

Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt basierend auf Hochpräzisions-DGNSS (Forschungsprojekt LAESSI)

von

Dipl.-Ing. Rainer Streng

Dipl.-Ing. Michael Hoppe

Dipl.-Ing. Martin Bröschel

Dipl.-Ing. Larisa Burmisova

Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken, Koblenz

Dr.-Ing. Martin Sandler

in.innovative Navigation GmbH, Kornwestheim

Dr.-Ing. Anja Hesselbarth

Dr.-Ing. Ralf Ziebold

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
(DLR), Neustrelitz

Dipl.-Ing. Jürgen Alberding

Dipl.-Ing. Maik Uhlemann

Alberding GmbH, Wildau

Kurzfassung

Die Binnenschifffahrt ist ein wesentliches Element des deutschen Güterverkehrs, wobei der zunehmende Verkehr mit großen Schiffen auf engen Fahrwassern hohe Anforderungen an die verantwortlichen Schiffsführungen stellt. Das Projekt LAESSI (**Leit- und Assistenzsysteme zur Erhöhung der Sicherheit der Schifffahrt auf Inland-Wasserstraßen**) befasst sich mit der Entwicklung von Unterstützungsfunktionen für die Verbesserung der Navigation auf Binnenwasserstraßen. Hochgenaue Informationen zu Position und Kurs sind hierfür Voraussetzung. Ein Projektziel ist die Entwicklung eines Brückenanfahrwarnsystems zur rechtzeitigen Warnung der Schiffsführung, wenn die aktuelle Höhe von Steuerhaus, Radarmast oder sonstiger Aufbauten des Schiffes einer sicheren Brückenpassage entgegenstehen.

Eine Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass GNSS-Satellitenavigation (Global Navigation Satellite System) mit hochgenauen Positionsdaten als Grundlage für die zuverlässige Höhenbestimmung eines solchen Brückenanfahrwarnsystems dienen kann. Bei diesem Ansatz werden mindestens 300 Meter vor dem Passieren der Brücke exakte Informationen über die Durchfahrtshöhe des Bauwerks benötigt. Aufgrund der notwendigen vertikalen Genauigkeit von besser als 10 cm ist der Einsatz von Hochpräzisions-DGNSS erforderlich.

Es werden die Anforderungen an die Unterstützungsfunktionen, die Systemarchitektur und die

hochgenaue Positionsbestimmung vorgestellt. Verwendet wird die in der Geodäsie etablierte RTK-Technologie (Real-Time Kinematic), jedoch ergänzt um landseitig generierte Korrektur- und Integritätsdaten. Die Übertragung an Bord erfolgt zusammen mit weiteren Wasserstraßeninformationen über die durch VDES (VHF Data Exchange System) bereitgestellten Frequenzbänder. VDES wird zurzeit als Nachfolgesystem für das etablierte AIS (Automatic Identification System, automatisches Schiffsidentifikationssystem) entwickelt. Eine Erprobung des Gesamtsystems erfolgte in Demonstrationsanwendungen an ausgewählten Flussabschnitten der Mosel und des Mains.

1. Einleitung

Obgleich die Binnenschifffahrt ein sehr sicheres Transportmittel ist, passieren Unfälle wie z. B. Kollisionen von Steuerhäusern mit Brückenbauteilen. Eine rechtzeitige Alarmierung bei zu hohen Aufbauten des Schiffes könnte helfen, diese Art von Kollisionen zu vermeiden. Zudem ist natürlich auch das alltägliche Führen z. B. eines 185 m langen Schubverbands in engen Fahrwassern eine anspruchsvolle Aufgabe, die die Entwicklung und den Einsatz von Assistenzsystemen begründet.

Ziel des LAESSI-Projekts ist es, die Schiffsführung bei ihrer Navigationsaufgabe zu unterstützen. Um dieses Ziel zu erreichen, nutzt LAESSI hochgenaue Satellitenpositionsdaten, landseitig generierte Korrektur- und Integritätsinformationen sowie neue Datenübertragungsverfahren.

Das Forschungsprojekt LAESSI setzt auf die Kernkompetenzen der beteiligten Institutionen und Firmen: in.innovative navigation GmbH, Alberding GmbH, DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) Institut für Kommunikation und Navigation und die Fachstelle für Verkehrstechniken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV).

Im Folgenden werden zunächst die Anforderungen an die Unterstützungsfunktionen vorgestellt und ein Überblick über die Gesamtsystemarchitektur gegeben. Weiter wird das auf RTK-Technologie (Real-Time Kinematic) mit Integritätsdaten basierende hochgenaue Positionermittlungssystem erläutert. Die Übertragung der Korrektur-/Integritätsdaten in Verbindung mit aktuellen Wasserstraßeninformationen erfolgt über die erweiterten Frequenzbänder des neuen VDES (VHF Data Exchange System), dem Nachfolgesystem zum eingeführten AIS. Abschließend werden die in Demonstrationsanwendungen an Mosel und Main erzielten Ergebnisse vorgestellt.

Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt basierend auf Hochpräzisions-DGNSS (Forschungsprojekt LAESSI)

Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03SX402 gefördert.

2. Das Konzept von LAESSI

2.1 Assistenzfunktionen

Folgende Assistenzfunktionen wurden im Rahmen von LAESSI entwickelt und erprobt:

- ein **Brückenankfahrwarnsystem** zur Alarmierung der Schiffsführung, falls Schiffskomponenten wie Steuerhaus oder Radarmast zu hoch für eine sichere Brückenpassage sind
- ein **Anlegeassistent** mit genauer Darstellung der Entfernung zu Kaimauern und anderen Schiffen
- eine **automatische Bahnführung** zur Entlastung bei der Routenführung, das Schiff folgt automatisch einem vorgegebenen Fahrweg
- ein **Conning-Displays** mit genauer Anzeige der Schiffsbewegung und Einbindung weiterer Informationen (Antriebsmaschine, Ruderlage etc.)

2.2 Systemanforderungen

Tabelle 1 zeigt die Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit und Integrität für die verschiedenen Assistenzfunktionen. Das Konzept der Brückenankfahrwarnung beruht auf den Vergleich der geodätischen Höhe der Schiffsaufbauten mit der geodätischen Höhe der Brückenöffnung bzw. der Durchfahrtshöhe.

he. Daraus resultieren die Anforderungen hinsichtlich einer genauen Höhenmessung. Die Auswertung unterscheidet zwischen Fernbereich, ungefähr zehn Minuten vor der Brückenpassage, und einem Nahbereich im Zeitraum von etwa zwei Minuten vor Erreichen der Brücke. Eine Warnung unmittelbar vor der Passage erfordert natürlich sofortige Maßnahmen der Schiffsführung. Daraus resultieren hohe Integritätsanforderungen in diesem Zeitintervall und eine kurze Alarmierungszeit. Für die Bewegungsprädiktion des Schiffs unmittelbar vor der Brückenpassage werden hochgenaue Positions- und Kursinformationen verarbeitet.

