

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

Dipl.-Ing. (FH) Michael Hoppe

Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken, Koblenz

Dipl.-Ing. Rainer Streng

Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken, Koblenz

Kurzfassung

Die zuverlässige Bestimmung von Positions-, Navigations- und Zeitdaten (PNT) ist eine wesentliche Voraussetzung für die Sicherheit und Effizienz des Schiffsverkehrs, sowohl im maritimen Bereich als auch auf Binnenwasserstraßen. GNSS (und hier insbesondere GPS) ist zur wichtigsten Positionsdatenquelle für die See- und Binnenschifffahrt geworden. Die GNSS-Position wird sowohl für die Schiffsnavigation als auch als Grundlage von AIS-Positionsmeldungen verwendet. Die IMO (International Maritime Organisation) hat die zuverlässige und robuste Bereitstellung von PNT-Daten als eine Kernaufgabe im Zusammenhang mit ihrer e-Navigation Strategie identifiziert. Weiterhin wurde anerkannt, dass eine Reihe von technisch unterschiedlichen Systemen erforderlich sind, um die Zuverlässigkeit von PNT-Daten zu gewährleisten. Der kombinierte Einsatz von PNT-relevanten Sensoren (z.B. GNSS-Empfänger, DGNSS-Korrekturen, Multi-Radionavigationsempfänger) und weiterer Schiffssensorik (z.B. Gyro, RADAR etc.) schafft die notwendige Redundanz, um die Daten- und Systemintegrität zu gewährleisten und die Leistungsfähigkeit der bereitgestellten PNT-Daten zu verbessern.

Wegen der Anfälligkeit von GNSS für absichtliche (Jamming und Spoofing) oder unabsichtliche Störungen (z.B. extreme Sonnenaktivitäten) kann es zum Verlust der Positionsinformation oder auch zu falschen Positionsberechnungen kommen. Daher werden international derzeit weitere Möglichkeiten zur Bereitstellung von PNT-Daten untersucht und entwickelt. Ein Vorschlag, der derzeit international diskutiert wird, ist der R-Mode, oder Ranging Mode. Dieser Ansatz basiert auf der Möglichkeit, bestehende Funksysteme (MW-DGNSS, AIS, eLoran, etc.) als terrestrische, GNSS unabhängige Navigationssysteme verwenden zu können. Erste Studien, Entwicklungen und Untersuchungen wurden im Rahmen eines transnationalen EU-Projekts namens ACCSEAS (Accessibility for Shipping, Efficiency, Advantages and Sustainability) durchgeführt (2012-2015). Ein aktuelles Folgeprojekt (R-Mode Baltic) wurde in 10/2017 gestartet, mit dem Ziel, ein transnationales Testgebiet in der Ostsee zu errichten und die Weiterentwicklung von R-Mode (Land-

und Bordseite) im praktischen Betrieb weiter erproben zu können.

Der vorliegende Bericht beschreibt die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Funknavigationssysteme für die See- und Binnenschifffahrt. Diese Systeme umfassen nutzbare GNSS-Konstellationen, terrestrische Funknavigationssysteme (z.B. R-Mode) sowie den integrierenden Aspekt zur Bereitstellung von zuverlässigen PNT-Daten für sicherheitsrelevante Anwendungen.

1 Einführung

Die Satellitennavigation besitzt eine immer wichtiger werdende Rolle im Bereich der Navigation der Schifffahrt. Dies gilt für maritime Anwendungen an der Küste genauso wie auch für neue Telematikanwendungen im Bereich der Binnenwasserstraßen. Die genaue Kenntnis der eigenen Position zu jedem Zeitpunkt ist Voraussetzung für eine sichere und effiziente Schiffsführung. Hierbei ist eine immer größer werdende Abhängigkeit von elektronisch ermittelten Positions-, Geschwindigkeits- und Zeitdaten an Bord von Schiffen festzustellen. Fast ausschließlich auf Satellitennavigation basierende Funknavigations-Empfänger ermitteln die Positi-

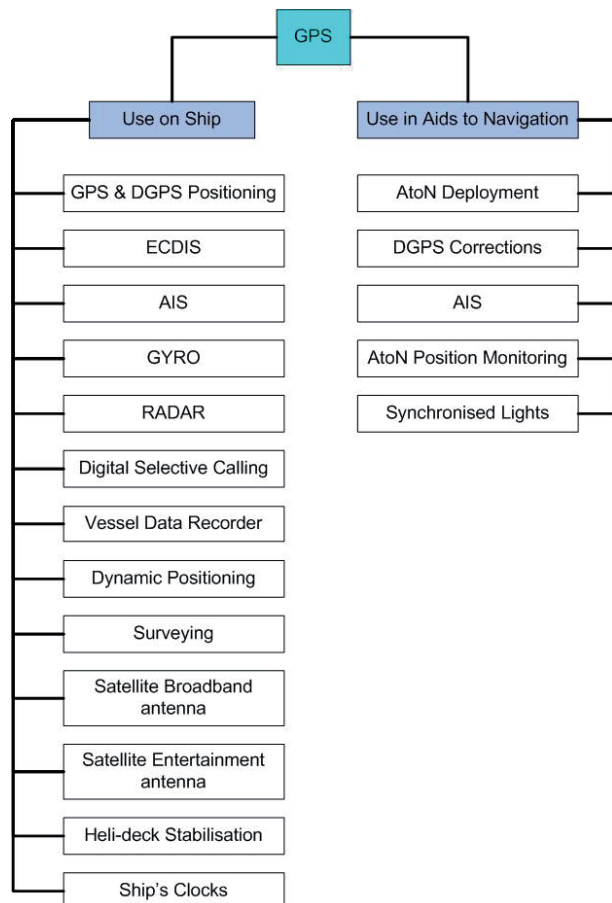


Abbildung 1: Verwendung der elektronisch ermittelten Position (zumeist GPS) an Bord von Schiffen

