

# Automatische Analyse von Schiffsdaten zur Manöverassistenz

Agnes U. Schubert, Michael Gluch,

Hochschule Wismar/ Bereich Seefahrt/ ISSIMS

[agnes.schubert@hs-wismar.de](mailto:agnes.schubert@hs-wismar.de), [michael.gluch@hs-wismar.de](mailto:michael.gluch@hs-wismar.de)

## Zusammenfassung

Heutzutage werden Schiffe bei der Fahrt in engen Fahrwassern und damit auch im Hafen grundsätzlich manuell gesteuert. Dem Wachoffizier stehen für das Manövrieren die klassischen Instrumente des Brückensystems sowie der Lotze und weitere Besatzungsmitglieder zur Verfügung, die zusätzlich zu der eigenen Einschätzung von Position und Lage des Schiffes die Abstände zu Hafenanlagen und anderen Fahrzeugen melden. Diese Art der Schiffsführung ist damit von subjektiven Wahrnehmungen geprägt und führt zu kleineren Fehleinschätzungen die in der Summe schnell zu hohen ökonomischen Schäden bis hin zu menschlichen Verlusten führen können.

Um das Manövrieren sicherer und effektiver zu gestalten, sollen vornehmlich auf der Basis vorhandener bzw. zusätzlicher Sensorik und einer anschließenden Datenfusion softwaretechnische Algorithmen für Assistenzsysteme entwickelt werden. Diese Algorithmen sollen eine exakte Lagebestimmung erlauben, um daraus Stelleingriffe, für eine gewünschte Lage und Position zu erzielen. In der Konzeption des Assistenzsystems müssen folgende Fragen betrachtet werden: Welche Sensordaten liefert ein klassisches Brückensystem? Welche Sensorik muss ergänzt werden und wie erfolgt eine automatische Bewertung für die notwendige Fusion der Daten?

## Gegenwärtige Wegpunktplanung und Manöverdurchführung

Die Grundlage für eine Wegpunktplanung und Manöverdurchführung bildet eine Resolution der International Maritime Organisation (IMO) IMO-Res.: A. 893(21). Die Reiseplanung beinhaltet eine Reihe von Wegpunkten, die dokumentiert werden müssen. Die einzelnen Manöver hingegen unterliegen keiner Dokumentationspflicht. In der Praxis an Bord kann es aber Vorgaben für das Manövrieren geben, die in der Kapitänsorder, den Charter- oder Reedereivorgaben enthalten sind. Deshalb sollten sich die Wachoffiziere mit der Manövrierfähigkeit ihres Schiffes auseinandersetzen, da die fahrdynamischen Eigenschaften den potentiellen Manöverraum bestimmen. Gerade in Landnähe oder in engen Fahrwassern wird dieser Raum eingeschränkt und durch die lokalen Umweltbedingungen zusätzlich limitiert. Die gegenwärtige Manöverdurchführung hängt insbesondere von Fachwissen, mentalem Modell und Geschick des Wachoffiziers und seiner Assistenten ab. Schwierigkeiten ergeben sich dabei durch wechselnde Umweltbedingungen wie Strömung, Wind oder Tide sowie spezifische lokale Effekte (z.B. Banking oder Squat), die eine Adaption der Routinen erfordern.

## Eingesetzte Sensorik, Instrumente und Personen

Die Wegpunkte werden mittels ECDIS-Systemen als geografische Positionen mit Geschwindigkeit, Kurs und Toleranzen vor Antritt der Reise in Abhängigkeit vom Wetter geplant und wenn nötig aktualisiert. Im Gegensatz zur Wegpunktplanung beinhaltet die Manöverdurchführung alle notwendigen Stellgrößen, so dass in der Praxis grundsätzlich Planung und Durchführung voneinander abweichen.

Zur Manöverdurchführung nach Sicht stehen dem Wachoffizier eine Reihe von Sensordaten zur Verfügung. Dazu gehören primär die Soll- und Istwerte der Stellorgane sowie die Zustandsgrößen wie Drehrate, Längs- und Quergeschwindigkeiten, Lage und Tiefgang. Bei widrigen Bedingungen, schlechter Sicht oder starkem Seegang, kann die ECDIS zuzüglich der Radar-Informationen mit der maßstabgerechten Darstellung des Fahrzeugs eingesetzt werden. Während der Revierfahrt muss weiteres nautisches Personal, ein Lotse oder Wachoffizier, hinzugezogen werden. Außerdem liefern während des Dockings verschiedene Crewmitglieder per Funk einzelne Abstandsangaben oder ähnliches an die Brücke, weil diese von der Brücke aus nicht direkt einsehbar sind.



