbeit mit Projektpartnern geklärt werden müssen und der Erarbeitung von Lösungsstrategien.

Als Informationsquellen hierzu dienen:

- Internet - Recherche
- Literaturrecherche in Fachzeitschriften
- Messebesuch SMM Hamburg 2004
- Informationsaustausch mit Projektpartnern (NORIS, MET)

Als Ergebnis der durchgeführten Rechen kristallisierte sich heraus, daß es noch keine bekannten Lösungen für die Automatisierung der Anlegevorgänge von Doppelendfähren gibt, die für das Projekt sinnvoll verwendet werden können. Bekannt geworden ist das GPS -basierte Docking- System PDS 2000 der Firma MARIMATECH, das als Anlegehilfe für Lotsen eingesetzt wird. Da dieses System eine sehr genaue Positionsbestimmung des Schiffes erlaubt, wurde dessen Funktionsprinzip in die Prüfung der Verwendbarkeit für ein Automatisches Anlegesystem einbezogen. Interessant an dem System ist die Verwendung von GPS und eines laserbasierten Messsystems, das die Positionsbestimmung bei Annäherung an den Anleger unterstützt.

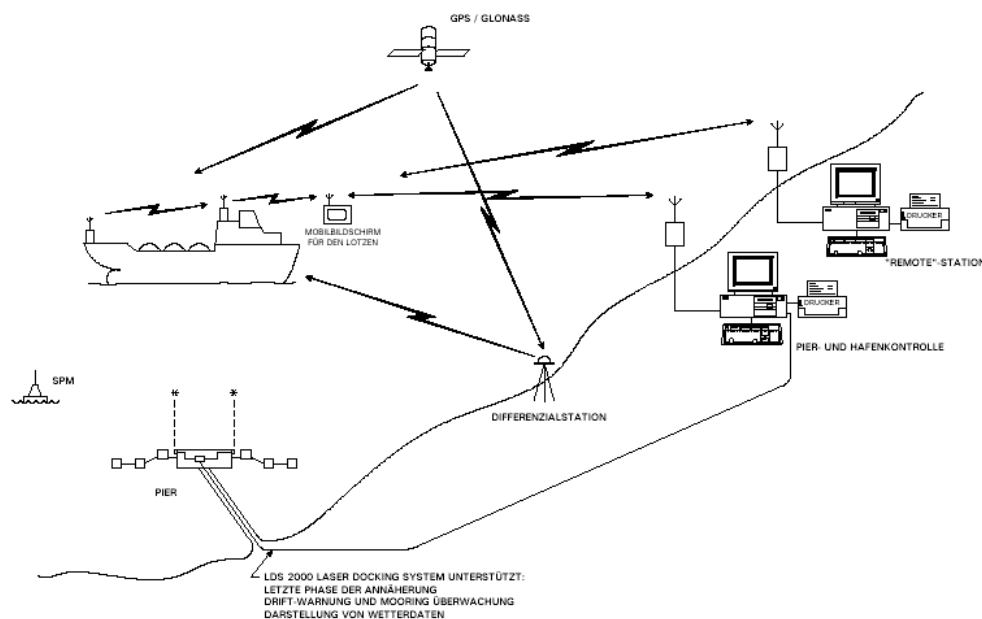


Abbildung 1 Funktionsprinzip des Piloting and Docking System PDS 2000

## -Technische Daten des Piloting and Docking System PDS 2000

- Hersteller: Firma: MARIMATECH
- wertet DGPS und GLONASS aus (24-Kanal)
- Genauigkeit:
  - Geschwindigkeit: 0,02 Knoten
  - Voraus-Kurs: 0,01 Grad
  - Drehgeschwindigkeit: 0,02 Grad/s
  - Position: wenige cm
  - besteht aus:
    - 2 portable DGPS-Transponder
    - 1 Anzeige-Bediengerät

### 6.1.2 Ableitung wichtiger Fragestellungen

Auf Basis der Recherchen wurden wichtige Fragestellungen formuliert, die im weiteren Projektverlauf zu klären waren und deren Beantwortung eine wichtige Grundlage für die Weichenstellung zur weiteren Projektbearbeitung bildeten.

#### Messtechnik:

- welche Messgrößen sind für das automatische Anlegen erforderlich
- welche Messgeräte gibt es hierfür
- welche auf dem Schiff vorhandene Anlagen liefern bereits erforderliche Messgrößen und welche Schnittstellen stellen diese zur Verfügung bzw. müssen geschaffen werden
- welche Störgrößen müssen gemessen werden
- wie funktionieren verfügbare Geräte für die Anlegehilfe und können diese für den automatischen Anlegevorgang verwendet werden ?

#### Hafen:

- welche der örtlichkeiten Gegebenheiten in einem Hafen sind für die Automatisierung eines Anlegevorganges relevant und welche nicht
- welche hafenseitigen Hilfseinrichtungen unterstützen gegenwärtig den Anlegevorgang (Greifer, Führungsmechanismen u.s.w.)
- welchen Schutz bietet die Hafenanlage dem Schiff während des Anlegevorganges (d.h: wie groß sind die Auswirkungen von Wind, Strömung und andere Störgrößen)
- gibt es Effekte, die besonders berücksichtigt werden müssen (Flachwasser, aufstauendes Wasser beim Einlaufen in das Hafenbecken, Auswirkungen der Nähe der Kaikante auf die Antriebsanlage u.s.w.)

#### Schiff:

- technische Daten der zu betrachtenden Schiffstypen
- welche auf dem Schiff vorhandene Anlagen liefern bereits erforderliche Messgrößen und welche Schnittstellen stellen diese zur Verfügung bzw. müssen geschaffen werden
- welche Eingriffsmöglichkeiten eines Anlege - Reglers auf die Antriebstechnik bieten moderne Schiffs- Automatisierungsanlagen
- Schnittstellen

**Anlegemanöver:**

- wie sehen von Hand gefahrene Manöver genau aus (Art und Reihenfolge der Stelleingriffe)
- gibt es Vorschriften bezüglich einzuhaltender Kurs, Manöver, Geschwindigkeit u.s.w., die die Automatisierung entscheidend beeinflussen können?
- worin sehen die Betreiber die Hauptaufgabe eines automatisierten Anlegevorganges

## 6.2 Lösungswege für eine automatisierte zeit-, energie- und emissionsoptimierte Liegeplatzansteuerung (Arbeitspaket 20)

### 6.2.1 Erarbeitung von Grundvarianten

Nachdem im ersten Arbeitsabschnitt Grunderkenntnisse zum Problembereich der Anlegevorgänge erworben wurden, wurden im zweiten Abschnitt Lösungswege herausgearbeitet, wie eine Automatisierung erfolgen könnte. Dabei kristallisierten sich 2 grundsätzliche Varianten heraus:

Variante 1: Einsatz sehr genauer Messtechnik, die eine genaue Positionierung des Schiffes unter alleiniger Nutzung der Antriebsanlage erlaubt.

Variante 2: Relativ grobe Positionierung des Schiffes im Hafen unter Nutzung von GPS, wobei das Schiff mit Hilfe von hafenseitig zu errichtenden Leit- und Fang- oder Greifeinrichtungen in die genaue Endposition gebracht wird.

Beide Varianten stellen völlig unterschiedliche Anforderungen an die Messtechnik, die Hafeneinrichtungen, die Antriebsanlage des Schiffes und an den Ablauf eines automatischen Anlegevorganges.

In Variante 1 werden besondere Anforderungen an die Messtechnik und die Manövrierfähigkeit des Schiffes gestellt. Die Hauptantriebsanlage muss so leistungsfähig sein, dass sie das Schiff unter allen Wetterbedingungen in jeder Richtung (d.h. auch quer entgegen starkem Wind) positionieren kann. An den Hafen werden keine besonderen Anforderungen gestellt.

In Variante 2 werden besondere Anforderungen an den Hafen gestellt. Hier wären Einrichtungen zu installieren, die das Schiff aktiv und / oder passiv in die Anlegeposition bringen. Zum Einfahren des Schiffes in dieser Leit - Einrichtungen soll möglichst nur eine GPS - Anlage genutzt werden, die auf allen modernen Schiffen ohnehin vorhanden ist.

Zur Auswahl der geeigneten Variante für die weitere Projektbearbeitung, waren die Ergebnisse der Recherchen von NORIS und der Kontakt mit dem Projektpartner Scandlines wichtig. Aufgrund der verspäteten Projektbeginns von NORIS lagen diese Ergebnisse zum Zeitpunkt unserer Bearbeitung des 2. Arbeitspaketes noch nicht vor. Die Entscheidung wurde um einige Monate in die Bearbeitungsphase des 3. Arbeitspaketes verschoben.

Die frei werdende Arbeitskapazität wurde genutzt, um wichtige Untersuchungen für die Phase der Durchführung von Simulationsrechnungen vorzuziehen.

---

## 6.2.2 Vorbereitende Arbeiten für die Simulation

Folgende Aufgabenstellungen waren in Vorbereitung der Realisierung eines Simulationswerkzeuges zu bearbeiten:

- a) Untersuchungen zu geeigneten Visualisierungssystemen für den Simulator
- b) Untersuchungen zu geeigneten Werkzeugen, mit denen die Simulationsergebnisse dargestellt und bewertet werden können
- c) Abklären der Schnittstellen zur Einbindung der Schiffs- Simulationsergebnisse von MET
- d) Untersuchungen zu geeigneter Messwerterfassungssoftware zur Durchführung eigener Messungen
- e) konzeptionelle Bearbeitung des Schiffssimulators

### Untersuchungen zur Visualisierungstechnik

Die Untersuchungen zur Auswahl eines geeigneten Visualisierungs- und Simulationssystems wurde unter folgenden Gesichtspunkten durchgeführt:

- Darstellbarkeit der Simulation im x- y- Koordinatensystem (Draufsicht auf Schiff und Anleger)
- Aufzeichnung aller relevanten Simulationsdaten (Messwerte, Stellgrößen) in Abh. der Zeit
- Datenformat der Daten für Weiterverarbeitung in anderen Systemen
- Darstellung der Simulationsergebnisse in einer Form, die eine gute Auswertbarkeit zur Optimierung der Regler und Bewertung der Anlegestrategien zulässt.