Auch der Anlegeassistent stellt hohe Anforderungen an die Genauigkeit von Position und Kurs. So soll jeder Punkt eines 185 m-Schubverbands mit einer Genauigkeit von besser als 10 cm bekannt sein. Das Integritätsrisiko beruht auf einem nichterkannten Fehler während drei Jahre Normalbetrieb. Die Vorgabe von 6 s von der Detektion bis zur Alarmanzeige berücksichtigt die langsame Geschwindigkeit des Schiffs in dieser kritischen Manöversituation.

Die Integritätsanforderungen für die Conning-Anzeige sind ähnlich definiert. Auch in engen Gewässern liegen die Abstände eines Schiffs zu Kaimauern oder anderen Schiffen meistens nicht im cm-Bereich. Daher sind die Genauigkeitsanforderungen für diese Funktion niedriger. Für die automatische Bahnführung des Schiffs ist keine außerordentlich hohe Genauigkeit erforderlich. Im Gegensatz zu anderen Assistenzfunktionen ist der Schiffsführer hier nicht Teil der Kontroll- und Handlungsschleife.

	Brückenankfahrwarnung	Automatische Bahnführung	Anlegeassistent	Conning-Anzeige
Positionsgenauigkeit [cm]	20	30	10	20
Höhen Genauigkeit [cm]	10	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
Kursgenauigkeit [°]	0,3	0,17	0,07	0,1
Integritätsrisiko	$10 \cdot 10^{-5} / 2 \text{ min}$ $30 \cdot 10^{-5} / 8 \text{ min}$	$0,55 \cdot 10^{-5} / 3 \text{ h}$	$18 \cdot 10^{-5} / 10 \text{ min}$	$18 \cdot 10^{-5} / 1 \text{ h}$
Zeitspanne bis zum Alarm [s]	4 6	2	6	6

Tabelle 1: Anforderungen an die Assistenzfunktionen hinsichtlich Genauigkeit und Integrität

Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt basierend auf Hochpräzisions-DGNSS (Forschungsprojekt LAESSI)

Die Aufgaben betreffen die Überwachung des Systems sowie die strategische Planung des Fahrweges. Sprünge aufgrund von Fehlern in der Positionsmessung können sofortige Auswirkungen auf die Steuerkommandos haben. Daher muss die Funktion sehr zuverlässig arbeiten. Das definierte Integritätsrisiko erlaubt einen nichterkannten Fehler bei 100 Fahrten pro Jahr.

2.3 Gesamtsystemarchitektur

Die erforderliche Genauigkeit im Dezimeter- und Zentimeterbereich kann durch die derzeit verwendeten codebasierten Positionsbestimmungsmethoden mit üblichen Positionsempfängern für Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) nicht erreicht werden. LAESSI setzt die für geodätische Anwen-

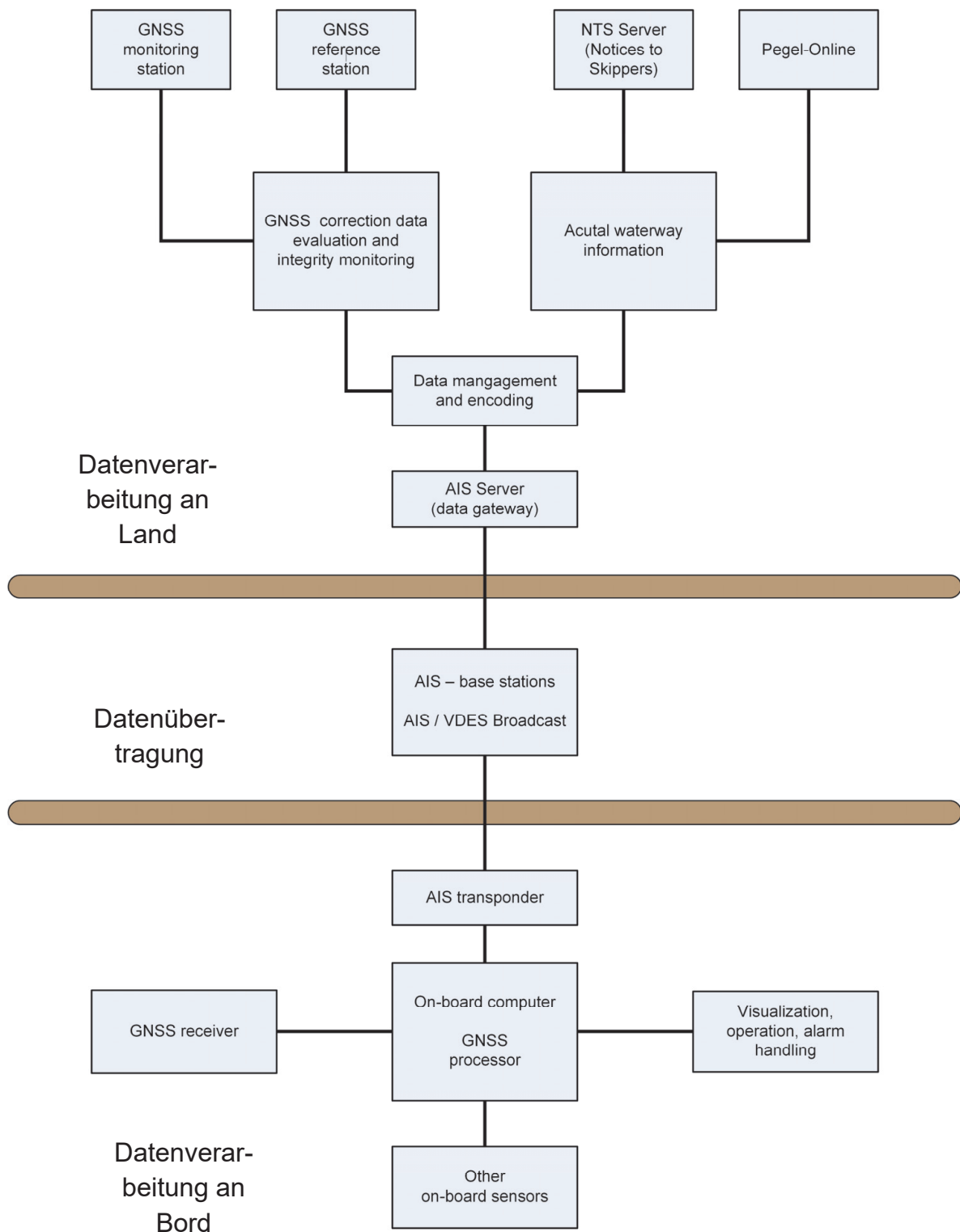


Abbildung 1: Gesamtsystemarchitektur

Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt basierend auf Hochpräzisions-DGNSS (Forschungsprojekt LAESSI)

dungen übliche phasenbasierte Positionsbestimmung (RTK) ein. Neben einer genauen Position sind exakte Daten aus den Binnenwasserstraßenkarten (Inland-ECDIS) und aktuelle Wasserstraßeninformationen erforderlich.