Abbildung 1: Auswahl an Instrumenten und Monitoren auf der Brücke

## Genauigkeiten, Fehlerquellen und Störungen in der gegenwärtigen Praxis

Die auf der Brücke angezeigten und aufgezeichneten Sensorwerte variieren in ihrer Genauigkeit, Verfügbarkeit und Störanfälligkeit. Signale von Globalen Navigationssystemen (GNSS) zur Positionsbestimmung können beispielsweise durch Abschattungen, unzureichende Standliniengeometrie oder elektromagnetische Störungen mit Fehlern von mehr als 15 m behaftet sein oder zeitweise ganz ausfallen. Auch die klassischen Schiffssensoren wie das Log (Fahrtmessanlage, Geschwindigkeitsmessung), der Kreiselkompass, der Tiefen- und Windmesser können physikalisch begründete Fehler beinhalten. Der Kreiselkompass wird mit dem Fahrtfehler kompensiert und die Fahrtmessanlage liefert korrekte Werte nur, wenn der

Untergrund dies zulässt. Tiefenangaben werden z.B. aufgrund von Verwirbelungen im Fahrwasser gestört. Die Windmessung an Bord ist für Störungen durch das Umströmungsfeld des Schiffs besonders anfällig. Darüber hinaus kann es zu Effekten kommen, die nicht von dem physikalischen Phänomen unterschieden werden können. Eine Kompensation der genannten Messfehler mittels mathematischer Algorithmen erfolgt in der Praxis nicht. Nur für integrierte Navigationsanlagen ist eine Sensorkontrolle gefordert, so dass das Messrauschen, Varianzen und Ausfälle registriert werden können.

Die Wichtung und Bewertung der Daten sowie die daraus gezogenen Schlussfolgerungen beruhen immer auf einer diskontinuierlichen Beobachtung und subjektiven Einschätzung durch das nautische Personal, so dass sie unmittelbar an dessen Erfahrung und Stressresistenz gebunden sind. Treten zusätzlich zu der anhaltenden Datenflut unvorhergesehene Ereignisse auf, kann das dazu führen, dass der Schiffsoffizier die Informationen und deren Zuverlässigkeit unzureichend verarbeitet und nicht mehr routiniert vorausschauend, d.h. mit einem Zeithorizont von mehreren Minuten, agiert. Bei der üblichen Nutzung präventiver Steuerkommandos, und mehrfachen Fehleinschätzungen können schnell die Handlungsgrenzen erreicht werden und es kann zu einem Unfall kommen. Damit wird ein wesentlicher Aspekt benannt, warum der überwiegende Prozentsatz der Schiffsunfälle auf menschliche Fehlentscheidungen zurückzuführen ist [1].

Die ökonomische Belastung aufgrund der Schifffahrtskrise, die kurzfristig nicht in grundlegenden konzeptionellen Änderungen im Schiffsbetrieb resultiert, erzeugt nur eine Verknappung der Ressourcen. Der damit einhergehende Leistungsdruck auf die Besatzung trägt ebenfalls zu einem erhöhten Unfallrisiko bei. Ein folgerichtiger Schritt wäre die Entlastung gerade in Routineaufgaben. Die zeitintensive Bewertung des technischen Zustands des Schiffs, zu denen auch die Analyse der Schiffsdaten für das Manövrieren zählt, könnte von Assistenzsystemen ausgeführt werden. Der kontinuierlichen systematischen Evaluation des aktuellen Manöverraums könnte ebenfalls ein Manöverassistenzsystem dienen, das neben der Verwendung eines Schiffsbewegungsmodells die aktuellen Umweltparameter und die Zustandsgrößen des Schiffs umfänglich einbezieht. Damit könnten die aus den kommandierten Werten resultierende Bewegung des Schiffes für einen definierten Zeithorizont prädiziert werden oder optional Warnungen und Empfehlungen angezeigt werden.

## **Anforderungen an Manöverassistenzsysteme**

Um die Seefahrt sicherer und effizienter zu gestalten und außerdem Mensch, Maschine und Umwelt zu schonen, wird im Verbundprojekt *GALILEOnautic* untersucht, wie der Nautiker im Prozess der Schiffsführung unterstützt werden kann. Dabei muss sich der Problematik aus verschiedenen Richtungen angenähert werden. An erster Stelle steht dabei der Respekt vor der Leistung und der Verantwortung der nautischen Offiziere in der Beherrschung eines hochkomplexen dynamischen Systems, das durch eine Vielzahl von inneren und äußeren Parametern beeinflusst wird.