Grundsätzliche Untersuchungen wurden mit dem bei Enitech bekannten und darum favorisierten System InTouch der Firma Wonderware durchgeführt:

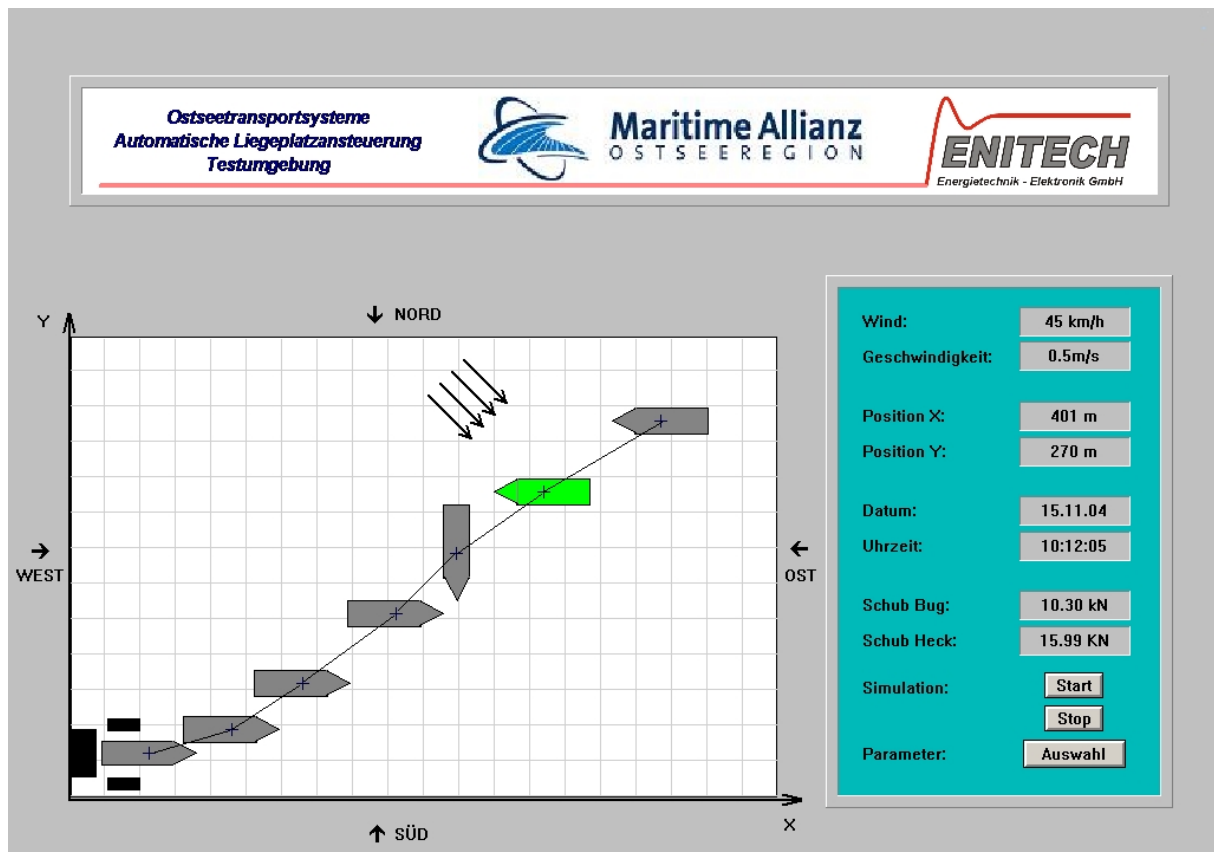


Abbildung 2 Darstellung einer Schiffsbewegung im Hafen mit dem Visualisierungssystem InTouch

### Untersuchungen zur Messwerterfassung

Um bei Bedarf Messwerte erfassen und auswerten zu können, wurde eine bei ENITECH entwickelte Messwerterfassungssoftware an die Bedürfnisse des Projektes angepasst. Wichtig war dabei, dass der Messrechner die Daten im csv.Format liefert. Damit können die Daten von anderer handelsübliche Auswertesoftware (Excel, MatLab. u.s.w.) gelesen und ausgewertet werden.

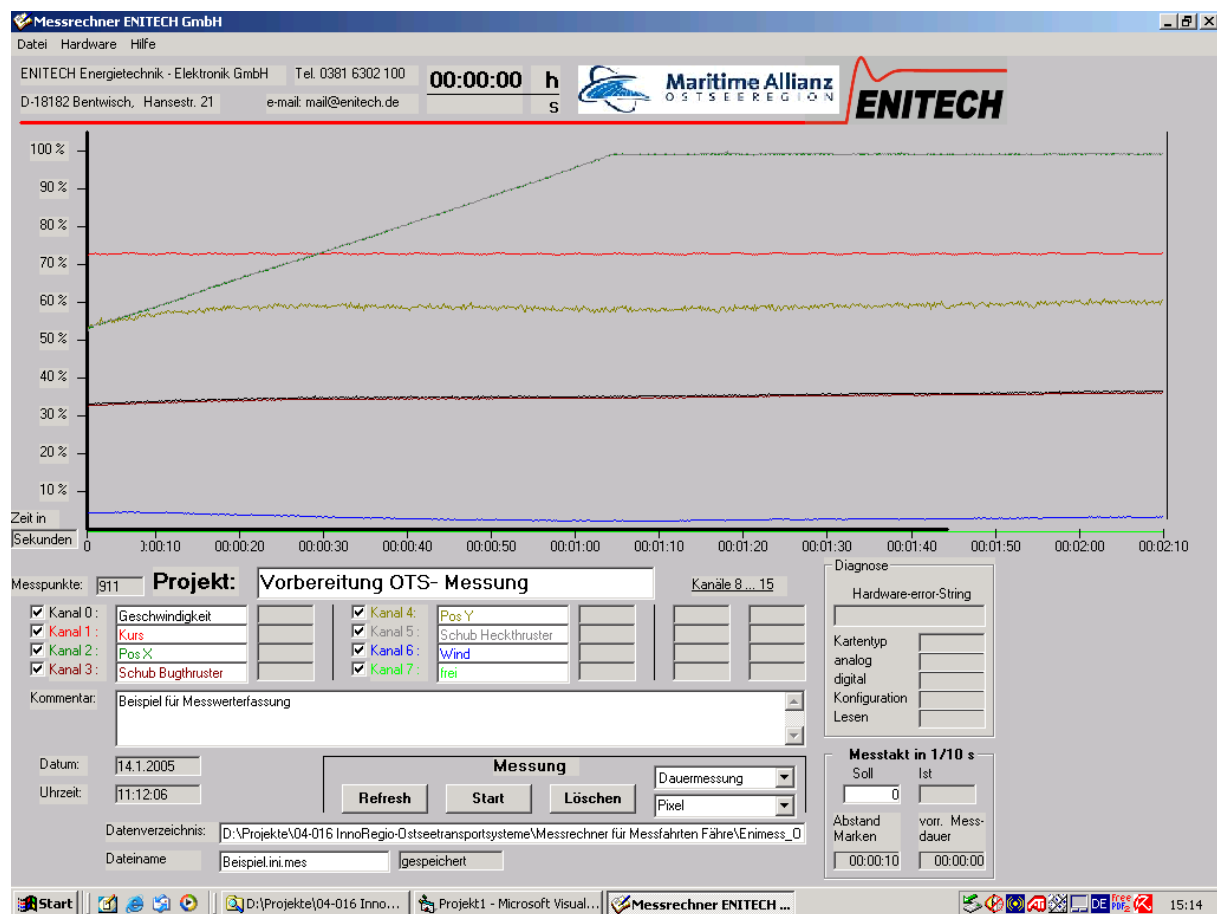


Abbildung 3 ENITECH - Messrechner für das Projekt Ostseetransportsysteme

### Abstimmung mit den Projektpartnern MET

Für die geplante Übernahme von Simulationsergebnissen von MET (Streckenbeschreibungen und Parametern für ein einfaches Schiffsmodell) wurden Abstimmungen zwischen MET und ENITECH vorgenommen. Ziel war die möglichst einfache Weiterverwendung der Daten in den von ENITECH durchzuführenden Simulationsrechnungen. Die Modelle sollten außerdem so aufgebaut sein, dass eine evtl. erforderliche nachträgliche Verbesserung der Genauigkeit der Modelle mit wenig Aufwand möglich ist.

### konzeptionelle Bearbeitung des Schifssimulators

Für den erforderlichen Simulator zur Untersuchung von Anlegevorgängen wurden in der Bearbeitungsphase des 2. Arbeitspaketes konzeptionelle Festlegungen getroffen. Dabei standen folgende Fragestellungen im Mittelpunkt:

- welche Hardwareplattform soll verwendet werden (SPS, PC, )
- welche Entwicklungssoftware ist geeignet (SPS-Software, C, Visual Basic, Visualisierungssoftware InTouch)
- Literaturrecherche zu Bewegungsgleichungen für das Verhalten des Schiffes
- echtzeitfähig ja/ nein
- Schnittstellen zum Einlesen von Messwerten und Ausgabe von Messergebnissen
- grobe Vorkonzeption für den später zu entwerfenden Anlegeregler, um den Datenaustausch zwischen beiden Systemen sicherstellen zu können



Ziel von ENITECH war es dabei, möglichst viele Komponenten verwenden zu können, bei denen bereits Erfahrungen vorlagen. Weiterhin schien es sinnvoll, ein echtzeitfähiges System aufzubauen. Dies hat den Vorteil, daß das simulierte Schiff direkt steuerbar ist und die resultierende Bewegung des Schiffes auch online verfolgbar sind. Damit ist es auch möglich, einen Anlegeregler, der in einer SPS realisiert ist, direkt über geeignete Schnittstellen mit dem Simulator zu koppeln.

Für die Hardware des Simulators wurde eine PC- Plattform der SPS vorgezogen, obwohl bei ENITECH die größten Programmiererfahrungen auf der SPS- Strecke vorliegen. Eine moderne SPS verfügt zwar auch über umfangreiche mathematische Funktionen und hat mit der Nutzung von Flash-Speichen in den letzten Jahren große Fortschritte bezüglich des verfügbaren Datenspeichers gemacht, jedoch ist sie dem PC insbesondere bezüglich Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Speicherung großer Datenmengen nach wie vor unterlegen. Die Gefahr, hier mit der SPS während der Entwicklung des Simulators an Grenzen zu stoßen, gab den Ausschlag zur Nutzung eines PC und einer geeigneten Programmiersprache.

Bezüglich der Programmiersprache wurden ebenfalls Untersuchungen durchgeführt. Professionell genutzte Erfahrungen lagen bei ENITECH nur mit dem Visualisierungssystem InTouch vor, welches umfangreiche mathematische Funktionen bereitstellt. InTouch ist allerdings ein Prozess- Visualisierungssystem, das seine Stärken in der Darstellung hat, und mit vielen vorgefertigten Modulen arbeitet, die dem Programmierer die Arbeit hier sehr erleichtert, ihn andererseits aber auch sehr einschränkt, wenn Funktionen benötigt werden, die in diesem System nicht vorbereitet sind. Da am Anfang einer Entwicklung nicht vollständig absehbar ist, welche Funktionen benötigt werden (sei es für die Darstellung, die mathematischen Funktionen, den Datenaustausch oder die Fehlersuche (debugging) ), fiel die Entscheidung letztendlich für ein freies Programmiersystem. Die Programmiersprache C++ gilt dabei sofort als Favorit. Bei Enitech lagen hier aber nur gewisse Erfahrung mit der Programmiersprache Visual Basic 6 vor. Die Einarbeitung in C++ erschien als zu aufwendig. Außerdem gab es zu diesem Zeitpunkt bereits die weiterentwickelte Version von Visual Basic, Visual Basic.NET, der in der Literatur Gleichwertigkeit gegenüber Visual C.NET bescheinigt wird. Einige Tests mit VisualBasic.NET zeigten, daß diese Sprache mit Visual Basic 6 nur noch sehr wenig gemein hat, jedoch schien der Aufwand für die Umstellung geringer als eine Neueinarbeitung in C++. So fiel die Entscheidung, die Simulationsfunktionen in Visual Basic.NET zu programmieren.

Für den Aufbau der Simulationssoftware wurde folgende Eckpunkte festgelegt:

- die Software wird in Blockstrukturen auf Basis einfacher Gleichungssysteme erstellt
- die Blöcke enthalten abgegrenzte Funktionen (z.B. 1 Block für POD-Antrieb), die bei Bedarf im Laufe der Entwicklung einfach durch Blöcke mit höherer Simulationsgenauigkeit ersetzt werden können, ohne grundsätzliche Änderungen am Simulator durchführen zu müssen
- die Software muss geeignete Schnittstellen bereitstellen, um mit externen Geräten (z.B. Bediengerät , SPS des Anlegereglers ) zum Zwecke der Sollwertvorgabe, der Störgrößenaufschaltung und der Rückgabe von Istwerten kommunizieren zu können. Mit Projektpartner NORIS wurden mögliche Schnittstellen besprochen, die für eine Kommunikation zwischen den Systemen der beiden Partner in Frage kommen.