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

on, Geschwindigkeit, Zeit und Kurs (PNT-Daten) eines Schiffes. Positionsempfänger können nur Positions-, Geschwindigkeits- und Zeitdaten bereitstellen (PVT-Daten). Die Anforderungen in der Schifffahrt beinhalten jedoch auch Navigationsdaten wie z.B. die Schiffsvorausrichtung (Heading). Diese Daten werden dann allgemein als PNT-Daten bezeichnet. Diese Informationen werden sowohl für die eigene Navigation verwendet, als auch an eine Vielzahl anderer Bordsysteme wie Electronic Chart Display and Information System (ECDIS), Automatic Radar Plotting Aid (ARPA) und automatische Bahnführungssysteme weitergeleitet). Darüber hinaus werden die an Bord ermittelten Navigationsdaten auch mittels Automatic Identification System (AIS) an die umgebende Schifffahrt und landseitigen Verkehrserfassungssysteme ausgesendet (**Abbildung 1**). Die Anforderungen an die Genauigkeit, Verfügbarkeit, Kontinuität und Integrität der ermittelten Position steigen mit der Größe des Schiffes in Relation zum Fahrwasser, mit dem Tiefgang des Schiffes, insbesondere in tide-abhängigen Fahrwassern, sowie mit der Geschwindigkeit des Schiffes.

2 GNSS und DGNSS in der maritimen Schifffahrt

Gegenwärtig basiert die Positionsbestimmung zu meist auf dem amerikanischen Global Positioning System (GPS). Dieses System ermöglicht die Nutzung von bis zu 32 global verteilten Satelliten, welche zivil verfügbare Signale auf der L1 Frequenz (1575,42 MHz) abstrahlen. Nach der Abschaltung der künstlichen Verschlechterung der GPS-Signale im Jahr 2000 kann GPS derzeit mit einer horizontalen Genauigkeit von etwa 10-15 m genutzt werden (DoD 2008). Auch Russland betreibt ein eigenes Satellitennavigationsystem mit dem Namen GLONASS, welches derzeit jedoch nur wenig in der Schifffahrt genutzt wird. Da GPS und GLONASS die Anforderungen an die Positionsgenauigkeit, Verfügbarkeit, Kontinuität und insbesondere an die Integrität derzeit nicht erfüllen, werden für die Schifffahrt weitere Unterstützungssysteme wie z.B. Differential-GPS (DGPS) verwendet. Als landgestütztes Navigationssystem betreiben im maritimen Bereich einige wenige Länder das Funknavigationssystem Loran-C. Dieses System wird derzeit jedoch nur noch selten für die Navigation in der all-

Fig. 4: Sensors, services, and sources
Proposal NCSR4 - 1

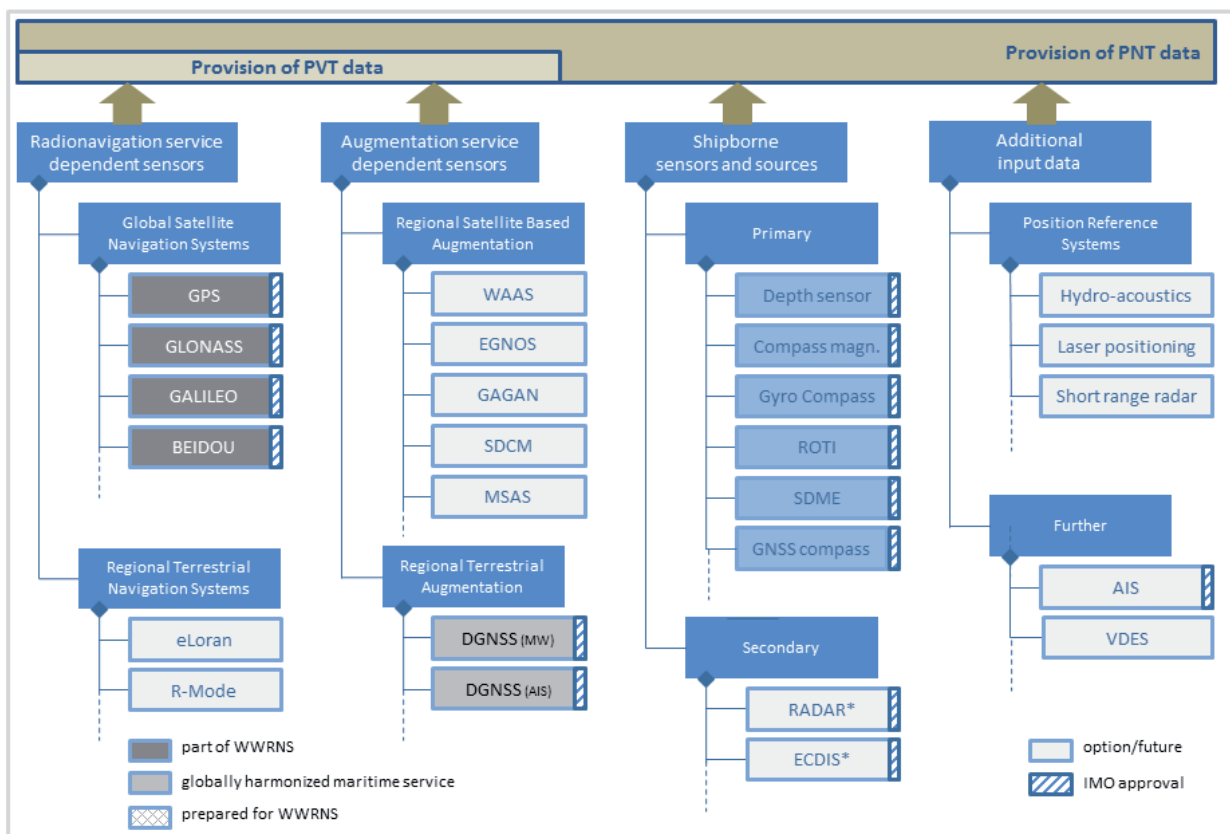


Abbildung 2: Systeme, Dienste und Sensoren in der Schifffahrt (IMO 2016)

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

gemeinen Seeschifffahrt verwendet. Grund hierfür sind schlechtere absolute Positionsgenauigkeiten, eingeschränkte geographische Verfügbarkeit und die Tatsache, dass moderne Empfänger erst seit kurzer Zeit verfügbar sind. Die Verwendung eines von GNSS unabhängigen terrestrischen Funknavigationssystems wird international jedoch intensiv diskutiert. Grund hierfür ist die relativ einfache Störbarkeit der empfindlichen GNSS-Signale.