In einem zweiten Schritt muss der gegenwärtige subjektive Navigationsprozess nachvollzogen werden. Welche Sensordaten werden durch den einzelnen Offizier kognitiv

verwertet? Wie gewichtet und fusioniert er die Daten? Welche Angaben fehlen ihm oder werden mit ungenügender Präzision dargestellt?

Daraufhin muss untersucht werden, welche subjektive Darstellung des Gesamtsystems aus den kognitiven Schemata als sinnvoll abgeleitet werden kann. Welche Teilprozesse sind zeitintensive Routine und können automatisiert werden? Welche Warnungen und Empfehlungen werden als sinnvoll erachtet?

Um ein Assistenzsystem für Schiffsmanöver zu entwickeln, können - bei allen Unterschieden – auch die Erfahrungen aus anderen Branchen wie der Automobilindustrie herangezogen werden. Welche Features können übernommen und welche müssen gänzlich neu entwickelt werden? Aus den systematisierten und klassifizierten Antworten auf diese Fragen wird sich ergeben, welche zusätzlichen Sensoren, Monitore und Algorithmen an Bord nötig sind oder optional zur Verfügung gestellt werden sollten, um die Seefahrt in Zukunft sicherer und effizienter zu gestalten.

## Bestandsaufnahme für die Bordausstattung

Für ein Manöverassistenzsystem müssen die Soll- und Ist-Werte der Steuerorgane, die zustandsbeschreibenden Daten für das Schiffsbewegungsmodell verfügbar sein. Sehr viele der Daten sind werden vom VDR-Recorder aufgezeichnet, welcher nach dem IMO Performance Standard (Res. A.861(20) - MSC.333 (90)) verpflichtend zu nutzen ist.

A.861(20) REF	DATA ITEM	SOURCE
5.4.1	Date & time	Preferably external to ship (e.g.GNSS)
5.4.2	Ship's position	Electronic Positioning system
5.4.3	Speed (through water or over ground)	Ship's SDME
5.4.4	Heading	Ship's compass
5.4.5	Bridge Audio	1 or more bridge microphones
5.4.6	Comms. Audio	VHF
5.4.7	Radar data- post display selection	Master radar display
5.4.8	Water depth	Echo Sounder
5.4.9	Main alarms	All mandatory alarms on bridge
5.4.10	Rudder order & response	Steering gear & autopilot
5.4.11	Engine order & response	Telegraphs, controls and thrusters
5.4.12	Hull openings status	All mandatory status information displayed on bridge
5.4.13	Watertight & fire door status	All mandatory status information displayed on bridge
5.4.14	Acceleration & hull stresses	Hull stress and response monitoring equipment where fitted
5.4.15	Wind speed & direction	Anemometer when fitted

Tabelle 1 Inhalte des VDR Systems

Nach der Betrachtung der Tabelle 1 kann festgestellt werden, dass die VDR-Daten alle notwendigen Messwerte für ein Manöverassistenzsystem liefern. Erst bei der Nutzung wird deutlich, dass die Datenqualität nicht hinreichend für ein Manöverassistenzsystem ist. Die Fehlmessungen haben verschiedene Ursachen die durch verschiedenste Algorithmen und/oder komplementären Messungen kompensiert werden müssen. Die Kompensation dient nicht nur der flüssigen Darstellung des Bahnvorhersageergebnisses im Assistenzsystem, sondern auch dem Parametertuning des Schiffsbewegungsmodells. Je genauer und zuverlässiger die

physikalische Modellierung ist, umso besser wird die Unterstützungsleistung des Manöverassistenzsystem sein.

## **Messkonzept zur Entwicklung des Manöverassistenzsystems**

Wesentlich für die Messkonzeption war die dynamische Erfassung der rotatorischen und translatorischen Bewegungen des Schiffes um die drei Achsen (Längs-, Quer- und senkrechte Achse) aufgrund von Änderungen in den kommandierten Stellgrößen. Die Umweltbedingungen konnten weitgehend vernachlässigt werden, da ruhige See und geringe Windstärken für das Basismodell vorausgesetzt wurden. Die klassisch an Bord gemessenen Umweltparameter und Maschinendaten wurden über den VDR (Voyage Data Recorder) geloggt. Zur Entwicklung eines Schiffsmodells als Basis für das Manöverassistenzsystem wurde die an Bord bereits vorhandenen Sensorik zunächst mit zwei weiteren Sensoren ergänzt.