### 6.3 Lösungswege und Konzeptionen für realisierbare aktive und passive Anlegehilfen (Arbeitspaket 30)

Laut Ablaufplan wurde mit der Bearbeitung des Arbeitspaketes 3 zum Jahreswechsel 2004/2005 begonnen. Zu diesem Zeitpunkt war auch der offizielle Start für Projektpartner NORIS, der für die Bearbeitung des Bereiches Sensorik und Messtechnik verantwortlich war. Damit konnten auch die gemeinsamen Recherchen zur Erarbeitung von Lösungsweegen für das Automatische Anlegen intensiviert werden. Von großer Bedeutung war zu diesem Zeitpunkt die Vorbereitung des Besuches bei Scandlines, um die örtlichen Bedingungen im Hafen und den Ablauf der Manöver in der Praxis kennen zu lernen. Auf Basis der bis zu diesem Zeitpunkt von Enitech bereits durchgeführten Recherchen und der bei den vorbereitenden Arbeiten zur Simulationstechnik bereits gewonnenen Erkenntnisse wurden von NORIS und ENITECH gemeinsame Fragelisten vorbereitet.

Das Treffen mit Scandlines fand im Hafengelände von Puttgarden am 16.03.2005 mit den Teilnehmenden Firmen BMC, ENITECH, MET, NORIS und Scandlines statt.

#### Schwerpunkte des Besuches waren:

- Erfahrungsaustausch mit dem Hafenmeister bezüglich der Anforderungen an die Hafenanlagen
- Erfahrungsaustausch mit mehreren Kapitänen zur Steuerung der Schiffe im Hafen
- Teilnahme an einer kompletten Überfahrt
- Es wurden wichtige Daten (z.B. Bord- Aufzeichnung der Daten von Antrieben und Schiff für 2 Anlegemanöver) an ENITECH übergeben.

#### Einschätzungen von Scandlines bezüglich eines Automatischen Anlegevorganges

- nach Ansicht der Kapitäne ist ein optimales Anlegemanöver durch den Menschen nicht möglich (zu viele Informationen müssen in sehr kurzer Zeit verarbeitet und umgesetzt werden)
- gute Anlegemanöver die von erfahrenen Kapitänen durchgeführt werden durch Autopiloten wahrscheinlich nicht zu verkürzen sein
- die wichtigsten Optimierungspotentiale liegen in den Bereichen:
  - Verbesserung z.B. bei schlechter Sicht
  - Zeiteinsparung durch Verhinderung von Fehlmanövern (Manöverabbruch und Manöverwiederholung) -> bessere Konstanz im Fahrplan
  - mehr Sicherheit vor allem auch für die Hafenanlagen vor Verschleiß bzw. Zerstörung (Fender, Fundamente u.s.w.)

#### Festlegung in Auswertung des Besuches bei Scandlines

In Auswertung der Erfahrungen des Besuches bei Scandlines fiel die Entscheidung bezüglich der weiteren Bearbeitung der unter 6.2.1. herausgearbeiteten Grundvarianten eindeutig für Variante 1:

- Auf mechanische Anlegehilfsmittel im Hafen wie Greifer/Führungsschienen soll verzichtet werden (hohe Kosten), da die Manövrierfähigkeit des Schiffes auch unter schwierigen Wetterbedingungen ausreichend ist
- zusätzliche Messtechnik im Hafen soll eine hochgenaue Positionsbestimmung und die Messung von Störgrößen (z.B. Wind) in der Nähe der Kaikante ermöglichen.

- Der Schwerpunkt der Bearbeitung wird auf die Entwicklung einer geeigneten Regelung gelegt, die zum Anlegen allein die 4 POD - Antriebe nutzt
- als Schiffstyp werden in den weiteren Betrachtungen ausschließlich Doppelendfähren mit 4 POD- Antrieben betrachtet. Dieser Fährentyp hat sich im Kurzstreckenfahrverkehr außerordentlich bewährt und seine Manövrierfähigkeit ist die Voraussetzung für kurze An- und Ablegezeiten sowie schnelles Manövrieren in engen Hafenbecken.
- Als Referenzhafen für die Simulation wird der Hafen in Puttgarden genutzt

### 6.3.1 Daten zu Schiff und Hafen

#### Doppelendfähre MS Deutschland

##### Schiff

- Länge über alles:	142,00 m
- Breite:	24,80 m
- Tiefgang (leer)	5,80 m
- Gesamthöhe von Unterkante Schiff bis Oberkante Decks: (ohne Aufbauten, da diese für die Windlast unbedeutend sind)	23,60 m
- max. Masse (mit Zuladung): (dann Tiefgang: 6 m)	9382 t
- Masse ohne Zuladung:	ca. 8380 t
- Tonnage Brutto:	15187
- Tonnage Netto:	4556

##### Antriebsanlage:

- dieselelektrische Antriebsanlage
- 5 MAK- Motoren, davon werden in der Regel 3 benutzt
- 3 Motoren a' 3520 kW, 2 Motoren a' 2640kW
- Propeller (contra -rotating): 2 Gegenläufige Propeller  
Leistung bei 130 u/ min : ca. 2000kW ,max. sind 145 U/min möglich
- bei Seitenwind von Stärke 12 kann das Schiff noch mit 1 kn gegen den Wind gefahren werden
- Propeller können von der Brücke einzeln (single), paarweise (Tandem) oder gemeinsam oder über Joystik gefahren werden
- die POD- Antriebe haben bei fahrendem Schiff auch bei stehendem Propeller eine Ruderwirkung

#### Informationen zum Hafengebiet Puttgarden

- im Hafen sind die Anleger 0 (am Portcenter) und 1 für die Doppelendfähren vorgesehen
- vor dem Hafen: max. Wellenhöhe 1,50 m, Querströmung 1 - 4 kn
- unterschiedliche Wasserstände im Hafen : -90 cm ... + 1,50 m
- im Hafen keine Strömung
- Windeinflüsse im Hafen Puttgarden sind insbesondere kritisch durch den Windschatten des Portcenters (gibt während der Annäherung an den Anleger 0 Windschatten, auf dem letzten Ende verläßt das Schiff dann aber wieder den Windschatten)

- Hafeneinfahrt Puttgarden ist 85 m breit
- Automooringsanlage hat 16 - 17 Tonnen Haltekraft, ab Windstärke 9 muss das Schiff zusätzlich gegen die Kaimauer drücken

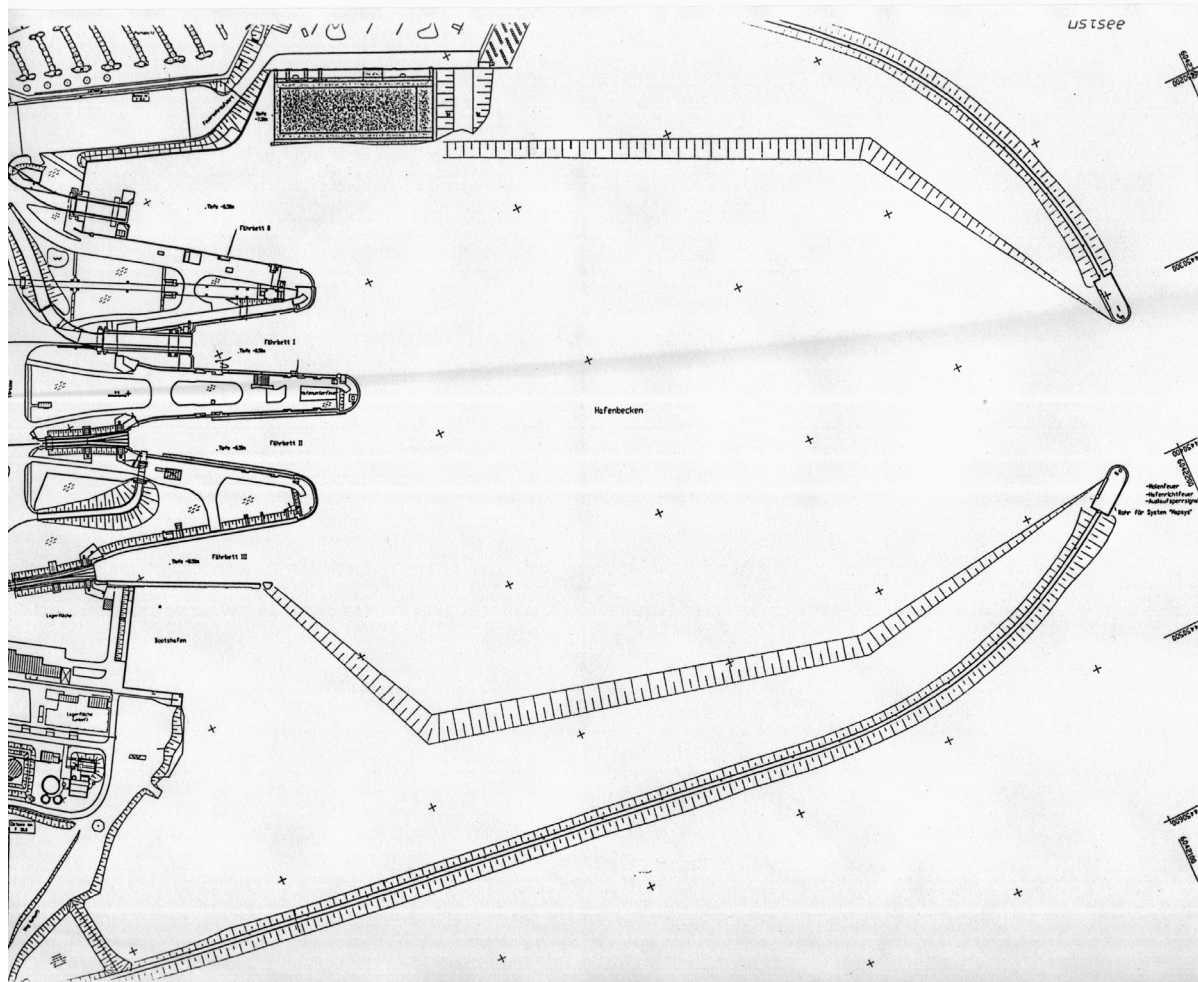


Abbildung 4 Hafenanlage Puttgarden

### 6.3.2 Erarbeitung eines Schiffssimulators

Mit den Festlegungen im Ergebnis des Besuches im Hafen von Puttgarden konnten die konkreten Arbeiten am Schiffssimulator beginnen. Diese wurde in folgenden Etappen durchgeführt:

## 1. Analyse verfügbarer Simulatoren, Literaturrecherche

Da im Hause ENITECH bisher keine Erfahrungen mit einer Softwarelösung für einen Schiffsimulator vorlagen, mussten hier erst gewisse Voruntersuchungen durchgeführt werden. Dabei wurde auch geprüft, ob der bei ENITECH vorhandene Hardwaresimulator für ein Schiff mit wahlweise einer oder zwei Hauptantriebsanlagen teilweise oder ganz Verwendung finden kann. Diese Variante wurde aber bald verworfen, da dieser Simulator zwar die Hauptantriebsanlagen sehr gut nachbildet, das Schiff selbst aber nur in Fahrtrichtung (Voraus/zurück) simuliert. Eine Erweiterung auf die Nachbildung von Ruderwirkungen und Bewegungen in der Ebene (Hafenbecken) schien hier viel zu aufwendig. Auch die Kombination der alten Hardware mit neuer Software bereitete viele Probleme, so dass letztendlich doch die reine Softwarelösung favorisiert wurde.