Abb. 1 zeigt die Architektur des LAESSI-Systems. Die landseitige Datenverarbeitung stellt GNSS-Korrekturdaten für die RTK-Verarbeitung an Bord zur Verfügung. Vor der Übermittlung der Korrekturdaten zu der weiteren Prozessebene erfolgt eine Integritätsprüfung. Diese ist sozusagen der erste Schritt des Integritätskontrollrahmens. Darüber hinaus werden aktuelle Informationen zu den Wasserstraßen bereitgestellt.

Die Übermittlung dieser Daten von Land an die Schiffe erfolgt über VDES (VHF Data Exchange System), VDES ist das Nachfolgesystem zum eingeführten AIS. Ein GNSS-Empfänger, der die an Land

generierte Korrektur- und Integritätsdaten verarbeitet, erzeugt die hochgenauen GNSS-Lösungen. Prozessoren auf dem Schiff überwachen ebenfalls die Integrität und führen die Assistenzfunktionen aus. An Bord werden zudem weitere Bordsensoren wie Inertialmesssysteme, Drehgeschwindigkeitsanzeiger, Lasercanner zur Entfernungsmessung etc. in die Verarbeitung einbezogen.

3. Datenverarbeitung und -übertragung

3.1 Landseitige Datenverarbeitung

Die Assistenzfunktionen an Bord erfordern sowohl präzise Positionsdaten als auch relevante Wasserstraßeninformationen. Diese Informationen werden durch den entsprechenden Dienst an Land generiert und an das Schiff übertragen. Eine Übersicht über die landgestützten Dienste zeigt Abb. 2.

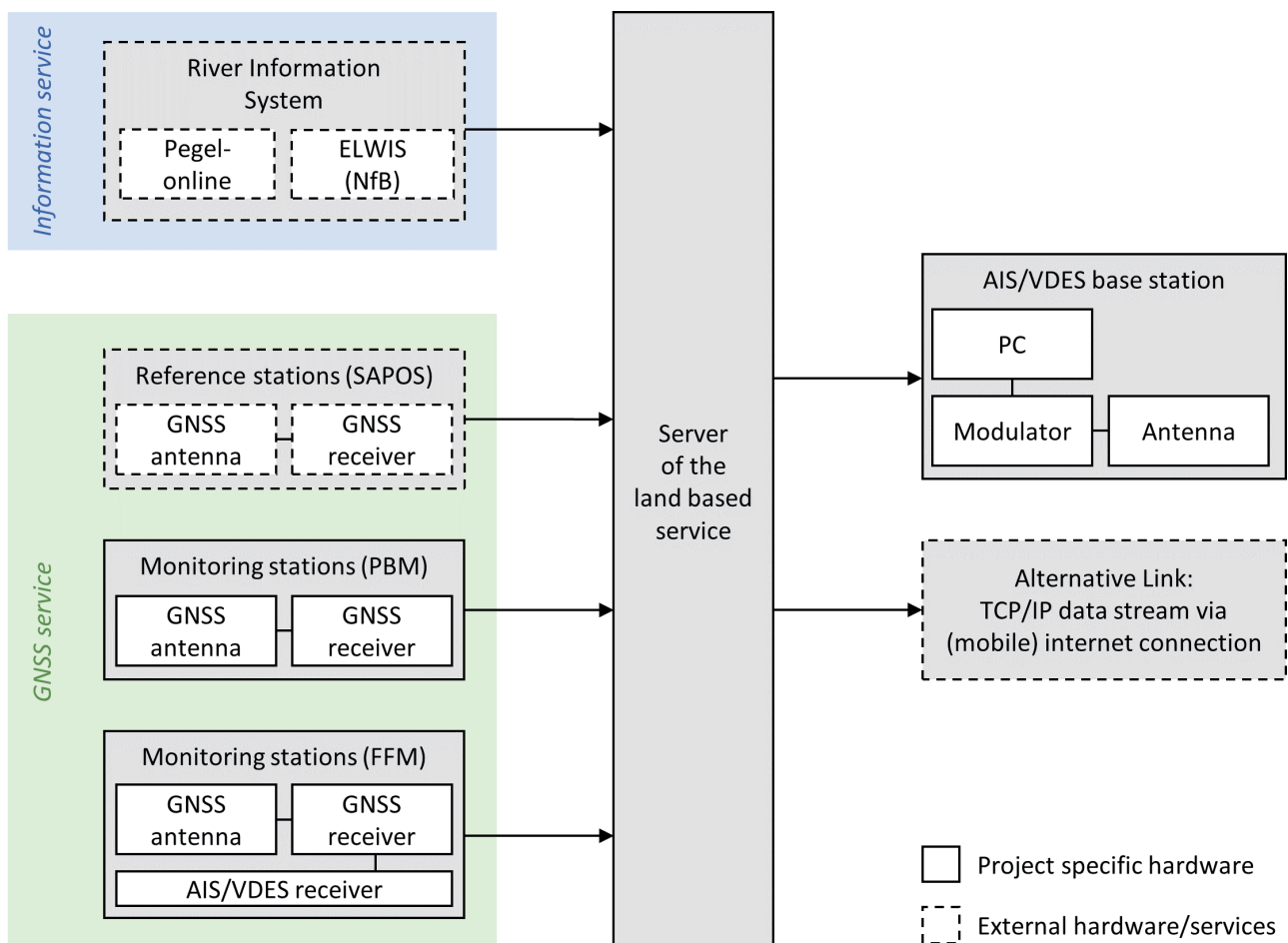


Abbildung 2: landseitige Dienste

Für Geodäsie-Anwendungen wird Real-Time-Kinematic-Technik (RTK, Echtzeitkinematik) eingesetzt, mit der eine Position basierend auf Trägerphasen-GNSS-Messungen und entsprechenden Korrekturdaten zentimetergenau bestimmt werden kann. Die Ermittlung von RTK-Korrekturdaten erfordert ein Netzwerk permanenter GNSS-Referenzstationen mit geeigneter räumlicher Verteilung. LAESSI nutzt hierfür den Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS). Die Daten sind in einem standardisierten Format für den zentralen Verarbeitungsserver verfügbar. Ein komplexer Algorithmus für die RTK-Verarbeitung im Netzwerk bestimmt die GNSS-Korrekturdaten für die Umgebung der aktuellen Schiffsposition. Eine Integritätsprüfung erfolgt bevor die Korrekturdaten über einen standardisierten Kommunikationskanal (Pre-Broadcast Monitoring) an Bord übertragen werden. Das Ergebnis dieser Integritätsprüfung wird auch zur Qualitätsbewertung an Bord angezeigt. Zusätzlich wird eine Verifizierung der berechneten Korrekturen an landseitigen Fernfeld-Überwachungsstationen durchgeführt. Diese liefern weiter Performance-Indikatoren für die Qualitätsüberwachung. Die Anforderungen an den landseitigen GNSS-Korrekturdienst ergeben sich aus den Anforderungen an die Assistenzfunktionen:

- Die Genauigkeit der berechneten GNSS-Position an Bord soll in horizontaler und vertikaler Richtung geringer als 10 cm betragen.
- Der Dienst soll fehlerhafte Satelliten-Ephemeriden-, Uhr- oder Korrekturdaten innerhalb einer definierten Zeitspanne erkennen und als Integritätsinformation an das Schiff übertragen.
- Die Verfügbarkeit des Dienstes soll der Definition der IMO-Normen folgen (IMO-Entschl. A.953 (23)). Zudem muss der Dienst sicherstellen, dass die Integritätsdaten, die an und über das verwendete Kommunikationssystem übertragen werden, fehlerfrei sind (Prüfsummen-Verfahren).
- Die übertragenen GNSS-Korrekturdaten sollen sich auf die neueste Version des ETRS89-Koordinatenreferenzsystems beziehen, das auch von offiziellen deutschen Vermessungs- und Kartierungsbehörden verwendet wird. Dadurch kann eine homogene Datenbasis erstellt und die Vergleichbarkeit mit externen Vermessungsdaten wie Brückenprofilen und Hafenkarten sichergestellt werden.

Neben genauen Positionsdaten sind für die Schiffsführung auch aktuelle Hinweise zu den Wasserstraßen von Interesse, zum Beispiel gesperrte Abschnitte, Durchfahrtshöhenbeschränkungen durch

Bauarbeiten an einer Brücke und Informationen zum Wasserstand. In Deutschland werden diese Informationen über die Internetportale ELWIS und PEGELONLINE veröffentlicht. Die benötigten Informationen werden von den genannten Webdiensten abgerufen, auf Plausibilität geprüft und per AIS/VDES als Nachricht, Application Specific Messages (ASM), an das Schiff übertragen. Die Übertragung erfolgt regionalspezifisch, d.h., nur für die jeweilige Fahrt relevante Informationen werden übertragen.

3.2 Datenübertragung

Wie oben beschrieben werden phasenbasierte GNSS-Korrekturen zusammen mit Integritätsinformationen an die Bordeinheit übertragen. Diese Daten basieren auf Trägerphasenmessungen für die satellitengestützten Navigationssysteme GPS und GLONASS. Die Übertragungsrate liegt etwa im Bereich von 7 KBit/s mit einer Aktualisierung innerhalb von 1-2 Sekunden. Zusätzlich zu den GNSS-Korrekturen werden Informationen über Wasserstände und relevante Nachrichten für die Binnenschifffahrt (NfB) übertragen.

Daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen an die Datenübertragung:

- Datenübertragungsrate: > 9,6 KBit/s, dadurch Aktualisierungsrate von < 2 s möglich
- Abdeckung: vollständige Abdeckung (teilweise überlappend) entlang der Binnenwasserstraßen
- Standardisierung: Datenübertragung nach einem international standardisierten Kommunikationsverfahren

Das AIS (Automatic Identification System, automatisches Schiffsidentifikationssystem) ist in der See- und Binnenschifffahrt bereits für den Austausch von Navigationsdaten zwischen Schiffen, zwischen Schiff und Land und zwischen Land und Schiff standardisiert und eingeführt. Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes betreibt ein landseitiges AIS-Netzwerk an den Küstengewässern und den Binnenwasserstraßen. In Verbindung mit einer Ausrüstungspflicht ist AIS im Grunde ein geeignetes Mittel für die Übertragung von Korrekturdaten und Wasserstraßeninformationen. Jedoch ist die Datenkapazität des bestehenden AIS begrenzt. Insbesondere die erforderliche hohe Aktualisierungsrate würde eine große AIS-Datenlast verursachen und die Funktion des AIS-Dienstes beeinträchtigen. Derzeit werden codebasierte GPS-Korrekturdaten mittels der standardisierten AIS-Message 17 übermittelt. Dieser Nachrichtentyp ist jedoch nicht für RTK-Meldungen spezifiziert. Im

Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt basierend auf Hochpräzisions-DGNSS (Forschungsprojekt LAESSI)

Rahmen des LAESSI-Projekts ist das sich zurzeit in der Entwicklung befindende Nachfolgesystem von AIS, das sogenannte VDES (VHF Data Exchange System, VHF-Datenaustauschsystem) für die Datenübertragung von Land zum Schiff vorgesehen. VDES bietet zusätzliche terrestrische Übertragungskanäle innerhalb eines definierten Frequenzbands und ermöglicht daher eine höhere Datenübertragungskapazität.

Eine mögliche Alternative wäre die Nutzung von GSM-Mobilfunk zur Datenübertragung. GSM bietet allerdings keine vollständige Abdeckung der Binnenwasserstraßen und steht unter bestimmten Umständen, zum Beispiel bei einer großen Anzahl von Nutzern, nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung. Dieser Dienst bietet daher nicht geforderte Verfügbarkeit. GSM dient jedoch im Rahmen von LAESSI als Rückfallebene in den Bereichen ohne AIS-Landinfrastruktur.

Die Tests der Fahrassistanzanwendungen sind in ausgewählten Flussabschnitten von Mosel und Main durchgeführt worden. Die vorhandene AIS-Infrastruktur wurde hierfür mit modifizierten Basisstationen zur Simulation des künftigen VDES ergänzt. Dieses Systemkonzept ermöglichte die Verwendung von AIS-Standardausrüstung an Land und auch an Bord mit Nutzung der zukünftig bei VDES vorgesehenen Frequenzen. Auf diese Weise ließen sich nachteilige Auswirkungen auf das operationelle AIS-System im Testzeitraum vermeiden. Die Verwendung von umgerüsteter Standard-AIS-Technik bedeutete jedoch auch eine Reduzierung der Datenübertragungsrate auf 9,6 KBit/s.