Zum einen handelt es sich dabei um den GNSS-Empfänger AsteRx3 HDC, der präzisere Positionsdaten liefert, die auf der Auswertung der verfügbaren Satellitensysteme wie GPS und GALILEO aber auch der Referenzsignale aus dem SEA GATE beruhen. Bei einer Angabe der Position in Grad stehen hier acht Nachkommastellen zur Verfügung, die Distanzmessungen im Zentimeterbereich sichern. Aus diesen Positionsdaten können deshalb ebenfalls genauere Werte zu den Geschwindigkeiten (z.B. SOG) berechnet werden, die die Grundlage für die Genauigkeit des Schiffmodells liefern.

Zum andern wird ein Crossbow AHRS440 (Attitude & Heading Reference System) eingesetzt, der ein temperaturstabilisiertes Sensorcluster mit einem 6-DOF MEMS basierten Intertialsensor (3 Achsen zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit und 3 Achsen zur Bestimmung der linearen Beschleunigungen) mit einem inertialen Magnetometer kombiniert, das ebenfalls in drei Achsen die Winkel Roll, Pitch und Yaw (Heading) dynamisch bestimmt. Dieser Sensor verfügt über einen Kalman-Filter, der außerdem durch ein externes GPS-Signal gestützt werden kann. Für die hier vorgestellte Messanordnung wurde er mit dem oben genannten AsteRx3 gekoppelt, so dass die geografischen Positionen im GGA-NMEA-Format und die Geschwindigkeiten (NED) ebenfalls über diesen Sensor protokolliert werden.

An Bord wird die GNSS-Antenne auf dem Antennendeck befestigt. Das weitere Equipment wird Indoor auf der Brücke aufgebaut. Die zwei Sensoren benötigen eine Eingangsspannung von 24V, die ein Netzteil liefert. Der Crossbow AHRS440 muss nach dem Anschließen zunächst magnetisch für das Umfeld kalibriert werden, bevor der Sensor geometrisch an Schiffswand ausgerichtet und fixiert wird. Zur Analyse der Messdaten muss die Position der der Sensoren relativ zum Masseschwerpunkt und den drei Drehachsen anhand der Konstruktionszeichnung bekannt sein. Nach der Fixierung erfolgt die Kopplung mit dem GNSS-Gerät. Die Daten des Crossbow AHRS440 werden über MATLAB Simulink bzw. für den AsteRx3 mit der sensorspezifischen Software mittels Laptop aufgezeichnet. In beiden Datensätzen ist die UTC (Koordinierte Weltzeit) enthalten, die als Synchronisationsbasis dient. Die Messungen fokussierten sich auf die Manöverfahrten und somit auf das Ein- und Auslaufen sowie das Docking. Aus den erhaltenen Daten kann das Bewegungsmodell des Schiffes bei

signifikantem Änderung der kommandierten Werte der Antriebs- und Stellorgane und den daraus resultierenden Geschwindigkeits- oder Kursänderungen berechnet werden.



Abbildung 2: Messanordnung an Bord mit Crossbow AHRS440 und AsteRx3 (a), der GNSS-Antenne auf Deck (b) sowie Netzteil/ Laptop

## Erste Ergebnisse

In erster Instanz wurden Verfügbarkeit und Genauigkeit von klassischer und ergänzender Sensorik validiert und verglichen. In Abbildung 3 ist ein Ausschnitt der Positionsplots verschiedener Sensoren dargestellt. Es handelt sich dabei um ein Manöver zum Anlegen an der Pier, so dass mit sehr kleinen Geschwindigkeiten gefahren wird und verschiedenste Antriebs- und Stellaggregate zum Einsatz kommen. Es wird deutlich, dass die vom VDR aufgezeichneten Daten (violett) sowohl durch die Taktung mit einer 1 s als auch die Reduktion der Nachkommastellen (4 Dezimalgrad) nur eine unzureichende Genauigkeit aufweisen, die zu Abweichungen von mehreren Metern führen. In dem ausgewählten Ausschnitt sind die Signale und deren Auflösung der ergänzenden Sensoren während der Messkampagne zu sehen. Der AHRS440 (blau) arbeitet mit dem vollständigen NMEA-Standard, der mit 4 Nachkommastellen für die Dezimalminuten angegeben wird. Das GPS-Signal des AsteRx3 (rot) liefert aufgrund der Abtastung mit 1 ms und einer Auflösung der Position mit 8 Byte Angaben im Millimeterbereich.