Nach relativ kurzer Suche nach einem geeigneten verfügbaren Simulator (z.B. Simulationssoftware Simnon der Firma SSPA) wurde aus folgenden Gründen eine Eigenentwicklung auf Basis von Visual Basic.Net favorisiert:

- für den späteren Entwurf des Anlagereglers wurde ein genaues Kenntnis der Arbeitsweise des Simulators (und damit die Ursache für ein bestimmtes Verhalten des zu simulierenden Schiffes) für unbedingt erforderlich gehalten
- eine Umprogrammierung durch ENITECH zwecks Verbesserung der Simulationsgenauigkeit musste gewährleistet sein
- die Möglichkeiten der Einbindung von Datenschnittstellen zu den von ENITECH und NORIS favorisierten SPS- Systemen musste gewährleistet sein

In Vorbereitung der Eigenentwicklung des Simulators wurden folgende Punkte bearbeitet:

- Literaturrecherche zu Manövrierverhalten und Bewegungsgleichungen von Schiffen
- Einfluss von Störgrößen
- Erfahrungsaustausch mit Projektpartner MET zu wichtigen Schiffparametern der zu untersuchenden Doppelendfähren

## 2. Entwurf und Programmierung des Schiffssimulators

hierzu gehörten:

- Auswertung der Aufzeichnungen der Probefahrt: hieraus konnten wichtige Kenngrößen der Antriebe, die in das Modell einfließen müssen, entnommen werden
- Aufstellung des Systems von Bewegungsgleichungen für ein einfaches Schiffsmodell
- Einarbeitung in die Programmierung von Visual Basic.NET und Programmierung des Modells incl. der wichtigsten Bedien- und Anzeigemöglichkeiten auf dem Bildschirm
- Nachbildung der 4 POD - Antriebe und Anzeige
- Aufschaltmöglichkeiten von Störgrößen
- Koordinatentransformation: alle Angriffskräfte der POD - Antriebe sind bezüglich ihrer Wirkrichtung auf das Koordinatensystem des Schiffes bezogen (z.B. 0° entspricht VORAUS) . Das Schiff selbst wird aber bezogen auf das Koordinatensystem des Hafens dargestellt. Dementsprechend müssen die aus der Einwirkung der Kräfte und Momente resultierenden Verschiebungen und Drehungen des Schiffes in Orts- und Richtungsänderungen gegenüber dem Koordinatensystem des Hafens umgerechnet werden.
- Inbetriebnahme des Schiffsmodells, Korrekturen, Verbesserungen

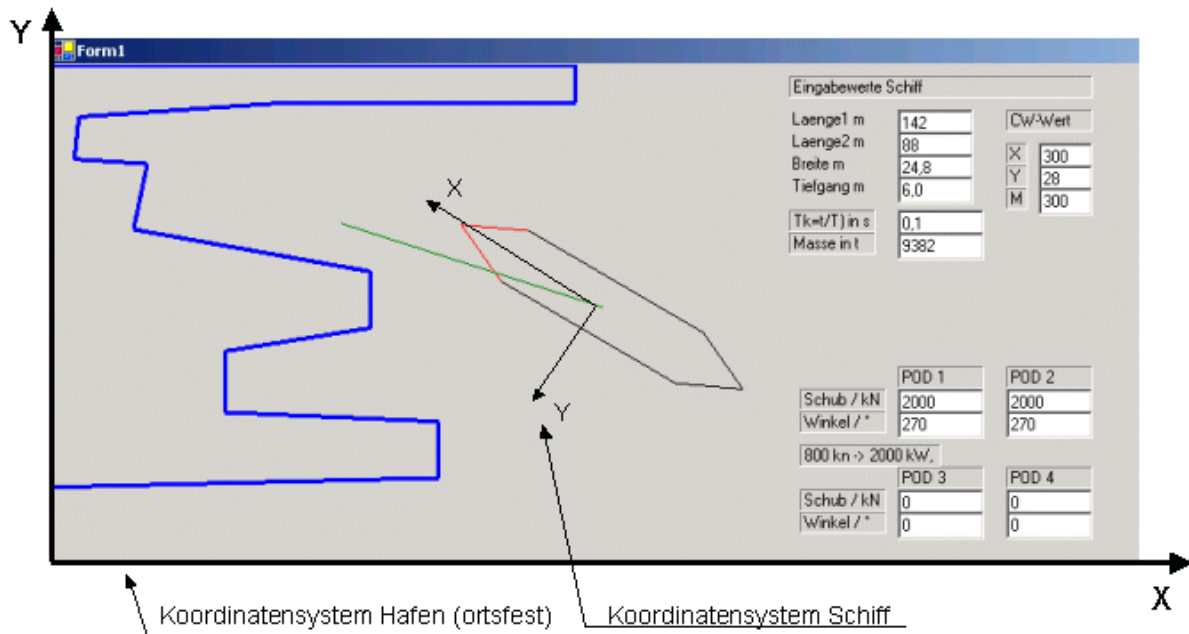
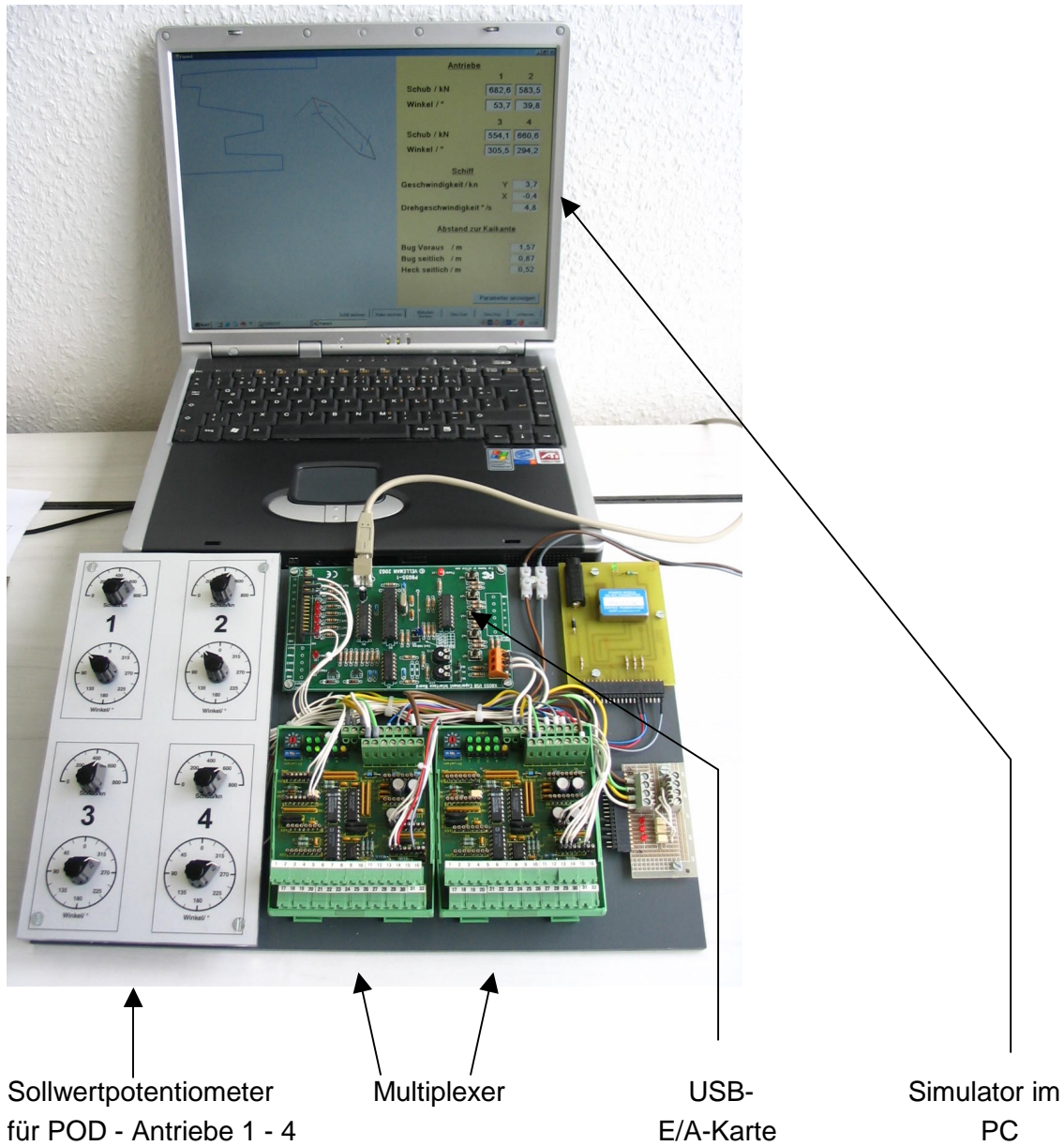


Abbildung 5 Einfache Darstellung des Schiffes im Hafenbecken

### 3. Entwicklung eines einfachen praxisnahen Fahrpultes für die simulierten POD - Antriebe

In Auswertung der Gespräche, die in Puttgarden mit mehreren Kapitänen geführt worden waren, lag die Erkenntnis vor, dass die 4 frei drehbaren POD - Antriebe viele verschiedene Möglichkeiten zur Steuerung des Schiffes bieten. Um hierfür ein Gefühl zu bekommen und die damit gewonnen Erfahrungen bei dem Entwurf des Anlegereglers einfließen zu lassen, wurde ein einfaches Bedienpult entworfen, das dem Fahrstand auf der Fähre stark angelehnt wurde. Für jeden der 4 Antriebe wurden ein um 360 ° drehbares Potentiometer für die Vorgabe der Richtung und ein um 180 ° drehbares Potentiometer zur Vorgabe der Leistung verwendet. Die Werte wurden über modifizierte Multiplexerbausteine von ENITECH eingelesen und über eine gekaufte Messwerterfassungskarte mit Mikrocontroller und einer USB- Schnittstelle an das Schiffsmodell übergeben. Mit diesem einfachen Aufbau konnten wichtige Erfahrungen bezüglich der Steuerung des Modells gesammelt werden. Unter anderem entstand dabei die Idee, den Anlegeregler mit Begrenzungsparametern zu versehen, die beim Manövrieren im Hafenbecken unzulässig hohe Schubkräfte der Antriebe verhindern können.



Sollwertpotentiometer  
für POD - Antriebe 1 - 4

Multiplexer

USB-  
E/A-Karte

Simulator im  
PC

Abbildung 6 Einfache Bedieneinrichtung zur Steuerung des Schiffsmodells

### 6.3.3 Entwurf des Aufbaus eines automatischen Anlegereglers

In enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner NORIS wurde unter Einbeziehung die bis zu diesem Zeitpunkt gewonnenen Erfahrungen bezüglich der Messtechnik (NORIS) und Schiffsverhalten (ENITECH) ein Entwurf für den Gesamtaufbau des Anlegereglers entwickelt und die Arbeitsteilung bezüglich der einzelnen Komponenten und insbesondere der Schnittstellen präzisiert. Das Konzept sieht vor, das Schiff unter Nutzung der über GPS zur Verfügung stehenden relativ ungenauen Positions- und Geschwindigkeitsdaten zunächst so nah wie möglich an den Anlegepunkt heranzuführen und dann auf eine genauere landgestützte Messtechnik zur Positionsbestimmung umzuschalten. Als wichtigste Störgröße muss eine Information über Windgeschwindigkeit und Windrichtung vorliegen, da diese ganz entscheidend den Kurs beeinflussen können. Der Regler soll mit einer Störgrößenaufschaltung ausgerüstet werden, durch deren Wirkung gemessene starke Windänderungen zu einer sofortigen Gegenreaktion der Antriebe führen, noch bevor der Wind eine deutliche Änderung der Schiffsposition verursachen kann.