4. Überwachung der Integrität an Bord

4.1 Trägerphasenverarbeitung

Üblicherweise werden für die Navigation auf Binnenwasserstraßen in den Empfängern codebasierte Techniken wie das IALA Beacon DGNSS (Differential-GPS) mit Genauigkeiten von wenigen Metern verwendet. Die Anforderungen für die beschriebenen Assistenzfunktionen sind jedoch deutlich höher. Mit dem Prinzip der Trägerphasenmessungen sind Zentimetergenauigkeiten erreichbar. Die Herausforderung bei der Nutzung von Trägerphasenmessungen liegt darin, die unbekannte Anzahl an Wellenphasenzyklen, Ambiguitäten bzw. Mehrdeutigkeiten, zu lösen. Können Ambiguitäten als Float-Werte geschätzt werden, ist eine dezimetergenaue Festlegung der Position möglich. Mit ganzzahligen Trägerphasenambiguitäten kann eine cm-Genauigkeit erreicht werden. Verschiedene Einflüsse wie Signalunterbrechungen,

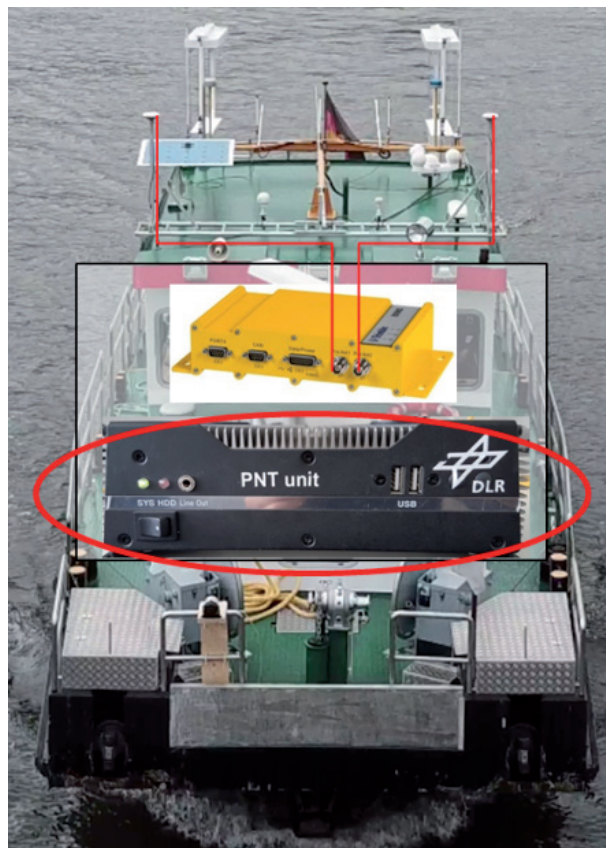


Abbildung 3: PNT-Bordeinheit

Mehrwegausbreitungen (Multipath), Cycle Slips und Messrauschen beeinträchtigen die Ambiguitätenauflösung und damit auch die Genauigkeit der Positions- und Geschwindigkeitsermittlung. Diese speziellen stationsabhängigen Effekte lassen sich nicht durch landbasierte Korrekturdaten verringern. Zusätzlich beeinflussen atmosphärische Effekte die Positionsbestimmung. Die Positionsfehler sind hierbei abhängig von der Entfernung zwischen der landseitigen Referenzstation und dem Bordempfänger. Für hochgenaue (weniger als 10 cm in horizontaler und vertikaler Richtung) Positionsergebnisse und zuverlässige PNT-Daten (Position, Navigation, Timing) zu erhalten, ist eine enge Kopplung der GNSS-Messungen (Phase und Code) mit anderen Sensoren wie Inertialmesssystem, Drehgeschwindigkeitsanzeige etc. sowie eine komplexe Verarbeitung mit einem Extended Kalman Filter (EKF) erforderlich. Diese Kombination hat den Vorteil, dass kurze GNSS-Signalausfälle (Abschattungen durch Brücken oder Gebäude) überbrückt werden können. Darüber hinaus ermöglichen weitere Sensordaten und die Kombination aller Sensoren das Erzeugen von Integritätsinformationen mit noch höherer Qualität. Die beschriebenen Funktionen sind in der vom DLR entwickelten PNT-Bordeinheit (Abb. 3) integriert.

4.2 3-Phasen-Integritätskonzept

Abb. 4 zeigt das bordseitige Integritätskonzept. Zuerst werden die Parameter der EKF-basierten RTK-Verarbeitung verarbeitet. Dazu gehört eine Validierung der aufgelösten Ambiguitäten und Abweichungen von den Anpassungsalgorithmen. Im nächsten Schritt erfolgt ein Vergleich mit den Ausgabedaten der verschiedenen Sensoren wie Länge der Antennenbasislinie, Geschwindigkeit, Kurs und

Höhendifferenz. Zudem werden die landseitig ermittelten Integritätsinformationen für eine Validierung der Positionsgenauigkeit verarbeitet. Für alle individuellen Parameter sind basierend auf den Anforderungen der Assistenzfunktionen Schwellenwerte vorgegeben. Nur wenn die Parameter unter den definierten Schwellenwerten liegen, wird die Integrität insgesamt positiv bewertet und die PNT-Daten gelten somit als zuverlässig.

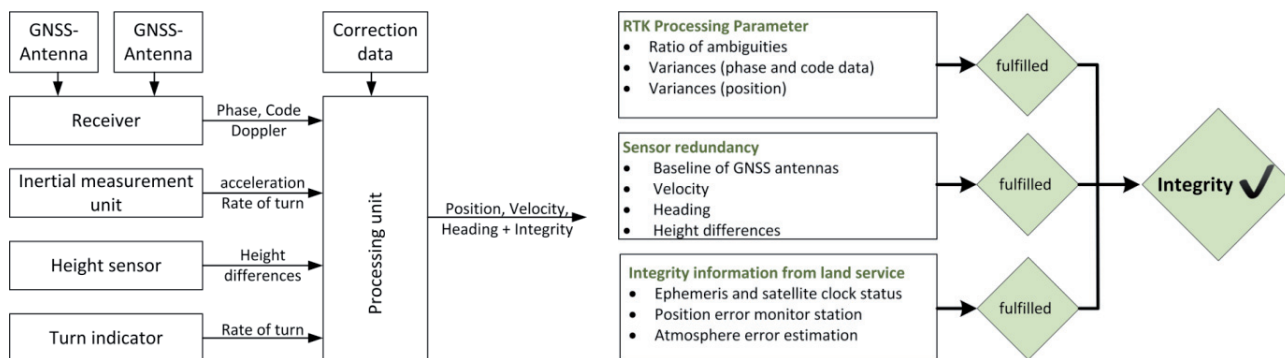


Abbildung 4: Verarbeitung an Bord mit RTK-Algorithmus und zusätzlichen Sensoren (links), 3-Phasen-Integritätskonzept (rechts)

5. Durchgeführte Tests und Ergebnisse

Wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben, hat das LAESSI-Projekt vier Entwicklungsschwerpunkte:

- neue Fahrassistenzfunktionen,
- PNT-Bordeinheit mit der erforderlichen Genauigkeit und Integrität für 3D-Positionsbestimmung und Kurs,
- Soft- und Hardware für die Bereitstellung von integritätsüberwachten GNSS-Korrekturen (RTK) und Wasserstraßeninformationen und
- Nutzung eines Kommunikationskanals für die Übermittlung von GNSS-Korrekturen und Wasserstraßeninformationen mit hoher Datenübertragungsrate über modifizierte AIS-Basisstationen zur Simulation des neuen VDES-Konzepts.