2.1 Systeme, Dienste und Sensoren

Bedingt durch die zunehmende Abhängigkeit von einer elektronisch ermittelten Position an Bord der Schiffe (siehe Abbildung 1) steigt der Bedarf an einer „sicheren Position“. Zur Gewährleistung einer sicheren Position hat die International Maritime Organisation (IMO) operationelle Anforderungen für die Bordseite und für die Systembetreiber von Funknavigationssystemen festgelegt (IMO 2001). Eine sichere Position wird erreicht durch:

- Erfüllung der operationellen Nutzeranforderungen der IMO A.915(22) an die Bordseite hinsichtlich Genauigkeit, Verfügbarkeit, Kontinuität und Integrität.
- Verwendung von Funknavigationssystemen, welche von der IMO als Bestandteil eines World-Wide Radionavigation System (WWRNS) anerkannt worden sind.
- Verwendung von international standardisierten Funkübertragungsverfahren.

Funknavigationssysteme, die als eine Komponente des WWRNS anerkannt werden, müssen die Anforderungen der IMO erfüllen (IMO 2011). Die derzeitigen und zukünftigen Systeme, welche als Komponente eines WWRNS im maritimen Bereich zur Ermittlung einer sicheren Position verwendet werden könnten, sind in **Abbildung 2** dargestellt. Ebenfalls enthält die Darstellung eine Übersicht

über die in der maritimen Schifffahrt verwendeten Sensoren, die einen Beitrag zur Bestimmung von PNT-Daten liefern können.

Mittlerweile sind die Satellitennavigationssysteme GPS, GLONASS, Galileo und Beidou als Komponenten eines WWRNS anerkannt. In der Praxis findet man derzeit jedoch fast nur GPS oder kombinierte GPS/GLONASS-Empfänger an Bord von Schiffen.

Bei den landgestützten Augmentierungssystemen zur Übertragung von GNSS Korrekturdaten und Integritätsinformationen ist das DGNS über Mittelwelle (MW) der zurzeit anerkannte maritime Standard. Ebenfalls existieren auch für die DGNS-Korrekturdatenübertragung über AIS entsprechende maritime Standards. Beide Systeme erfüllen somit grundsätzlich die Anforderungen, um zukünftig als Komponente des WWRNS anerkannt werden zu können. Die Betreiber von EGNOS arbeiten derzeit an einer Anerkennung als WWRNS sowie an den erforderlichen maritimen Leistungsstandards um eine zukünftige Verwendung von EGNOS-Empfängern an Bord von Schiffen zu ermöglichen.

2.2 Maritime Anforderungen

Die International Maritime Organisation (IMO) definiert operationelle Anforderungen an die Betreiber von Funknavigationssystemen. Um den Status eines von der IMO anerkannten weltweiten Funknavigationssystems (WWRNS) zu erhalten, muss das Navigationssystem die operationellen Anforderungen der IMO gemäß IMO Resolution A.1046(27) erfüllen (IMO 2011). In dieser Resolution klassifiziert die IMO drei Typen von Seegebieten, die sich mit Hinblick auf die operationellen Anforderungen unterscheiden (siehe **Tabelle 1**). Darüber hinaus formuliert die IMO in ihrer Resolution A.915(22) minimale operationelle Anforderungen an die Bordseite mit Hinblick auf die allgemeine Navigation (siehe **Tabelle 2**).

Navigation Area	Absolute horizontal Accuracy	Signal Availability	Continuity	Integrity warning of system malfunction	Position Update Rate
Navigation In Ocean Waters	≤100 m (95%)	>99.8%	-	as soon as practicable	2 s
Navigation In Harbour Entrances, Harbour Approaches And Coastal Waters	≤10 m (95%)	>99.8% (2 Jahre)	≥99.97% (15 Minuten)	< 10 s	2 s

Tabelle 1: Operationelle Anforderungen gemäß (IMO 2011) für den Maritimen Bereich

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

Navigation Phase	System level parameters				Service level parameters			
	Genauigkeit	Integrität			Verfügbarkeit (a 30 Tage)	Kontinuität (15 Min.)	Abdeckung	Intervall
	horizontal	Alarmierungsgrenze	Alarmierungszeit	Integritätsrisiko (a 3 Std.)				
Offene See	10 m	25 m	10 s	10-5	99,8 %	k.A.	Global	1 s
Küstenbereich	10 m	25 m	10 s	10-5	99,8 %	k.A.	Global	1 s
Hafenzufahrt und eingeschränkte Seegebiete	10 m	25 m	10 s	10-5	99,8 %	99,97 %	Regional	1 s
Hafen	1 m	2,5 m	10 s	10-5	99,8 %	99,97 %	Lokal	1 s
Binnenwasserstraßen	10 m	25 m	10 s	10-5	99,8 %	99,97 %	Regional	1 s

Tabelle 2 : Minimale operationelle Anforderungen an die Bordseite mit Hinblick auf die allgemeine Navigation (IMO 2001)