## Aufbau des automatischen Anlegereglers

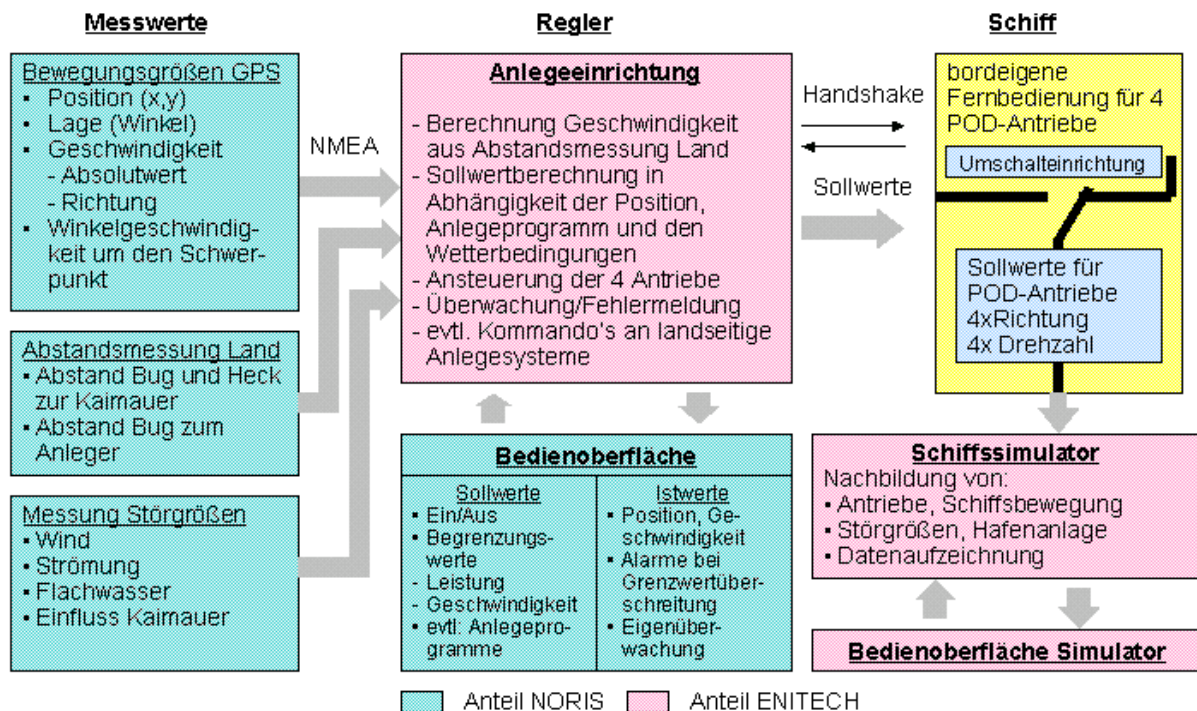


Abbildung 7 Aufbau des automatischen Anlegereglers



## 6.4 Regeln Anlegesenarien (Arbeitspaket 40)

### 6.4.1 Regelungstechnischer Entwurf des Anlegereglers

Als Grundlage für die Durchführung von Simulationsversuchen wurde zunächst ein regelungstechnisches Konzept entworfen. Dieses beinhaltet die hauptsächlichen Funktionen, die für einen Anlegeregler benötigt werden. Neben den Möglichkeiten zur Vorgabe von Sollwerten für den Kurs und dem Erfassen der Istwerte und Störgrößen wurden in das Regelkonzept Begrenzungsfunktionen eingebaut, mit denen beim Manövrieren im Hafenbecken unter normalen Wetterbedingungen die Schubkräfte der POD - Antriebe auf ein maximal erforderliches Maß reduziert werden können. Diese sollen einerseits ein sanftes Anlegemanöver unterstützen und andererseits unnötig hohe Emissionen der Hauptmaschinen, die oft bei schlagartigen hohen Lastwechseln entstehen, unterbinden.

Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Koordinatentransformation der Reglerstellwerte vom ortsfesten Koordinatensystem „Hafen“ auf das Koordinatensystem „Schiff“ und die sinnvolle Aufteilung der Schubkräfte auf die 4 POD - Antriebe. Die Koordinatentransformation ist erforderliche, weil alle Messwerte (Position, Geschwindigkeit u.s.w.) von den Messeinrichtungen (GPS, Hafenseitige Messeinrichtung) auf das ortsfeste Koordinatensystem bezogen sind, den Automatisierungsanlagen der POD- Antriebe der Sollwert für die Schubrichtung aber als Winkel gegenüber dem Koordinatensystem „Schiff“ vorgegeben werden muss.

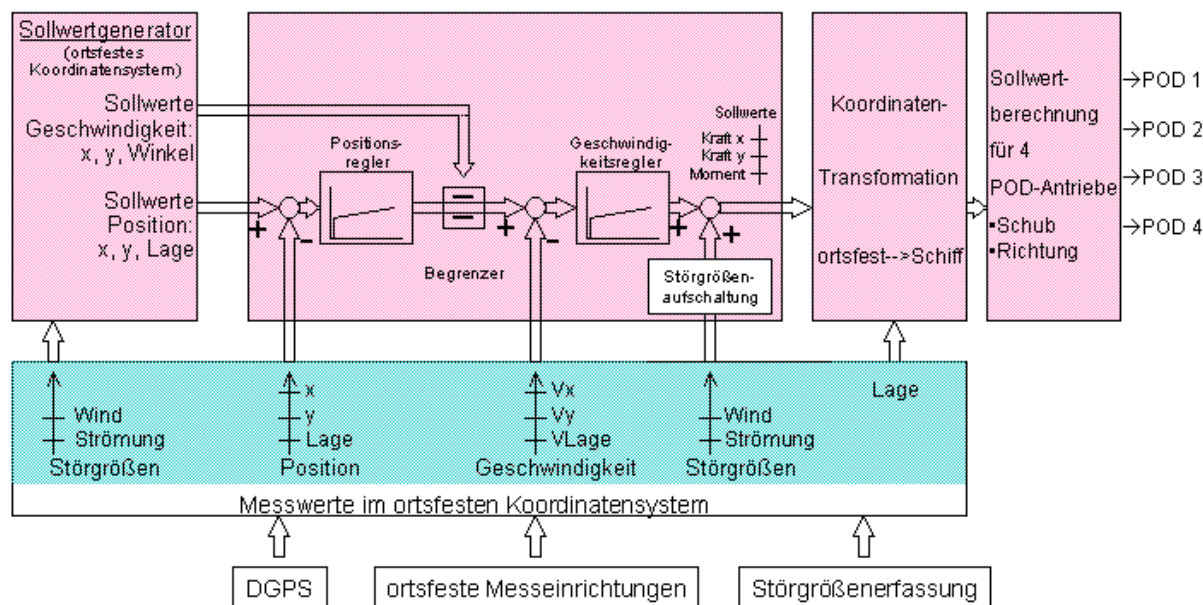


Abbildung 8 regelungstechnische Struktur des automatischen Anlegereglers

### 6.4.2 Festlegungen zur Testhardware des Anlegereglers

#### Hardware Anlegeregler

Zur Umsetzbarkeit eines automatischen Anlegereglers in einer handelsüblichen Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), wurden verschiedenen Untersuchungen zur Hardwareplattform gemacht. Kriterien waren dabei:

- einfache Handhabung

- gute Umsetzbarkeit der Reglerstrukturen
- verfügbare mathematische Funktionen
- Verarbeitungsgeschwindigkeit, Rechenleistung
- Unterstützung moderner Bussysteme
- erforderlichen GL-Zulassungen für den Einsatz der SPS auf Schiffen

Mit der PCD3 der Firma SAIA wurde ein sehr leistungsfähiges System gefunden, das allen gestellten Anforderungen gerecht wird.

### 6.4.3 Signalaustausch mit Projektpartner NORIS

Um eine einfache Ankopplung der von NORIS aufbereiteten Messwerte zu erreichen, wurden Möglichkeiten zur Datenübertragung über ein Bussystem untersucht. Beide Firmen arbeiteten im OTS- Projekt mit unterschiedlichen SPS - Fabrikaten, was bei einer späteren Umsetzung auch den realen Bedingungen an Bord entspricht. Als gemeinsame Plattform wurde dabei Modbus, ein in der Industrie weit verbreitetes Bussystem, gewählt. Modbus gibt es in den Varianten Modbus RTU für serielle Schnittstellen (RS232, RS484) und in der Variante ModbusTCP auf Basis des Ethernet.

Weiterhin wurde festgelegt, dass alle von NORIS bereitgestellten Messwerte (Daten aus bordeigenen Systemen und zusätzlich zu installierender Sensorik) von NORIS mit einer eigenen Verarbeitungseinheit erfasst, dort aufbereitet und in einem festgelegten Format an ENITECH übergeben werden. Alle auszutauschenden Signale (Messwerte, Befehle, Betriebs- und Fehlermeldungen wurden beispielhaft in einer Datenpunktliste (EXCEL- Datei: Schnittstellenliste OTS.xls) aufgelistet.

### 6.4.4 Schnittstellen zwischen den Komponenten von ENITECH

Auf Basis der Festlegungen zwischen ENITECH und NORIS wurden auch die Schnittstellen von ENITECH eingesetzten Komponenten angepasst. Dies sind folgende:

- Simulator < - > SPS Messwernerfassung (Einspeisung von Testsignalen)
- Schnittstelle SPS Anlegeregler < - > Simulator
- Schnittstelle SPS Anlegeregler < - > Bediengerät für manuelle Sollwertvorgabe für die Antriebe
- Schnittstelle SPS Anlegeregler < - > Parametrieretableau für Anlegeregler

### 6.4.5 Testaufbau für die regelungstechnischen Untersuchungen

Für die oben aufgeführten Festlegungen zu den Komponenten des Anlegereglers wurde ein Testaufbau konzipiert, der im nachfolgenden Bild dargestellt ist. Als Medium für eine schnelle Datenübertragung wurde dabei weitestgehend auf Ethernet orientiert. Ethernet etabliert sich in die Industrie in zunehmendem Maße. Eine Einbeziehung dieses Bussystems in die Untersuchungen des Anlegereglers wurde von uns aus diesem Grunde als sehr sinnvoll erachtet. Als Datenübertragungsprotokoll standen dabei SAIA - S-Bus und auch Modbusbus TCP zur Verfügung.