Für das Testen und Validieren des Systemkonzepts wurden zwei Testfelder eingerichtet. Das Testfeld Koblenz mit drei Brücken und dadurch bedingten Signalabschattungen an der Mosel diente ersten Tests der Systemkomponenten. Ein zweites Testfeld am Main diente der Systemintegration und Untersuchungen auf einem längeren Wasserstraßenabschnitt. Für Tests während einer regulären Fahrt stand mit MS „El Niño“ ein 180 m langes kom-

merziell fahrendes Binnenschiff zur Verfügung. Das Schiff verkehrt regelmäßig zwischen Rotterdam (Niederlande) und Linz (Österreich).

5.1 Tests

Erste Tests zur Leistungsfähigkeit der verschiedenen Sensoren, zur Datenübertragung und Kommunikation wurden auf dem Koblenzer Testfeld durchgeführt. Die verschiedenen Systemkomponenten zeigten bei der Auswertung die erwartete Leistung. In einem zweiten Schritt wurde im Testfeld Main mit einer größeren Messkampagne im Oktober 2017 die vollständige Systemintegration erreicht. Das neue Kommunikationssystem auf Grundlage der umgerüsteten AIS-Basisstationen konnte hierbei intensiv getestet werden. Die Ergebnisse werden in den folgenden Unterabschnitten erläutert. Während dieser Testkampagne wurden viele weitere Aspekte analysiert. Diese werden noch in separaten Abhandlungen veröffentlicht.

5.2 Datenkommunikation

Neben zahlreichen weiteren Messungen zur erzielbaren Positions- und Lagegenauigkeit ermöglichte die Testkampagne das Überprüfen der modifizierten AIS-Übermittlungen auf benachbarten Frequenzkanälen gemäß dem sich in der Entwicklung befindenden VDES-Standard. Im Testfeld Main wurden fünf AIS-Landstationen mit dieser zusätzlichen Funktionalität ausgestattet, Abb. 5. Diese Konfiguration er-

Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt basierend auf Hochpräzisions-DGNSS (Forschungsprojekt LAESSI)

mögliche Test zur Verfügbarkeit von umgerüsteten AIS-Basisstationen mit überlappenden Sendebereichen entlang eines etwa 100 km langen Flussabschnitts.

Abb. 6 zeigt eine Messung der Signalausbreitung im Testbereich und belegt die gute Überlappung von AIS bzw. des simulierten VDES-Systems. Zwischen Erlabrunn (Main, km 240) und Steinbach (Main, km 200) wurden zwei AIS-Basisstationen bewusst nicht installiert, um den Übergang auf GSM-Kommunikation zu testen und die grundsätzliche Eignung dieser Rückfallebene zu bewerten.

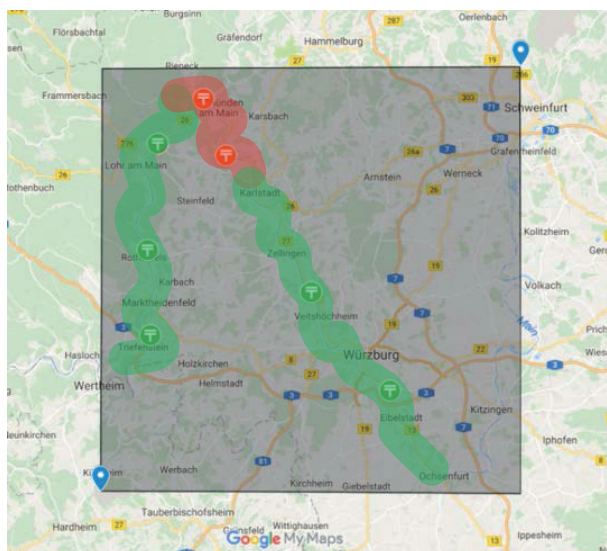


Abbildung 5: Testfeld Main mit zusätzlichen AIS-Basisstationen an Land zur Übermittlung auf neuen VDES-Frequenzkanälen (grün) und Bereich für GSM-Verbindung (rot); dunkelgrau, regionaler Bereich für Frequenzkanäle 2025 und 2026

Eine erste Analyse zeigte die Schwierigkeit, eine ausreichende Datenkapazität für eine RTK-Fix-Lösung zu erreichen. Eine RTK-Fix-Lösung war im überwiegenden Teil des Testfelds, ausgenommen der nordöstliche Bereich ohne AIS-Ausstattung, möglich, Abb. 7. Dessen ungeachtet war jedoch das Datenalter in einigen Bereichen des Testfelds Main aufgrund der eingeschränkten Datenkapazität des AIS-Kanals zu hoch. Dieses liegt an der Übertragung auf nur einem der beiden verfügbaren AIS-Kanäle (Kanal A) für den Testzeitraum. Mit Nutzung beider Kanäle (A und B) ließe sich ein besseres Ergebnis erwarten.