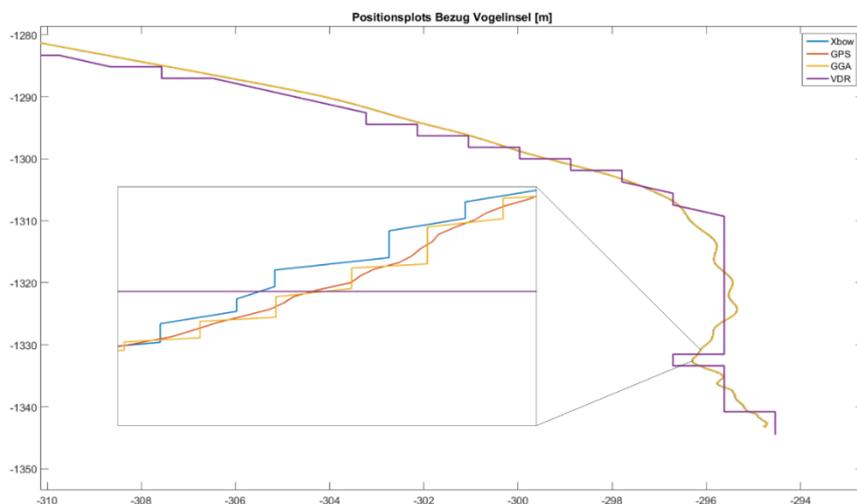


Abbildung 3: Ausschnitt eines Positionsplots von den Sensoren AHRS440 (Xbow), AsteRx3 (GPS), GPS im GGA-Format sowie der VDR-Positionsdaten

Beispielhaft wird in Abbildung 4 gezeigt, wie die Messdaten des AHRS440 für die Modellierung verwendet werden können. Im oberen Plot sind die Stellgrößen für die Azimut-Propeller und die Bow-Thruster dargestellt, wie sie bei einem Anlegemanöver eingesetzt wurden. Der untere Plot zeigt die mit dem AHRS440 gemessenen Beschleunigungen in x- und y- Richtung sowie den Roll und den Pitch-Winkel. Bei ca. 1500 s werden erstmalig die Bow-Thruster (BT, grün) mit ca. 70% der Drehzahl aktiviert, was im unteren Plot zu einem deutlichen Ausschlag sowohl in der Beschleunigung in Querrichtung (ay, rot) als auch des Rollwinkels (roll, 100-fach verstärkt, gelb) führt. Mit den durch die Antriebs- und Stellorgane induzierten Kräften und Momenten kann entsprechend der dynamischen Bewegungsgleichungen das Modell des Schiffes parametrisiert werden.