2.3 R-Mode als potentielles Ersatzsystem zu GNSS

Die zunehmende Abhängigkeit von der Satellitennavigation wirft immer wieder die Frage auf, ob für sicherheitsrelevante navigatorische Anwendungen Ersatzsysteme erforderlich sind. Wie bereits beschrieben, basiert gegenwärtig die Positionsbestimmung zumeist auf Satellitennavigationssystemen wie dem amerikanischen GPS und dem russischen GLONASS. Zukünftig werden weitere Satellitennavigationssysteme nutzbar sein (Galileo und Beidou), welche die Anzahl der zur Verfügung stehenden Satelliten weiter erhöhen wird. Alle Satellitensysteme (GNSS) verwenden dabei ähnliche Signalstrukturen, Sendefrequenzen und Leistungen. Die Anfälligkeit und Störbarkeit von GNSS wurde ausführlich im Volpe Report analysiert und bewertet (Volpe 2001). Als Ergebnis wurde empfohlen, dass für sicherheitskritische Anwendungen ein Ersatzsystem vorgehalten werden sollte. Ebenfalls hat die IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) in Ihrer Empfehlung R-129 auf das Problem der GNSS-Anfälligkeit hingewiesen und empfiehlt die Verwendung von terrestrischen Ersatzsystemen für sicherheitskritische Anwendungen (IALA 2007). Auch die Weltschifffahrtsbehörde IMO erarbeitet gegenwärtig eine umfassende Strategie für die e-Navigation. Die IMO hatte ebenfalls die Notwendigkeit eines GNSS-unabhängigen, terrestrischen Funknavigationsverfahrens anerkannt (IMO 2007). In einem Eingangspapier zum IALA e-Navigation Committee hat die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) vorgeschlagen, die bereits

global vorhandenen Verfahren der MW-DGNSS-Korrekturwertaussendung und das AIS jeweils um eine so genannte Ranging-Mode-Komponente (R-Mode), basierend auf präzisen GNSS unabhängigen Zeitsignalen, zu ergänzen (Oltmann und Hoppe 2008). Diese Systemidee wird international unterstützt und eine entsprechende Weiterentwicklung der Systemidee befürwortet. Um eine möglichst große Akzeptanz auch im internationalen Rahmen für diesen Systemvorschlag zu erhalten, wurde die Entwicklung des R-Mode für MW-DGPS und AIS im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes ACCSEAS (Accessibility for Shipping, Efficiency, Advantages and Sustainability) durchgeführt. Eines der wesentlichen Arbeitspakete seitens der WSV war hierbei die Durchführung einer Machbarkeitsstudie zum R-Mode, in der wesentliche Grundlagen für die Entwicklung und Erprobung des R-Modus unter Verwendung von Aussendungen über MW-DGPS und AIS entwickelt wurden. Desweiteren konnte ein erstes Verfahren, auf der Basis von MW-R-Mode-Aussendungen, in einem Testpiloten erfolgreich validiert werden. Die Studie wurde in drei Teilbereiche aufgeteilt, um jeweils die Möglichkeiten der Aussendungen über MW und AIS sowie deren Kombination getrennt zu untersuchen.

2.3.1 Das ACCSEAS-Projekt

Im europäischen Verbundprojekt ACCSEAS (2011-2015) wurde die Systemidee des R-Mode-Verfahrens im Rahmen einer Machbarkeitsstudie vertiefend untersucht und erstmalig in einem Testgebiet erprobt.

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

Die ACCSEAS Machbarkeitsstudie wurde in die folgenden Teilaspekte unterteilt:

- Teil 1 und 2 untersuchten das R-Mode Verfahren basierend auf dem MW-DGNSS Signal (Johnson et al 2014); die für dieses Verfahren empfohlene Methode ist es, CW-Signale in das DGNSS-Signalspektrum zu mischen und den Pseudorange aus der Trägerphase zu entwickeln.
- Teil 3 und 4 untersuchten das R-Mode Potential des AIS Signals (Johnson et al 2014); der empfohlene Ansatz hier ist es, den Pseudorange aus den Bitübergängen zu schätzen. Dies erfordert keine Änderung der vorhandenen Signalstruktur.
- Teil 5 untersuchte die Kombination von unterschiedlichen R-Mode Verfahren (MW, AIS und eLoran), (Johnson et al 2014).

Das Projekt ACCSEAS wurde 2015 abgeschlossen. Die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse sind unter [www.accseas.eu] verfügbar.

2.3.2 R-Mode via MW-DGNSS

Die in der Studie empfohlene Lösung für Aussendungen über die MW ist eine Variante, welche das existierende MSK-Signal mit CW-Signalen überlagert. Die TOA-Performance (TOA = Time of Arrival) wird über Trägerphasenmessungen der CW-Signale erreicht, deren Mehrdeutigkeiten z.B. über die Aussendung bekannter Meldungen bestimmt werden können. Die Streckenmessgenauigkeit wird ebenfalls von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die in der Studie untersucht wurden (Johnson und Swaszek, Part II 2014). Zu den Einflussgrößen zählen die Stabilität der Synchronisation, die Interferenz durch das von der Ionosphäre reflektierte Signal (Raumwelle), Unterschiede in der Bodenwellenausbreitung, Interferenzen von anderen DGNSS-Stationen auf derselben Sendefrequenz und die Geometrie der sendenden MW-DGNSS-Stationen. In der durchgeführten Analyse zur erreichbaren Positionsgenauigkeit wurde angenommen, dass eine Zeitstabilität im Bereich von einer Nanosekunde (ns) und eine Zeitsynchronisation von 50-100 ns zu einer gemeinsamen Zeitreferenz wie UTC erzielbar sind. Die Raumwelle hat einen großen Einfluss auf die Positionierungsgenauigkeit, so dass separate Ergebnisse für den Tag und die Nacht ausgewiesen wurden (Abbildung 3). Zusammenfassend kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass R-Mode-Aussendungen über MW-DGNSS ein großes Potential für ein zukünftiges terrestrisches und GNSS-unabhängiges Navigationssystem aufweisen. Die Studie enthält ebenfalls Hinweise für die Realisierung einer Testumgebung zur Durchführung von realen

Messungen. Hierfür wurden Konzeptvorschläge für die Entwicklung von sende- und empfangsseitigen R-Mode-Komponenten erarbeitet. Erste praktische Messungen zu einfachen Entfernungsmessungen konnten die theoretischen Annahmen und Berechnungen validieren.