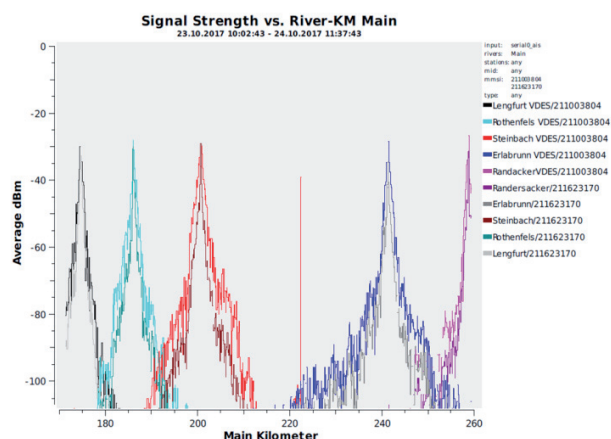


Abbildung 6: Messungen der Abdeckung für AIS- und VDES-Frequenzen entlang des Mains, 10/2017

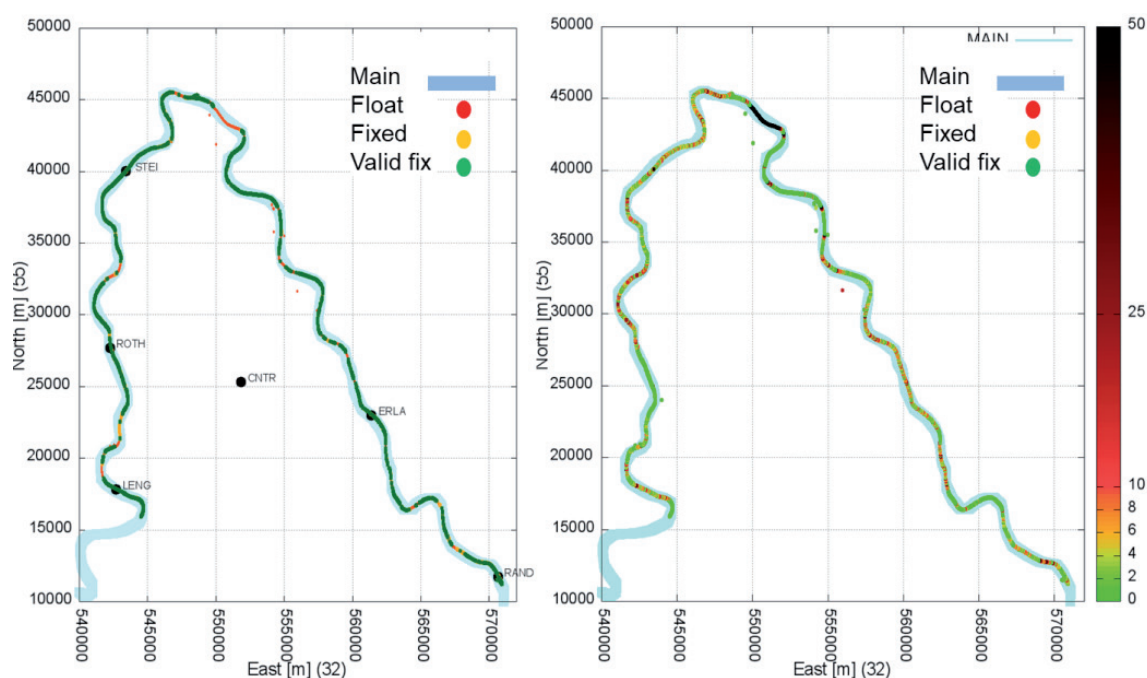


Abbildung 7: Datenanalyse (Fix-Lösung und Datenalter) für AIS und GSM am Main-Testfeld, 10/2017

Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt basierend auf Hochpräzisions-DGNSS (Forschungsprojekt LAESSI)

Abb. 8 bietet eine Übersicht über die Verfügbarkeit der getesteten Kommunikationsoptionen entlang des Testfelds. Wie erwartet liegt die Verfügbarkeit der modifizierten AIS-Übertragungen wegen der Beschränkung auf einen AIS-Kanal und der dadurch reduzierten Übertragungskapazität lediglich bei etwa 80% im Vergleich zu GSM oder dem zukünftigen VDES. Im Weiteren zeigen die Testergebnisse den Bedarf an neuen Methoden zur Datenkomprimierung und -kodierung vor der Aussendung. Voraussetzung ist der Einsatz echter VDES-Technologie mit deutlich höherer Datenübertragungsrate.

296 Tag		Valid KD	Float	Fixed	Fixed+ (4 s)	Fixed+ (2 s)
	Via GSM	92,5	14,1	83,8	79,7	79,3
	Via AIS	77,7	28,2	71,6	60,3	53,5

296 Nacht		Valid KD	Float	Fixed	Fixed+ (4 s)	Fixed+ (2 s)
	Via GSM	100,0	3,7	96,3	95,9	95,9
	Via AIS	99,8	2,2	97,8	96,8	96,5

297 Nacht		Valid KD	Float	Fixed	Fixed+ (4 s)	Fixed+ (2 s)
	Via GSM	100,0	0,1	99,9	99,8	99,8
	Via AIS	100,0	1,9	98,1	97,0	97,0

297 Tag		Valid KD	Float	Fixed	Fixed+ (4 s)	Fixed+ (2 s)
	Via GSM	92,9	10,8	86,5	82,3	81,9
	Via AIS	70,1	22,5	77,4	55,3	46,2

Abbildung 8: Verfügbarkeitsanalyse verschiedener RTK-Fix für modifizierte AIS- und GSM-Übertragung, 10/2017

5.3 Weitere Ergebnisse

Das Projekt LAESSI zielt auf das Entwickeln und Testen erster Assistenzfunktionen mit Brückenanhalfahrtswarnung, automatische Bahnführung, Anlegen und Conning. Diese Funktionen konnten erfolgreich durch die Fa. innovative navigation GmbH implementiert und getestet werden. Abb. 9 zeigt die realisierten Anzeigen für die Brückenanhalfahrtswarnung und den Anlegeassistenten. Die angezeigten Abstandswerte basieren auf Entfernungsberechnungen zu Inland-ECDIS-Konturen von Kaimauern etc. Zusätzlich erfolgt eine Visualisierung der mit Laserscannern ermittelten Abstände und Konturen.

Abb. 10 zeigt die im Radarbild integrierten Bahnführungslinien sowie das Darstellungskonzept mit zwei Monitoren für die Bereitstellung der Assistenzinformationen. Für die Bereitstellung zuverlässiger und integritätsgeprüfter Positions-, Navigations- und Zeitdaten zur Nutzung durch die neuen Assistenzfunktionen konnte das DLR den Prototyp einer PNT-Bordeinheit implementieren und testen. Alberding GmbH entwickelte und testete neue landbasierte Dienste. Hierzu wurden verschiedene Softwaremodule zur Bereitstellung der RTK-Korrekturdaten und Wasserstraßeninformationen für die AIS-Basisstationen entwickelt. Die WSV war für die Bereitstellung der Kommunikationsinfrastruktur in den Testgebiete