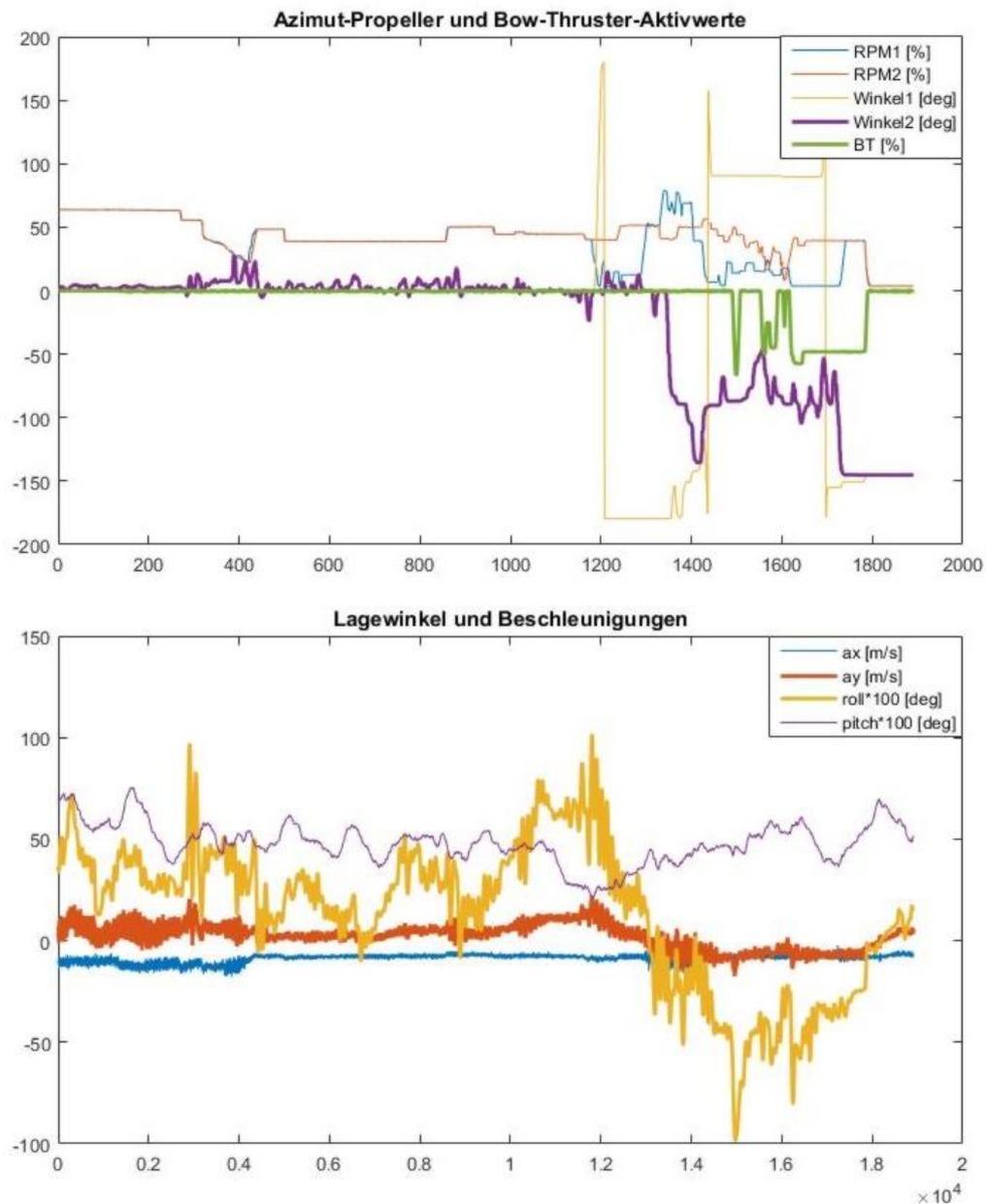


Abbildung 4: Ausschnitt eines Positionsplots von den Sensoren AHRS440 (Xbow), AsteRx3 (GPS), GPS im GGA-Format sowie der VDR-Positionsdaten

## **Ausblick**

Die heutige Manöverdurchführung innerhalb des Hafens hängt in Sicherheit und Effektivität in erster Linie von den Erfahrungen des Offiziers ab, der das Fahrzeug auf Sicht führt. Parameter, die nicht direkt gemessen und angezeigt werden, unterliegen der Schätzung, die wiederum wesentlich durch die Umweltbedingungen beeinflusst werden. Bei guter Sicht und moderater Wetterlage werden für dieses Handling keine zentimetergenauen Positionsangaben benötigt. Unter nichtvorhergesehenen Umständen, bei rauer See oder eingeschränkter Sicht, kann das sichere Manövrieren nicht mehr gewährleistet werden. Hier können Assistenzsysteme die nautischen Offiziere unterstützen, die durch genaue Positionslösungen und ein Modell des Schiffes die zukünftige Bewegung des Schiffes präzisieren oder Warnungen und Empfehlungen geben, die den Stellhorizont der Schiffsmaschine berücksichtigen.

Im Verbundprojekt *GALILEOnautic* wird von der HS-Wismar neben anderen Aufgabenstellungen basierend auf den umfangreichen Messdaten ein möglichst vollständiges Dynamikmodell entwickelt, welches insbesondere der Sensordatenfusion und damit einem genaueren Manöverassistenzsystem mittels Bahnvorhersage dient. In die Konzeption eines Assistenzsystems muss ebenfalls einfließen, wie diese Informationen kompakt und leicht erfassbar dargestellt werden können. Aus diesem Grund soll durch eine Umfrage unter nautischen Offizieren erfasst werden, welche Anzeigen und Monitore während des Manövrierens bevorzugt verwendet bzw. wo, welche zusätzliche Informationen anzuzeigen sind.

## **Literatur**

- [1] FIELDS, C., *Safety and Shipping 1912-2012*, Allianz Global Corporate & Specialty, Hamburg, 2012