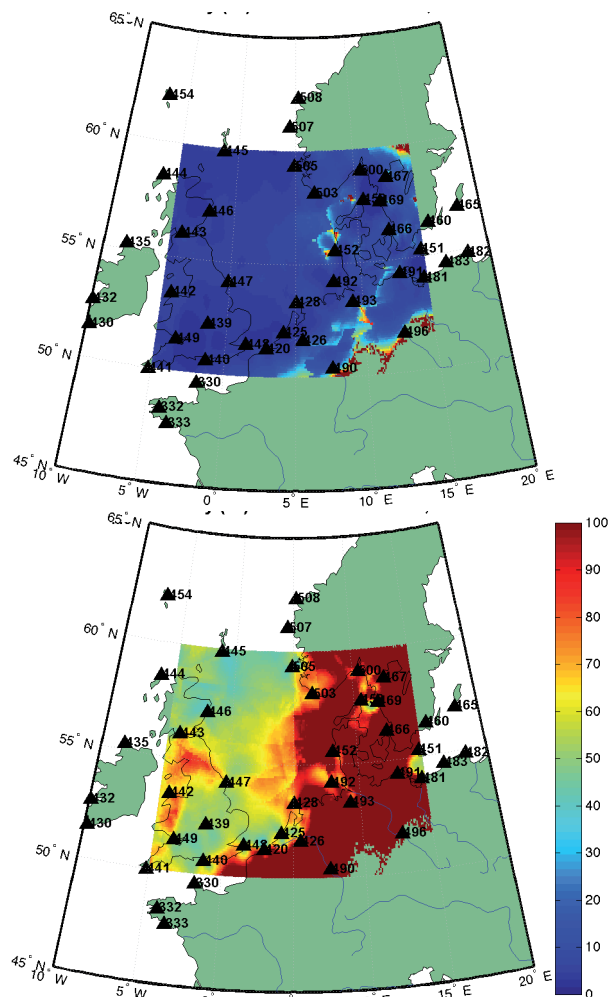


Abbildung 3: Prädizierte R-Mode Positionierungsgenauigkeit in der Nordsee tagsüber (oben) und nachts (unten) in Meter (Skala 0-100m), (Johnson und Swaszek, Part II 2014)

2.3.3 R-Mode via Automatic Identification System (AIS)

Im Rahmen der in ACCSEAS durchgeführten Machbarkeitsstudie wurde ebenfalls die Nutzung von Aussendungen mittels AIS im VHF-Seefunkband (156.025 - 162.025 MHz) untersucht. Hierbei wird bei AIS bereits ein synchronisiertes Zeitschlitzverfahren (TDMA) verwendet. In der Studie wurden mehrere Methoden zur Verwendung von AIS untersucht (Johnson und Swaszek, Part IV 2014). Als geeignetste Methode wurde eine Verwendung des bestehenden AIS-Standards mit dezidierten Nachrichteninhalten bewertet. Sie basiert darauf, dass ein AIS-Empfänger sowohl die Zeiten der Bitüber-

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

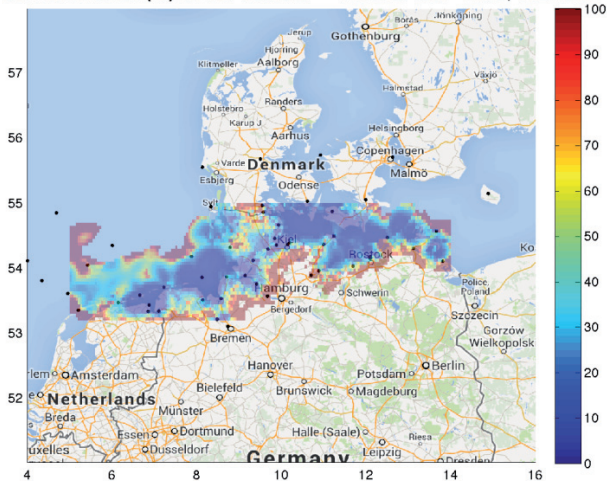


Abbildung 4: Vorhersage der Positionsgenauigkeit (m) mittels AIS-Signal. (Johnson und Swaszek, Part IV 2014)

gänge als auch die Trägerphase aller verfügbaren AIS-Basisstationssignale ermitteln. Hierbei ist die Aussendung von bekannten Dateninhalten (z.B. vom Typ 4 oder 8) notwendig. Diese können zeitlich und inhaltlich vorhergesagt werden, wodurch störende Signalzufälligkeiten minimiert werden können. Insbesondere die Aussendung von Nachrichten des Typs 8 (binäre Datenaussendung) ermöglicht längere und häufigere Übertragungen mit fester Struktur.

Bei der Nutzung als Kommunikationskanal muss ein AIS-R-Mode-Empfänger in der Lage sein, das Sendesignal mit hoher Genauigkeit zu demodulieren. Abbildung 4 zeigt die erreichbare Positionsgenauigkeit bei Verwendung von Messungen der AIS-Bitübergänge. Hierbei wurden nur AIS-Basisstationen mit einer Signalstärke > -117 dBm und einer Maximaldistanz von 75 km zwischen Sender und Empfänger genutzt. Desweiteren wurde eine Übertragung von Typ 8 Meldungen mit insgesamt 1280 Bit zu Grunde gelegt. Zusammenfassend kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass die Verwendung des vorhandenen und standardisierten AIS-Signals mit der Methode der Messung von Bitübergängen gute Genauigkeiten im küstennahen Bereich bereitstellen kann. Somit können R-Mode-Aussendungen via AIS ebenfalls einen wichtigen Beitrag für die Bereitstellung eines zukünftigen terrestrischen und GNSS-unabhängigem Navigationssystems leisten. Praktische Messungen zu dieser Methode konnten bisher noch nicht durchgeführt werden.