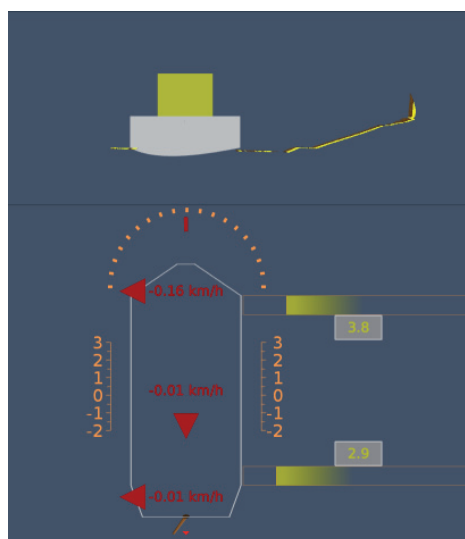
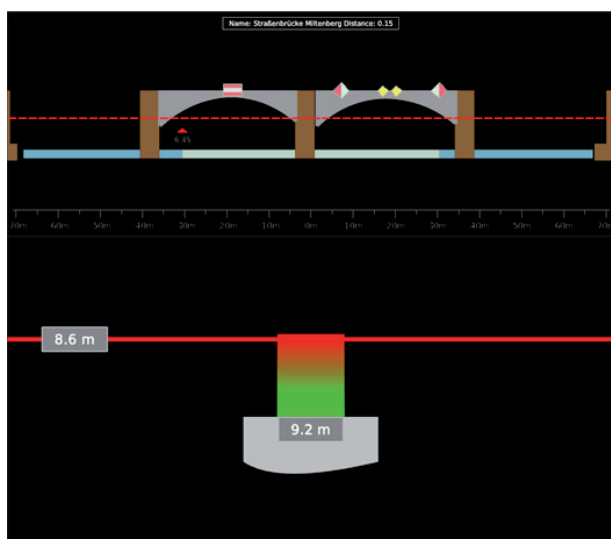


Abbildung 9: Beispiele von Anzeigen (linkes Bild: Warninformationen zur Brückenhöhe; rechtes Bild: Anlegeassistent mit Laserscanner-Ergebnissen und Entfernungen zum Anleger)

ten verant-

Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt basierend auf Hochpräzisions-DGNSS (Forschungsprojekt LAESSI)

wortlich. Im Rahmen des Projekts konnte hierfür erstmalig eine VDES-Simulation mittels modifizierter AIS-Basisstationen mit Übertragung auf zusätzlichen Frequenzkanälen realisiert werden. Die Übertragung erfolgt auf Frequenzkanälen mit geringem Frequenzabstand zum Standard-AIS. Dadurch sind zusätzliche Maßnahmen für eine störungsfreie Übertragung mit hoher Datenrate erforderlich, um beide

Verfahren am gleichen Standort zu ermöglichen. Ziel ist es natürlich, die vorhandene Infrastruktur (Kommunikationsanbindung, Antennenträger, etc.) der WSV zu nutzen. Dadurch waren zusätzliche Maßnahmen für eine störungsfreie Übertragung mit hoher Datenrate erforderlich, um beide Verfahren am gleichen Standort zu ermöglichen.

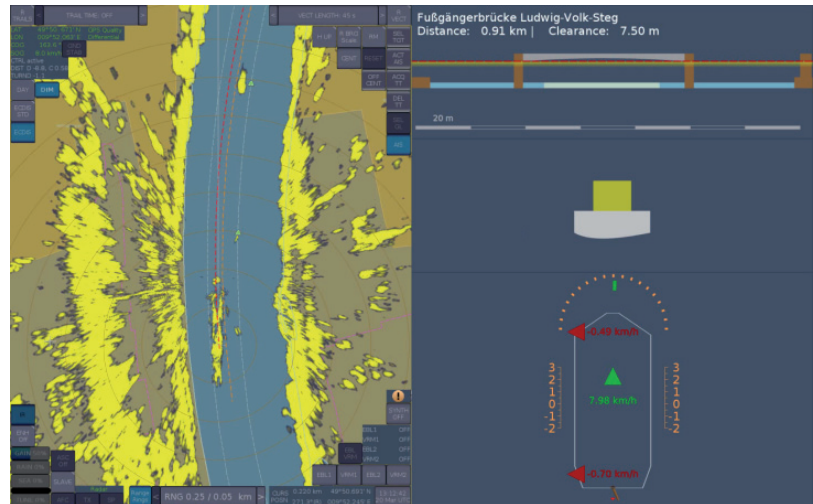
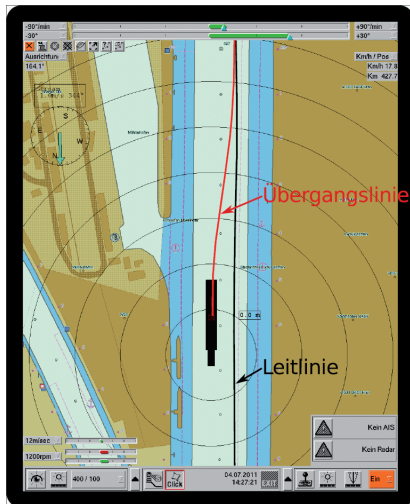


Abbildung 10: automatische Bahnführung (linkes Bild), Ref. ISR, Universität Stuttgart Displaykonzept (rechtes Bild)

6. Fazit und Ausblick

Das LAESSI-Projekt ist ein erster Schritt in der Anwendung von Assistenzsystemen für die Binnenschifffahrt. Die positiven Rückmeldungen der am Projekt beteiligten Schiffsführer zu den Funktionen und Darstellung der Assistenzdaten auf den Borddisplays bestätigen, dass LAESSI zur weiteren Verbesserung der Sicherheit auf Binnenschifffahrtsstraßen beitragen wird. Die erzielten Erkenntnisse und Basisentwicklungen unterstützen darüber hinaus die bereits begonnene Entwicklung autonom fahrender Binnenschiffe.

Eine Weiterentwicklung der Systemtechnologie für neue Bordanwendungen ist beabsichtigt. Ein Ziel ist hierbei die automatische Einfahrt in eine Schleuse. Voraussetzung ist hierfür die realzeitliche Bereitstellung noch präzisere GNSS-Korrekturdaten (z. B. durch die Anwendung neuer Verfahren wie PPP (Precise Point Positioning)). Der Start eines Nachfolgeprojekts ist für Mitte 2018 geplant.

Referenzen

- Bober S (2015). AIS next generation – the development of the VHF Data Exchange System (VDES) for maritime and inland navigation, PIANC SMART Rivers 2015, Buenos Aires
- Sandler M, Heßelbarth A, Ziebold R, Alberding J, Uhlemann M, Hoppe M, Bröschel M (2016). Setting up driver assistance functions for inland vessels based on high precision and integrity checked positioning information, MTE-ISIS Conference, Hamburg.
- Sandler M, Heßelbarth A, Alberding J, Hoppe M (2018), LAESSI – finale Projektpräsentation (noch nicht veröffentlicht), Würzburg
- Strenge, R (2015). AIS land infrastructure on German Inland Waterways, PIANC SMART Rivers 2015, Buenos Aires