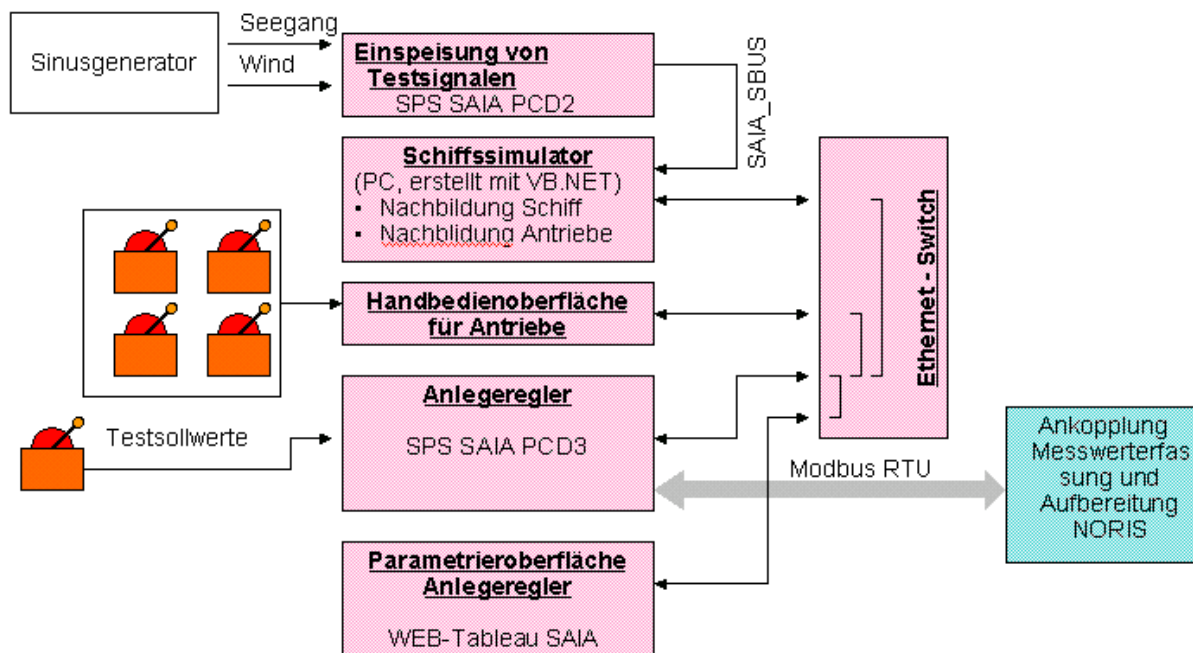


Abbildung 9 Netzwerkstruktur zur Kopplung der Einzelkomponenten des Testaufbaus für den Anlegeregler

### 6.4.6 Kursgenerator

Für die Untersuchung verschiedener Anlegemanöver ist es erforderlich, dem Schiff im Hafenbecken verschiedene Kurse vorgeben zu können und das gewünschte Verhalten auf den einzelnen Streckenabschnitten zu definieren. Für diesen Zweck wurde beispielhaft ein einfacher Kursgenerator entwickelt, mit dessen Hilfe die gewünschte Streckenführung einfach vorgegeben werden kann. Durch mehrere Mausklicks auf das simulierte Hafenbecken, beginnend vom Anlegepunkt bis zur Hafenausfahrt, können mehrere Streckenabschnitte festgelegt werden. Die Koordinaten der Knickpunkte werden automatisch in eine Tabelle eingetragen. In dieser Tabelle können dann für den jeweiligen Streckenabschnitt gültige Grenzwerte, wie max. Geschwindigkeit, Fahrtwinkel (Winkel des Schiffes im Koordinatensystem des Hafens, max. zulässiger Schub usw. vorgegeben werden. Wird für den Fahrtwinkel ein Winkel  $\geq 500$  eingetragen, so wird der Fahrtwinkel vom System anhand der Streckenführung so berechnet, dass das Schiff mit seiner Längsachse genau in Richtung der Geraden gelegt wird, die von den zwei angrenzenden Knickpunkten eines Streckenabschnittes definiert ist. Bei Annäherung an den Anleger können sich aber andere Fahrwinkel als günstig erweisen (z.B.  $0^\circ$ : genau parallel zum Anleger,  $6^\circ$ : leicht spitzer Winkel zum Anleger).

Aus Gründen der einfachen Bedienung wurde das Tool mit in den Schiffssimulator integriert. Die Tabellenwerte werden so bereitgestellt, dass sie z.B. über die Busverbindung von der SPS des Anlegereglers ausgelesen werden können.

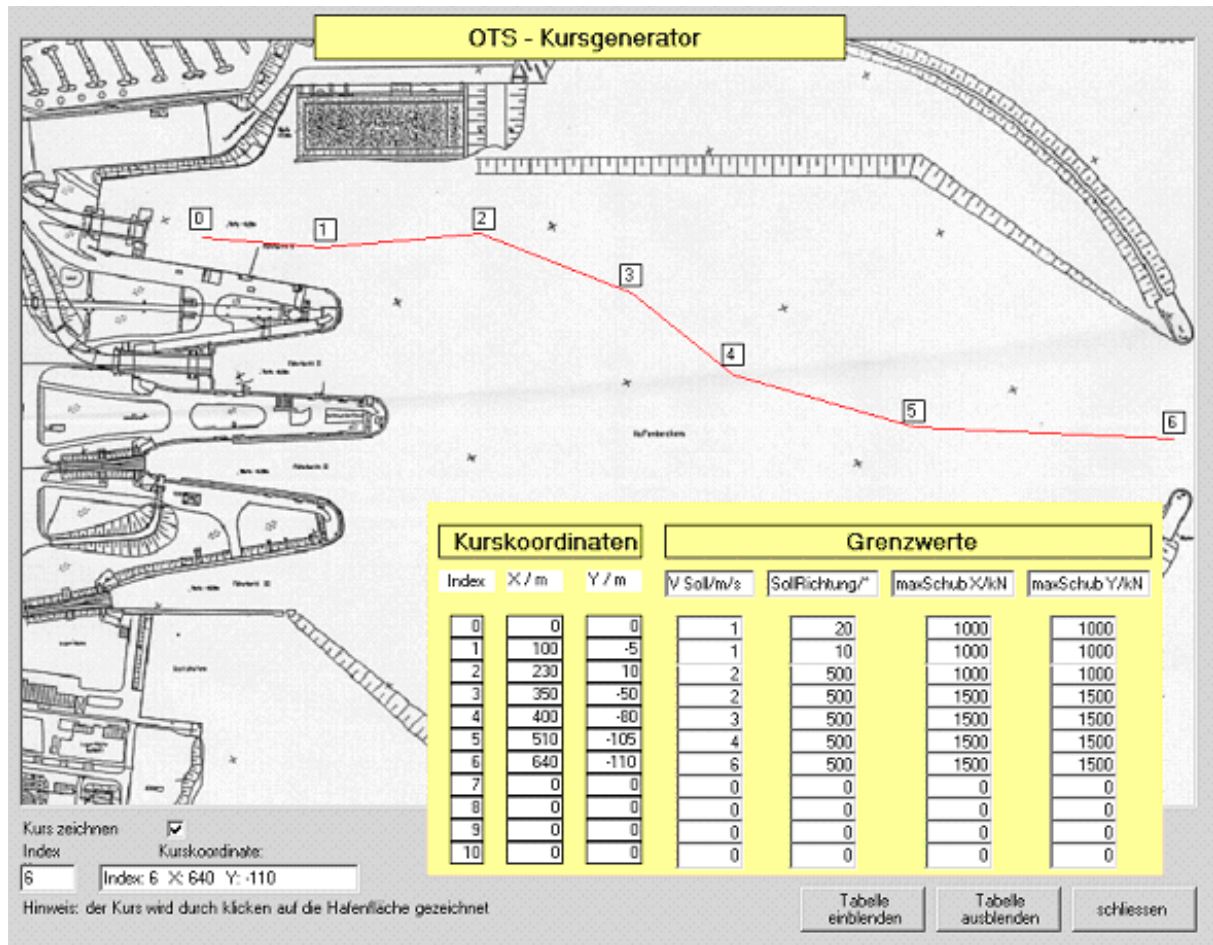


Abbildung 10 Kursgenerator

## 6.4.7 Anlegeregler

Der Anlegeregler muss entsprechend dem Blockschaltbild aus mehreren Funktionsblöcken aufgebaut werden. Die wesentlichsten davon sind:

### 1. Kommunikation

- Datenübertragung zwischen Regler und Messwerterfassung
- Stellwertübertragung an die 4 POD - Antriebe
- Datenaustausch mit einem Bedientableau zur Anzeige von Status- und Fehlersignalen sowie zur Aktivierung des Reglers und Eingabe von Parametern
- Erfassung der Datenfelder des Kursgenerators

### 2. Regelungsfunktionen

- Bewertung der gemessenen Istwerte mit Umschaltung der Messwerte zwischen GPS-Daten (großer Messbereich, aber ungenau) und Daten höherer Messgenauigkeit (aber kleinerer Messbereich)
- Positionsregler (XY-Koordinaten und Winkel)

- Geschwindigkeitsregler mit Begrenzungseingriff und Störgrößenaufschaltung (Geschwindigkeit in Y- und Y- Richtung sowie Drehgeschwindigkeit um den Schwerpunkt. (Schiffsmittelpunkt)
3. Koordinatentransformation der Stellsignale für die Richtung der erforderlichen Antriebsleistung vom ortsfesten Koordinatensystem in das Koordinatensystem Schiff
  4. Sollwertberechnung (bzw. -verteilung) für die 4 Antriebe anhand der vom Regler ausgegebenen erforderlichen Gesamt - Antriebsleistung nach Betrag und Richtung einerseits und der zu deren Umsetzung zu benutzenden Antriebe
  5. Ein- Ausschaltfunktion, Diagnosefunktion

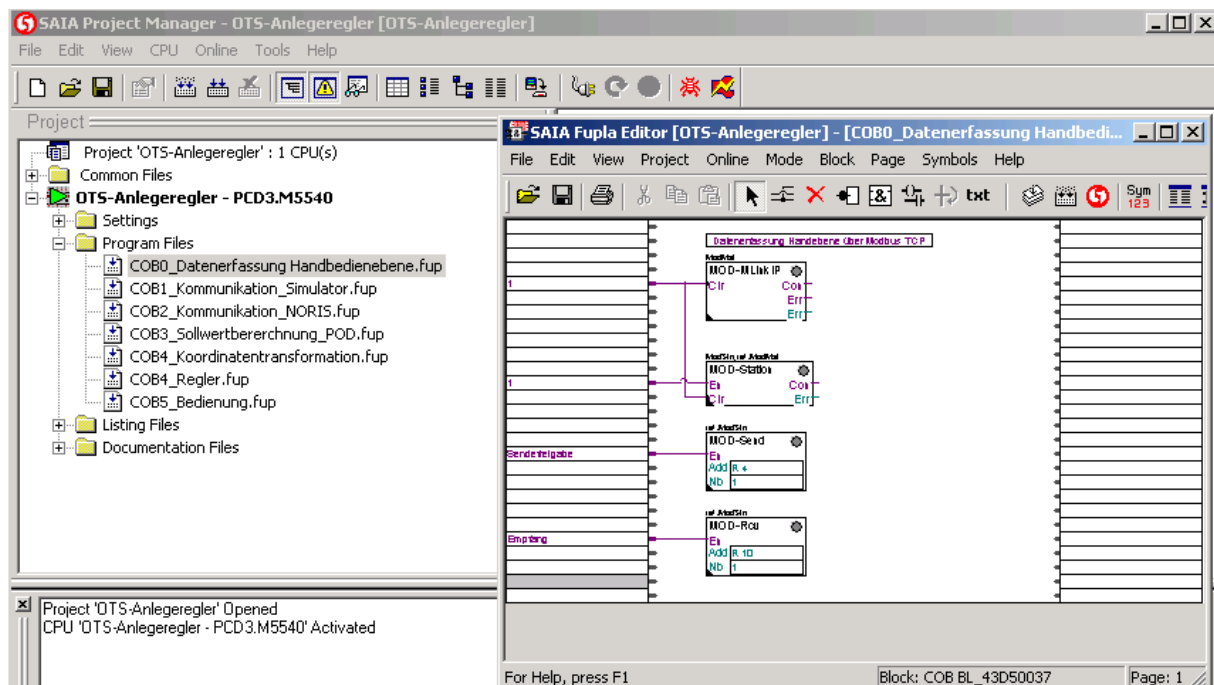



Abbildung 11 Auszug aus dem SPS-Programm des Anlegereglers

### 6.4.8 Bedieneinheit des Anlegereglers

Zum Test von Grundfunktionen des Anlegereglers bezüglich der Bedienung und Anzeige wurde eine kleine Bedieneinheit entworfen. Bei der Auswahl der Hardware, der Software und der Kommunikationsschnittstelle wurde auf die Verwendung fortschrittlicher Technologien geachtet. So wurde zur Visualisierung ein WEB-Terminal der Fa. SAIA - Bourges verwendet, welches über Ethernet angebunden wird. Die visualisierten Bilder werden als WEB - Seiten direkt in der SPS hinterlegt. Neben der Bedienung und Anzeige mit dem Tableau ist es damit auch möglich, einen oder mehrere PC an das Netzwerk zu koppeln, die WEB-Seiten mit dem Internet Explorer aufzurufen und die angezeigten Daten hierüber abzurufen.