2.3.4 Kombination verschiedener R-Mode-Aussendungen

In diesem Teil der Studie wurde die Kombination von MW-DGNSS, AIS als auch die Verwendung von eLoran untersucht. Wesentliches Ziel dieses Ansatzes ist die Verbesserung der Positionslösungen

durch die Kombination von R-Mode-Signalen. Dieses Prinzip wird auch als SoOP (Signals of Opportunity) bezeichnet. Im Hinblick auf dieses Ziel wird das Konzept eines "All-in-View"-Empfängers beschrieben, welcher die Signale von zwei oder mehr R-Mode Quellen kombiniert. Eine weitere wichtige Betrachtung ergibt sich, wenn auch die Schiffsverkehrsdichte mit einbezogen wird. Die Leistungsfähigkeit eines zukünftigen GNSS-Backup-Dienstes ist in solchen Regionen am kritischsten, in denen eine hohe Verkehrsdichte besteht. Abbildung 5 zeigt zur Veranschaulichung dieses Sachverhalts die vorhergesagte Genauigkeit unter Verwendung der R-Mode Systeme MW-DGNSS, AIS sowie einer eLoran-Station auf Sylt. Aufgrund der großen Anzahl an AIS- und MW-DGNSS-Stationen in Bereichen mit hoher Verkehrsdichte kann eine Bereitstellung des R-Mode mit hoher Genauigkeit in diesen Gebieten erreicht werden.

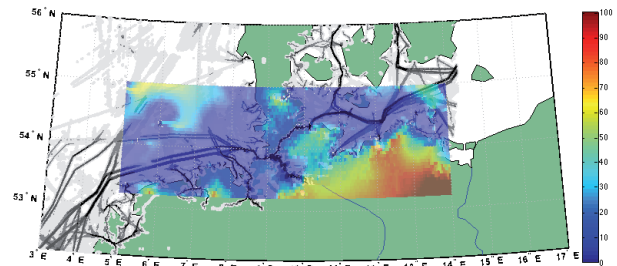


Abbildung 5: R-Mode-Genauigkeit über der Schifffahrts-Verkehrsdichte. Schifffahrtsdichte in Graustufen (je dunkler desto mehr Verkehr), (Johnson und Swaszek, Part V 2014)

3 Entwicklungen in der Binnenschifffahrt

In den letzten Jahren ist ein zunehmendes Interesse an einer effektiveren Nutzung der Binnenwasserstraßen festzustellen. Dieses resultiert in einer Vielzahl neuer Entwicklungen und Systemen rund um die Wasserstraßen. Systeme in diesem Zusammenhang werden allgemein unter dem Schlagwort RIS (River Information Services) geführt. Eine grundlegende Verbesserung der technischen Ausrüstung in der Binnenschifffahrt ergab sich insbesondere durch die Entwicklung, Standardisierung und Einführung der elektronischen Flusskarte „Inland ECDIS“. Weiterhin hat die Entwicklung von AIS sich als ein nützliches Werkzeug zum Austausch von navigatorischen Daten zwischen verschiedenen Schiffen bzw. zwischen Schiffen und Verkehrszentralen erwiesen. Eine bedeutende Grundlage zur Anwendung solcher neuen telematischen Systeme ist die Nutzung von GNSS und entsprechender Differentialsysteme (DGNSS), welche die notwendige Genauigkeit und Integrität für die Telematiksysteme zur Verfügung stellen (Hoppe, 2006). Neben den bereits etablierten telematischen Anwendungen, wie es die Inland-ECDIS im Navigationsmodus bzw. die Aussendung

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

der eigenen Schiffsposition über AIS darstellen, werden in verschiedenen europäischen Projekten weitere zukünftige Anwendungen in sicherheitsnavigatorischen Bereichen erprobt und untersucht (z.B. Forschungsprojekt LAESSI). Solche Anwendungen sind z.B. Kollisionsverhütungssysteme, automatische Bahnführungssysteme, Brückenanfahrwarnsysteme und Anlegeassistenten. Eine zuverlässige, sichere und präzise Positionsbestimmung sowie die Möglichkeit die eigene Schiffsvorausrichtung (Heading) bestimmen zu können ist für die gegenwärtigen und zukünftigen telematischen Anwendungen von großer Bedeutung.

3.1 Ausrüstungs- und Anforderungssituation

3.1.1 Inland ECDIS

Wie bereits erwähnt, war eine wesentliche Verbesserung die Entwicklung und Einführung der Inland ECDIS und des entsprechenden Standards, der mit dem bestehenden maritimen ECDIS kompatibel ist. Beim Einsatz der Inland-ECDIS im "Navigationsmodus" wird die genaue Position des Schiffes in Bezug zur Fahrwasserbegrenzung angezeigt. Die Entwicklung des Inland-ECDIS-Standards basiert auf der Idee, Tiefeninformationen in einer elektronischen Karte bereitzustellen (Krajewski et al. 2002). Innerhalb des Standards werden zwei Arten von Anwendungen beschrieben:

- Informationsmodus
- Navigationsmodus

Im Informationsmodus wird die elektronische Karte ohne das überlagerte Radarbild dargestellt. Der Schiffsführer kann diesen Modus nutzen, um generelle Informationen über die Wasserstraße zu erhalten oder um eine Fahrtroute vorzubereiten. Der Informationsmodus stellt sehr geringe Anforderungen an Positionsgenauigkeit, Verfügbarkeit und



Abbildung 6: Inland ECDIS im Informationsmodus

Integrität. Daher reicht der Einsatz eines einfachen GPS-Empfängers aus, um die Karte auf einem handelsüblichen Rechner zu positionieren. **Abbildung 6** zeigt eine Inlands-ECDIS-Karte im Informationsmodus. Der Informationsmodus darf nicht für Navigationszwecke verwendet werden.