- Ein- Ausschaltung des automatischen Anlegereglers
- Werkzeug zur Sollwertvorgabe der Schiffsbewegung im Hafen (Sollwertgenerator)
- wichtige Warn- und Anzeigefunktionen

Reglerparameter
Ostseetransportsysteme  
Automatischer Anlegeregler



### Positionsgregler

<b>Aktivierung</b>	<input type="button" value="Ein"/> <input checked="" type="button" value="Aus"/>	<input type="button" value="Ein"/> <input checked="" type="button" value="Aus"/>	<input type="button" value="Ein"/> <input checked="" type="button" value="Aus"/>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Winkel</b>
<b>Sollwert</b>	<input type="text" value="0 m"/>	<input type="text" value="0 m"/>	<input type="text" value="0 °"/>
<b>Istwert</b>	<input type="text" value="0 m"/>	<input type="text" value="0 m"/>	<input type="text" value="0 °"/>
<b>Stellwert</b>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
<b>Beareznuna Stellwert</b>	<input type="text" value="0 %"/>	<input type="text" value="0 %"/>	<input type="text" value="0 %"/>
<b>Verstärkung</b>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
<b>Nachstellzeit</b>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

### Geschwindigkeitsregl

<b>Aktivierung</b>	<input checked="" type="button" value="Ein"/> <input type="button" value="Aus"/>	<input checked="" type="button" value="Ein"/> <input type="button" value="Aus"/>	<input checked="" type="button" value="Ein"/> <input type="button" value="Aus"/>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Winkel</b>
<b>Sollwert</b>	<input type="text" value="0 m"/>	<input type="text" value="0 m"/>	<input type="text" value="0 °"/>
<b>Istwert</b>	<input type="text" value="0 m"/>	<input type="text" value="0 m"/>	<input type="text" value="0 °"/>
<b>Stellwert</b>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
<b>Beareznuna Stellwert</b>	<input type="text" value="0 %"/>	<input type="text" value="0 %"/>	<input type="text" value="0 %"/>
<b>Verstärkung</b>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
<b>Nachstellzeit</b>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Abbildung 12 Entwurf einer Bedieneinheit für den Anlegeregler auf Basis der SAIA-Web-Tableaus

## 6.5 Überprüfung der erarbeiteten Konzeptionen durch Simulationsrechnungen anhand einer beispielhaften Streckennachbildung (Arbeitspaket 50)

### 6.5.1 Ziele der Simulation eines automatischen Anlegevorganges

Die durchzuführenden Simulationsrechnungen sollten eine Antwort auf folgende hauptsächliche Fragen geben:

- können stabile Regelungen für einen automatischen Anlegevorgang gefunden werden?
- sind die entworfenen Reglerstrukturen hierfür geeignet oder müssen andere Strukturen gefunden werden?
- welche Überwachungen müssen zusätzlich eingeführt werden, um bei einer Fehlfunktion rechtzeitig einen Alarm auszulösen?
- Wo sind die Grenzen der durchgeführten Simulationen?
- Welche Risiken bleiben?

## 6.5.2 Simulationsrechnungen

Zur Durchführung der Simulationsrechnungen wurden die entworfenen Strukturen schrittweise umgesetzt. So wurde zunächst mit einem eindimensionalen Regler begonnen, der aus einer Reihenschaltung von Positions- und Geschwindigkeitsregler besteht. Dabei wurde das Schiffsmodell nur in X-Richtung bewegt und die Auswirkung verschiedener Parametersätze mit folgenden Ergebnissen getestet:

- für den Wegregler ist ein einfacher P-Regler ausreichend
- Der Geschwindigkeitsregler wurde als PI-Regler ausgelegt. Auf einen D -Anteil sollte bewusst verzichtet werden, um den POD- Antrieben möglichst keine schnellen Belastungsänderungen abzufordern
- Es konnte ein Parametersatz gefunden werden, der ein asymptotisches Einschwingen der Regelung ermöglicht. Dies ist erforderlich, wenn das Schiff in Nähe des Anlegers punktgenau in eine Position gebracht werden muss, ohne das Schiff kurzzeitig über die Position hinausfährt.
- Durch Änderung der Parametersätze kann die Regelung auch zum Überschwingen gebracht werden, d.h. das Schiff erreicht die Position schneller, fährt aber über diese hinaus und fährt dann zurück auf die Soll-Position. Dies Eigenschaft ist nutzbar, wenn sich das Schiff auf einer vorgegeben, aus mehreren Geradenabschnitten bestehenden Bahn dem Anleger nähert. In diese Falle ist es nicht gewünscht, dass das Schiff exakt am Ende eines Geradenabschnittes anhält und dann für den nächsten Abschnitt neu beschleunigt wird. Vielmehr soll hier bei Erreichen der Nähe des Endpunktes eines Abschnittes auf den nächsten Positionssollwert umgeschaltet werden, so dass das Schiff ohne Zwischenstopp weiterfährt.
- Die Möglichkeit, den Geschwindigkeitssollwert begrenzen zu können, ist unbedingt erforderlich. Der Geschwindigkeitssollwert wird vom Positionsregler für den Geschwindigkeitsregler entsprechend der Abweichung von Soll- und Ist- Position und der für ein genaues Einlaufen erforderlichen Verstärkung erzeugt. Dies hat insbesondere bei größeren Abweichungen von Soll- und Istposition den Effekt, dass das Schiff mit maximalem Geschwindigkeitssollwert starten würde und den POD- Antrieben sofort der maximale Schub abgefordert werden würde. Beides ist für Manöver im Hafen und aus Sicht des umweltschonenden Fahrens der Hauptantriebe (Rußentwicklung durch Füllungsstöße) nicht erwünscht.
- Auch die Schub – Sollwerte des Geschwindigkeitsreglers müssen begrenzt sein, um sanft im Hafenbecken manövrieren zu können. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass bei einer drohenden Kollision die Begrenzungen aufgehoben oder mindestens vergrößert werden, damit für ein Notmanöver ausreichend Schub der POD - Antriebe zur Verfügung steht.

Mit den Erkenntnissen aus der eindimensionalen Regelung (X-Richtung) wurde als nächster Schritt die Regelung in Y- Richtung (Fahrtrichtung quer zum Schiff) hinzugefügt. Auch hier konnten stabile Regelungen gefunden werden, es kommen aber neue Erkenntnisse hinzu:

- Die ausschließliche Begrenzung des von einem Geschwindigkeitsregler erzeugten Schubsollwertes auf den maximal möglichen eines POD- Antriebes ist nicht mehr ausreichend. Vielmehr müssen aus den Schub- Sollwerten der Regler für X- und Y- Richtung zunächst Betrag und Richtung des Schubes des POD -Antriebes berechnet werden. Danach ist zu überprüfen, ob der berechnete Betrag größer ist als der max. mögliche Schub des Antriebes. Wenn ja, dann sind die Ausgänge beider Regler prozentual so zu begrenzen, wie es dem maximal möglichen Betrag des Schubes entspricht. Ohne die rückwirkende Begrenzung Regler kann der Zustand auftreten, dass beide Regler nicht im Eingriff bleibt und damit die Kontrolle über die Regelungen zeitweise verlieren. Dieser Zustand ist mit zusätzlichen Verzögerungszeiten der Stellwirkung verbunden und daher insbesondere in der Nähe von Hindernissen sehr kritisch.
- Bei Beibehaltung des normalen Soll- Ist- Vergleiches (Differenzbildung zwischen Sollwert und Istwert) dauert insbesondere bei längeren Streckenabschnitten die Verschiebung in Y- Richtung (quer zum Schiff) wesentlich länger als in x-Richtung (in Fahrtrichtung des Schiffes). Der Regler für die Y-Richtung kann aber nicht beliebig schneller parametrierbar werden, da er dann bei kleineren Geschwindigkeiten instabil wird.
- Als Ursache für dieses Verhalten stellte sich der mit der Geschwindigkeit quadratisch anwachsende Schiffswiderstand heraus. Damit wächst der Widerstand quer zum Schiff wesentlich schneller als in Fahrtrichtung. Ein wesentlich besseres Ergebnis für die gleichzeitige Regelung in x- und y- Richtung konnte erreicht werden, indem der Sollwert und der Istwert der Geschwindigkeit quadriert werden bevor diese Werte auf den Geschwindigkeitsregler geschaltet werden.

Als dritter Schritt wurde die Regelung um die Drehachse des Schiffes hinzugefügt. Konnten bei der ausschließlichen Regelung in X- und Y- Richtung (d.h. die Schiffslängsachse verändert ihren Winkel im Koordinatensystem bei der Änderung der Position des Schiffes nicht) noch alle POD- Antriebe in derselben Richtung verstellt werden, so kommt jetzt eine Komponente hinzu, die alle Antriebe entsprechend ihrer Lage zum Drehpunkt unterschiedlich ansteuert. Dementsprechend kompliziert wird die Rückrechnung der Begrenzungswerte für alle 3 Regler jedes Antriebes. Hinzu kommt, dass in der Regel nur einer der 4 POD- Antriebe zuerst seine max. Leistung erreicht (siehe Bild 13). Sobald für einen Antrieb eine Begrenzung wirksam wird, hat dies sofort eine Auswirkung auf das Drehverhalten des Schiffes, sofern nicht für die anderen Antriebe eine entsprechend rückgerechnete Begrenzung durchgeführt wird.

Bild 13 soll auf einfache Weise verdeutlichen, wie sich die Schubkräfte addieren, wenn alle 4 POD - Antriebe von den 3 Reglern (für X-Y- und Drehung) gleichberechtigt behandelt werden. Die grünen Pfeile stellen beispielhaft einen Schub in X- und Y-Richtung dar, den jeder POD- Antrieb liefern muss, um dasselbe Drehmoment um den Drehpunkt D zu erzeugen. Hinzu addieren sich die von jedem POD- Antrieb zu liefernden angenommenen Schubkräfte in X- und Y- Richtung (blaue und rote Pfeile) , um das Schiff aus der jetzigen Position in eine andere Position zu bewegen. Die resultierenden Schubkräfte jedes Antriebes werden durch die gelben Pfeile dargestellt. Es wird deutlich, dass im diesem angenommenen Beispiel der POD - Antrieb 1 am stärksten belastet ist und POD - Antrieb 4 keinen Schub liefern darf. Sofern POD - Antrieb 1 den Solls Schub nicht liefern kann, müssen die anderen Antriebe im gleichen Verhältnis reduziert werden, wenn das Schiff die vorausberechnete Bewegung ausführen soll.