Bei Verwendung des Inland ECDIS im Navigationsmodus wird das Radarbild der ECDIS-Karte überlagert (siehe **Abbildung 7**). Im Navigationsmodus werden entsprechend hohe Anforderungen an das Positionierungssystem hinsichtlich Genauigkeit, Verfügbarkeit, Kontinuität und Integrität gestellt.

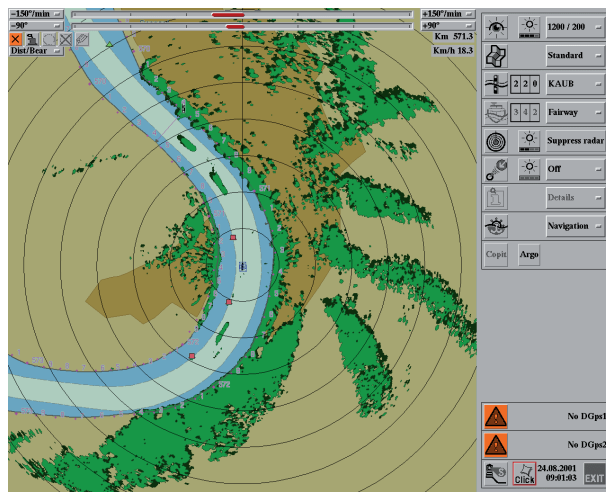


Abbildung 7: Inland ECDIS im Navigationsmodus mit überlagertem Radarbild

3.1.2 Inland-AIS

Das Automatic Identification System (AIS) ist ein Datenfunksystem, das statische, dynamische und reisebezogene Schiffsdaten zwischen Schiffen sowie zwischen Schiffen und Landstationen austauschen kann. Schiffsseitige AIS-Mobilgeräte übertragen in regelmäßigen Abständen die Identität, Position und andere Daten des Schiffes. Die umgebende Schifffahrt empfängt diese Meldungen und kann die Informationen auf einem geeigneten Display wie Radar oder Inland-ECDIS darstellen. Damit können andere Verkehrsteilnehmer lokalisiert, identifiziert und verfolgt werden (ZKR 2011). Der Inland-AIS-Standard wurde entwickelt, um die spezifischen Anforderungen der Binnen-schifffahrt zu erfüllen und gleichzeitig die volle Kompatibilität mit dem maritimen AIS (auf Basis der IMO-Anforderungen) zu gewährleisten.

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) hat mittlerweile ein AIS-Netz eingerichtet, welches sowohl die Küste als auch wichtige Binnenwasserstraßen wie Rhein, Mosel, Donau, Main und Main-Donau-Kanal abdeckt. Es ist geplant, diese Abdeckung in den nächsten Jahren

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

noch weiter auszubauen, um eine landesweite AIS-Landinfrastruktur entlang der meisten Binnenwasserstraßen zu ermöglichen. Darüber hinaus besteht eine Ausrüstungspflicht auf Rhein und Mosel seit 2015 (ZKR 2015). Diese ist 2017 auf alle Schiffe auf deutschen Binnenwasserstraßen ausgeweitet worden.

Die beschriebenen Anwendungen haben unterschiedliche Anforderungen in Bezug auf Positionsgenauigkeit, Verfügbarkeit, Kontinuität und Integrität, die in den entsprechenden Leistungsstandards für Inland-AIS (ZKR 2006) und Inland-ECDIS (ZKR 2003) aufgeführt sind (siehe **Tabelle 3**).

Application	Position accuracy [m]	Integrity
Inland ECDIS Navigation Mode	< 5 (absolute) < 5 (1 σ)	Detection on errors > 3 σ within 30 seconds
Information Mode	-	-
Inland AIS		
- Medium-term ahead	15-100	-
- Short-term ahead	10	-
- Lock/Bridge operation	1	-

Tabelle 3: Inland-ECDIS und Inland AIS Anforderungen an die Positionsgenauigkeit

Um die erforderliche Positionsgenauigkeit und Integrität für Inland-AIS und Inland-ECDIS im Navigationsmodus zu gewährleisten, hat die WSV in 2005

einen DGNSS-Dienst auf deutschen Binnenwasserstraßen eingerichtet (Hoppe et al 2006). Dieser Dienst basiert auf dem DGNSS-Dienst auf Basis des IALA Standards (IALA 2015). Dieser Dienst ermöglicht die Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit von 1-3 m, die geforderte Verfügbarkeit und die Aussendung von Integritätsinformationen um auftretende Systemfehler in weniger als 10 Sekunden an den Nutzerempfänger übermitteln zu können.

3.2 Zukünftige Entwicklungen

Neben den etablierten Anwendungen (wie oben beschrieben) werden in verschiedenen Forschungsprojekten neue Fahrerassistenzsysteme entwickelt, um die Sicherheit der Navigation weiter zu verbessern und die Basistechnologien für ein zukünftiges autonomes Binnenschiff zu erproben. Eines dieser Forschungsprojekte ist LAESSI (Leit- und Assistenzsysteme zur Erhöhung der Sicherheit der Schifffahrt auf Inlandwasserstraßen). Ziel des Projektes LAESSI ist es, den Schiffsführer bei seinen Navigationsaufgaben zu unterstützen und damit die Binnenschifffahrt sicherer und effizienter zu machen. Um dieses Ziel zu erreichen, nutzt LAESSI modernste GNSS-Navigationstechnologien, Nahbereichssensoren und neue Datenübertragungstechniken. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projektes werden effiziente Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt entwickelt. Im Einzelnen konzentriert sich das Projekt auf die Entwicklung folgender Fahrerassistenzfunktionen:

- Das Brückenanfahrsystem warnt die Schiffsführung, wenn das Schiff, das Steuerhaus oder der Radarmast nicht sicher eine Brücke passieren können. Eine solche Warnung muss mehrere hundert Meter vor Erreichen der Brücke erfolgen, um eine ausreichende Reaktionszeit zu gewährleisten.