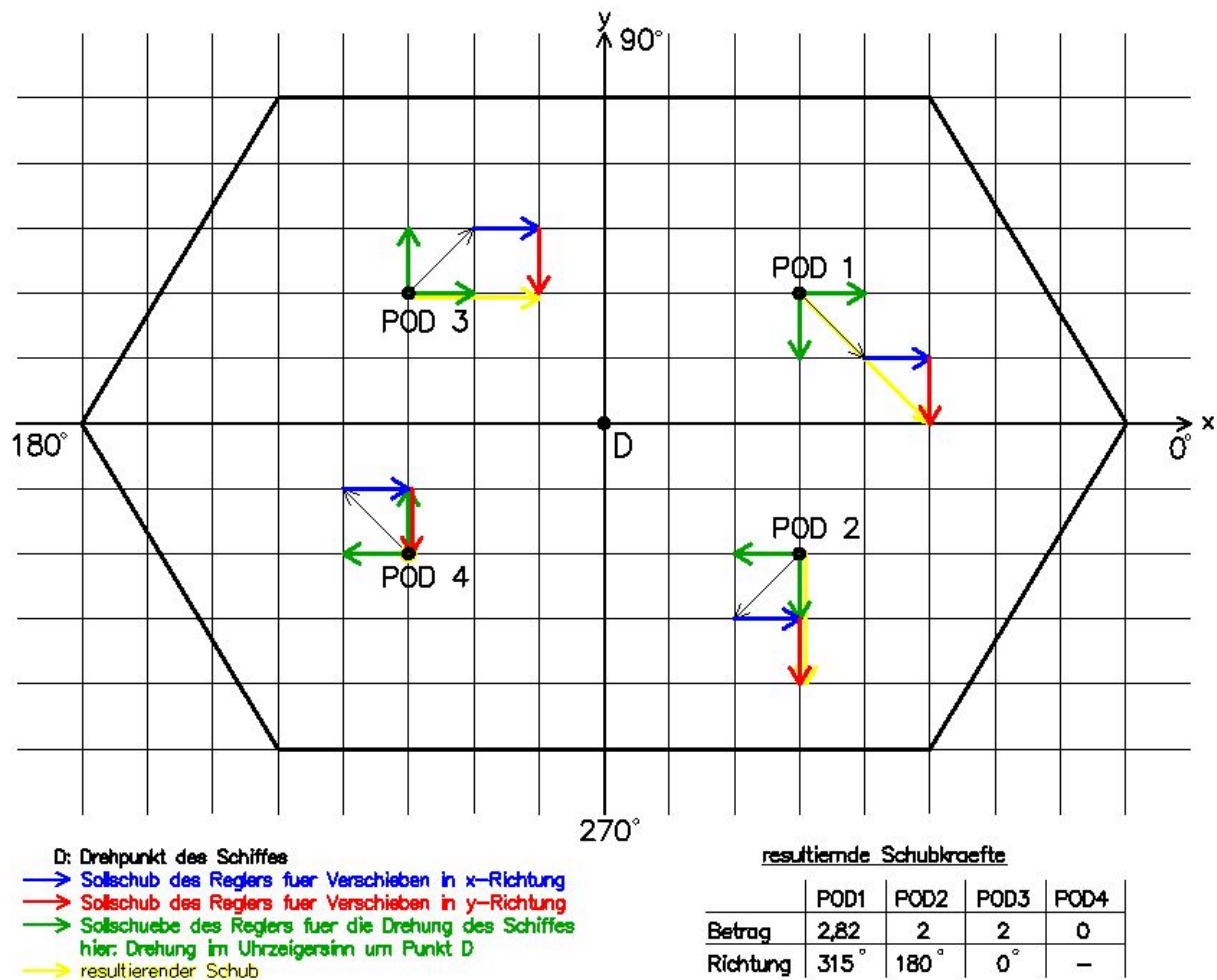


Abbildung 13 Schubkräfte an den POD-Antrieben

Für Manöver im Hafen, die mit relativ kleinen Schubkräften durchgeführt werden, spielt dies in der Regel keine Rolle, da die POD - Antriebe ihre Leistungsgrenze hier nicht erreichen. Beim Einwirken zusätzlicher Kräfte (z.B. starker Wind) oder einem Notmanöver ist dieser Umstand allerdings zu beachten.

### 6.5.3 Zusammenfassung der wichtigsten Untersuchungsergebnisse

#### - Ergebnisse

- Die Simulationsergebnisse zeigen, dass unter Beachtung von Randbedingungen stabile Regelungen zur Realisierung eines automatischen Anlegereglers realisierbar sind
- es gibt verfügbare Hardware auf Basis von SPS- Systemen die für den Einsatz in einem automatischen Anlegesystem sowohl bezüglich ihrer Schiffszulassung als auch ihrer bezüglich Rechenleistung geeignet ist
- die erforderlichen Datenschnittstellen zu Messerfassungssystemen sind verfügbar. Mit Modbus konnte dabei eine schnelle Datenübertragungstechnik getestet werden, die auch von vielen anderen Systemen unterstützt wird. Beispielsweise wurde auf dieser Basis eine Datenpunktliste zur Datenerfassungseinrichtung des Projektpartner NORIS abgestimmt.

- Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Verwendung geeigneter Reglerparameter unter Idealbedingungen ein Einnehmen der gewünschten Endposition ohne Überschwingen möglich ist. Trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei in unmittelbarer Nähe des Anlegers stochastisch auftretenden Störgrößen (starke Windböen) das Schiff über den Endpunkt hinaus geschoben wird. Um die Sicherheit zu erhöhen, sollte der Sollkurs so vorgegeben werden, dass in geringem Abstand vor dem Anlegepunkt das Schiff bereits aufgestoppt und in die richtige Position gebracht wird. Von diesem Punkt aus kann dann mit sehr geringer Geschwindigkeit gefahrlos angelegt werden.
- Bei Ausfall eines Antriebes kommt es nach kurzer Zeit zu nicht beabsichtigten Bewegungen des Schiffes. Es ist bei kleinen Schubkräften grundsätzlich möglich, durch eine Änderung der Verteilung der Schubkräfte auf die restlichen 3 Antriebe, dies auszugleichen. In unmittelbarer Nähe des Anlegers sollte das Bedienpersonal eingreifen.

#### - Risiken

- Aufgrund der Vielzahl der Möglichkeiten des Einsatzes der 4 POD- Antriebe konnten nur Grundvarianten (z.B. alle Antriebe werden gleichberechtigt eingesetzt) untersucht werden.
- Die Untersuchungen wurden an einfachen Bewegungsmodellen unter Vernachlässigung hydrodynamischer Vorgänge durchgeführt, die aber insbesondere bei den geringen Geschwindigkeiten im Hafenbecken wenig Einfluss haben.
- Der automatische Anlegevorgang hat sich als sehr komplexes und kompliziertes System erwiesen. Im Zusammenspiel aller Anlagen an Bord können sich evtl. Effekte ergeben, die von der Simulation nicht berücksichtigt werden konnten.

## 7 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse, Anschlussmöglichkeiten

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, daß ein automatisches Anlegesystem mit Doppellendfähren realisierbar ist. Nach Einschätzung von ENITECH sollte mit der Umsetzung eines Versuchsprojektes der automatische Anlegevorgang unter praxisnahen Bedingungen weiter untersucht werden. Eine Realisierung eines solchen Projektes ist allerdings nur in Zusammenarbeit mit einem potentiellen Nutzer (z.B. Scandlines) möglich.

Es bestehen gute Aussichten für eine erfolgreiche Umsetzung eines automatischen Anlegesystems für Doppellendfähren mit 4 POD – Antrieben.

Die Firma ENITECH konnte mit der Projektbearbeitung ihr Firmen-know-how deutlich erweitern. Es ergeben sich Möglichkeiten für eine Nutzung der gesammelten Erfahrungen auf dem Gebiet der Simulation in anderen Projekten, die sich bei ENITECH in Bearbeitung befinden. Es zeichnen sich z.B. Möglichkeiten des Einsatzes der Simulationsmethoden im Projekt „Druckneutrale Systeme für Unterwasseranwendungen“ ab. In diesem Projekt wird ein kleines Unterwasserfahrzeug entwickelt, dessen Manöviereigenschaften mit den geschaffenen Simulationswerkzeugen untersucht werden können.

## 8 Während der Bearbeitung des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt gewordener Fortschrittsgrad auf dem Gebiet, Wettbewerbssituation

Während der Bearbeitung des Vorhabens sind keine Veröffentlichungen bekannt geworden, die sich mit dem speziellen Thema des automatischen Anlegens von Doppelendfähren beschäftigt.

## 9 Veröffentlichungen

Die laufenden Ergebnisse wurden in den Zwischenberichten und auf den Workshops im Rahmen der „Maritimen Allianz Ostsee“ (MAO) vorgestellt. Eine Präsentation der Ergebnisse sollte nur im Rahmen einer Präsentation des Gesamtvorhabens aller beteiligten Partner erfolgen, da die entsprechenden Randbedingung, die zur Bearbeitung des Vorhabens „Automatische Liegeplatzansteuerung“ geführt haben, aus dem Gesamtvorhaben abgeleitet wurden und nur dort sinnvoll verwertet werden können.

## 10 Literaturverzeichnis

1. Ulrich Scharnow                      Seemannschaft 3  
Schiff und Manöver 3. Auflage  
VEB Verlag für Verkehrswesen Berlin 1987
2. Peter Monadjemi                      Visual Basic.Net  
Markt + Technik Verlag 2002
3. Horst Herr                              Technische Mechanik, 7. Auflage  
Verlag Europa Lehrmittel
4. Firma MARIMATECH                    Docking System PDS 2000  
Firmenprospekt

---

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1	Funktionsprinzip des Piloting and Docking System PDS 2000.....	11
Abbildung 2	Darstellung einer Schiffsbewegung im Hafen mit dem Visualisierungssystem InTouch .....	15
Abbildung 3	ENITECH - Messrechner für das Projekt Ostseetransportsysteme.....	16
Abbildung 4	Hafenanlage Puttgarden .....	20
Abbildung 5	Einfache Darstellung des Schiffes im Hafenbecken .....	22
Abbildung 6	Einfache Bedieneinrichtung zur Steuerung des Schiffmodells .....	23
Abbildung 7	Aufbau des automatischen Anlegereglers.....	24
Abbildung 8	regelungstechnische Struktur des automatischen Anlegereglers .....	25
Abbildung 9	Netzwerkstruktur zur Kopplung der Einzelkomponenten des Testaufbaus für den Anlegeregler .....	27
Abbildung 10	Kursgenerator.....	28
Abbildung 11	Auszug aus dem SPS-Programm des Anlegereglers.....	29
Abbildung 12	Entwurf einer Bedieneinheit für den Anlegeregler auf Basis der SAIA-Web- Tableaus .....	30
Abbildung 13	Schubkräfte an den POD-Antrieben.....	33