	Brückenanfahrsystem	Automatische Bahnführung	Anlegeassistent	Conning Anzeige
Positions-Genauigkeit [cm]	20	30	10	20
Höhen Genauigkeit [cm]	10	not relevant	not relevant	not relevant
Heading Genauigkeit [°]	0,3	0,17	0,07	0,1
Integritäts-Risiko	10 10^{-5} / 2 min 30 10^{-5} / 8 min	0,55 10^{-5} / 3 h	18 10^{-5} / 10 min	18 10^{-5} / 1 h
Time to Alarm [s]	4 6	2	6	6

Tabelle 4: Anforderungen an die LAESSI Assistenzfunktionen

Funknavigationsanwendungen in der Schifffahrt (Maritim und Binnenbereich)

- Für den Anlegeassistenten muss die Position und Schiffs vorausrichtung (Heading) sowie die Umgebung des Schiffes mit hoher Genauigkeit bekannt sein. Die Schiffsführung sollte eine genaue Darstellung der aktuellen Manöversituation, insbesondere der aktuellen Entfernungen zu Anlegern sowie anderen Schiffen dargestellt bekommen.

- Der Bahnführungsassistent entlastet die Schiffsführung während der Navigation auf der geplanten Route des Schiffes. Eine hochgenaue und integritätsgeprüfte Positionsformation (3D) dient als Grundlage für diese Assistenzfunktion.

- Die Conning-Anzeige stellt die Bewegungen des Schiffes in übersichtlicher Form dar. Insbesondere muss die Schiffsführung rechtzeitig über die relevanten Änderungen der Bewegung informiert werden. Neben einer sehr genauen Positions- und Lageinformation des Schiffes ist es ebenfalls wichtig, die Informationen aus den Antriebssystemen sowie den Einfluss von Wind und Strömung zu berücksichtigen.

Die wesentliche Grundlage für die genannten Assistenzfunktionen ist die Bereitstellung zuverlässiger und umfassender nautischer Informationen. Dazu gehören die Position, Lage und Bewegung des eigenen Schiffes mit den dazugehörigen Integritätsinformationen, genaue und gültige elektronische Karten sowie Informationen über die Situation im Fahrtgebiet (Baustellen, Unfälle, Wasserstände) und genaue Daten der Infrastruktur (z.B. Abmessungen der Brücken und Schleusen).

Tabelle 4 enthält die Genauigkeits- und Integritätsanforderungen für die verschiedenen Assistenzfunktionen. Die Grundidee einer Brückenkollisionswarnung besteht darin, die geodätische Höhe des Schiffes mit der geodätischen Höhe einer Brücke zu vergleichen. Daraus ergeben sich entsprechende Anforderungen an die Höhenmessung. Position und Kurs werden als Grundlage für die Vorhersage der Schiffsbewegung im Nahbereich verwendet, wobei hohe Anforderungen an die Positions- und Kursgenauigkeit an den Anlegeassistenten gestellt werden. Diese basieren auf der Anforderung, dass jeder Punkt eines 185 m langen Binnenschiffs mit einer Genauigkeit von 30 cm bekannt sein muss. Das Integritätsrisiko basiert weiterhin auf der Annahme, dass ein nicht erkannter Fehler innerhalb von 3 Jahren nach Normalbetrieb noch toleriert werden kann. Die Alarmierungszeit (Time to Alarm) ist besonders beim Anlegeassistenten ein kritischer Wert, obwohl sich das Schiff in dieser Situation mit niedriger Geschwindigkeit einem Anleger annähert. Die im Projekt entwickelten Assistenzfunktionalitäten konnten in einer Abschlussdemonstration erfolgreich vorgeführt werden. Die in LAESSI ent-

wickelten Anwendungen liefern weiterhin wesentliche Erkenntnisse und Basisentwicklungen für eine zukünftige teilautonome Binnenschifffahrt. Weitere Forschungsprojekte in diesem Zusammenhang sind geplant.

4 Referenzen

- CCNR: Electronic Chart Display and Information System for Inland Navigation, Edition 1.02, 16.10.2003, Section 4
- CCNR: Vessel Tracking and Tracing Standard for Inland Navigation, Edition 1.0, 31.5.2006
- CCNR: Leaflet on AIS, Edition 2011
- Department of Defense: Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, 4Th Edition, September 2008
- Hoppe, M.: Differential Global Navigation Satellite System for telematic applications on inland waterways, PIANC Conference, Estoril, Mai 2006
- IALA: Recommendation R-121 on the Performance and Monitoring of GNSS Services in the Frequency band 283.5-325 kHz, 2015
- IMO Resolution A.1046(27): WORLD-WIDE Radionavigation System, adopted on 30 November 2011
- IMO: Draft Guidelines for shipborne Position, Navigation and Timing (data processing) Unit, Input to NCRS 4.2, November 2016
- Johnson, G.W., Swaszek P. F.: Part I and II Feasibility Study of R-Mode using MF DGPS Transmissions, March 2014.
- Johnson, G.W., Swaszek, P. F.: Part III and IV Feasibility Study of R-Mode using MF DGPS Transmissions, August 2014.
- Johnson, G.W., Swaszek, P. F.: Part V Feasibility Study of R-Mode combining MF DGNSS, AIS, and eLoran Transmissions, September 2014.
- Krajewski, C., Haberkamp, H., "Inland ECDIS Standard", XVth IALA CONFERENCE, SYDNEY 2002.
- Oltmann, J.-H., Hoppe, M.: Contribution to the IALA World Wide Radio Navigation plan (IALA-WWRNP) / Recapitalization of MF DGNSS Systems, ENAV4-7.10A, ENAV4-7.10B, Shanghai, 2008
- Porathe: "ACCSEAS Baseline and Priorities Report," 2013.
- Sandler, M., Heßelbarth, A., Ziebold, R., Uhlemann, M., Alberding, J., Bröschel, M., Hoppe, M.: Setting up driver assistance functions for inland vessels based on high precision and integrity checked positioning information, DGON ISIS/MTE, Hamburg, August 2016
- Volpe, John A.: National Transportation Systems Centre, Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the GPS, Final Report, 2001