

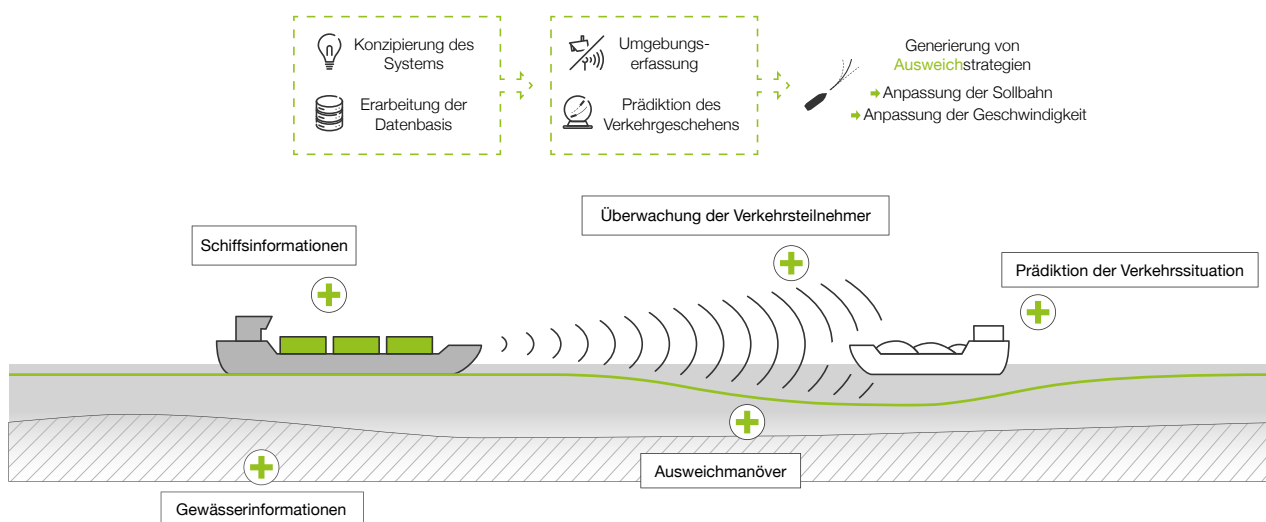


Kollisionsvermeidung in der Binnenschifffahrt basierend auf Radar und der Integration weiterer Sensorik

Digital Process Engineering Group,
Mechanische Verfahrenstechnik
und Mechanik, Karlsruher Institut
für Technologie (KIT)

Argonics GmbH – Stuttgart
Argonav GmbH – Stuttgart
HGK Shipping GmbH – Duisburg

KoliBRI – Kollisionsvermeidung in der Binnenschifffahrt basierend
auf Radar und der Integration weiterer Sensorik





Kollisionsvermeidung in der Binnenschifffahrt basierend auf Radar und der Integration weiterer Sensorik

Broschüre zur Abschlussdemonstration am 24.02.2026 des Forschungsprojekts KoliBRI

Diese Broschüre enthält die Ziele des Gesamtprojekts sowie die gewonnenen Erkenntnisse. Darüber hinaus wird die Forschungsarbeit der einzelnen Partner zusammengefasst: Argonav GmbH, Digital Process Engineering Group, Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Argonics GmbH.

Kontakt

Argonics GmbH

alexander.lutz@argonics.de

florian.gschwandtner@argonics.de

Argonav GmbH

martin.sandler@argonav.de

matthias.ringkowski@argonav.de

Karlsruher Institut für Technologie:

thomas.meurer@kit.edu

jan-niklas.busse@kit.edu

Gesamtprojekt

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist die Erforschung und Demonstration eines Assistenzsystems für die Binnenschifffahrt, das alle Voraussetzungen des Automatisierungsgrades 3 “Bedingte Automatisierung” nach den Definitionen der ZKR erfüllt. Der Automatisierungsgrad 3 bedeutet die kontinuierliche, kontextspezifische Ausführung aller dynamischen Navigationsaufgaben durch ein automatisiertes Navigationssystem, wobei davon ausgegangen wird, dass der menschliche Schiffsführer auf Anforderungen zum Eingreifen und Systemausfälle angemessen reagiert. Dieses übergeordnete Ziel umfasst Strategien zur Vermeidung von Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, die sowohl auf einer Anpassung der Sollbahn eines automatischen Bahnführungssystems als auch auf der Anpassung der Geschwindigkeit des eigenen Schiffes beruhen. Das Assistenzsystem soll alle dynamischen Navigationsaufgaben im Kontext der Streckenfahrt selbst ausführen. Der Schiffsführer erfüllt lediglich die Funktion der Rückfallebene für nicht-lösbare Aufgaben sowie mögliche Ausfälle des Systems. Neben einem solchen nichtkooperativen System wurde in einem weiteren Schritt eine kooperative Strategie zur Vermeidung von Kollisionen auf Binnenwasserstraßen entwickelt.

Erkenntnisse

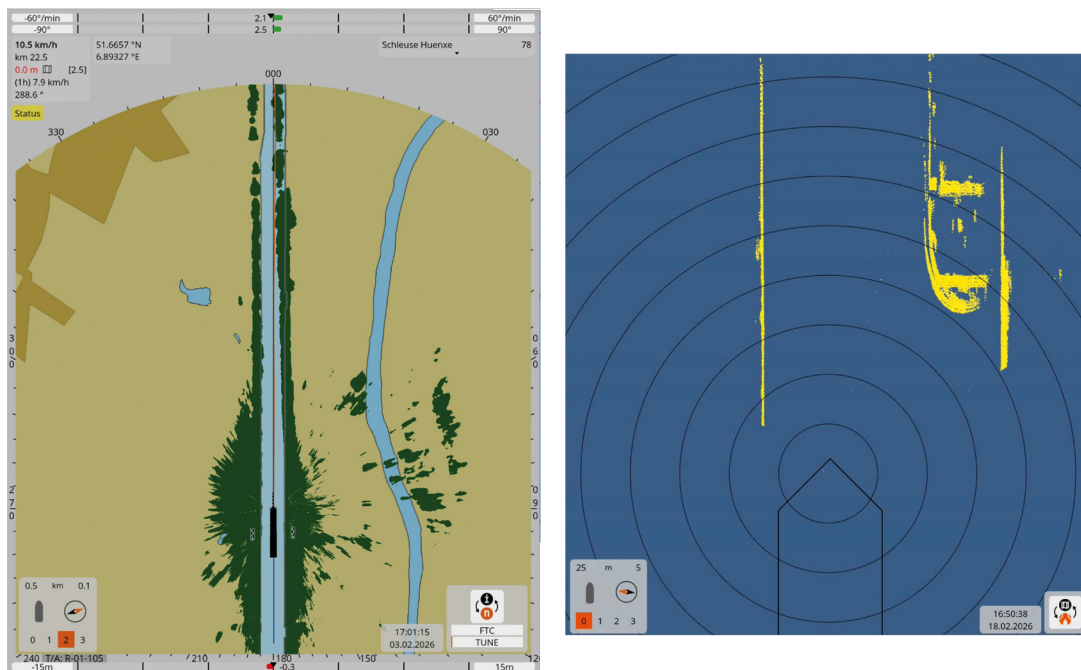
Es konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, den Automatisierungsgrad 3 in der Streckenfahrt umzusetzen. Für einen praxistauglichen Einsatz müssen noch einige Schritte getan werden.

- **Umgebungserfassung:** Es können alle Objekte durch verschiedene Systeme erkannt werden. Die Fusion aller Informationen, vor allem kleinerer Objekte, ist noch eine Herausforderung.
- **Vorhersage der Verkehrssituation:** Das Verhalten anderer Großschiffe kann außerhalb von Kreuzungsbereichen zum Großteil mit ausreichender Genauigkeit vorausgesagt werden. Für eine weitreichende Adaption des Systems ist die weite Verbreitung von Intentions notwendig.
- **Schiffsausstattung:** Der Versuchsträger Niedersachsen 22 konnte für den Automatisierungsgrad 3 vorbereitet werden.
- **Ausweichen:** Die entwickelten Ausweichalgorithmen sind in den Testszenarien gut geeignet, um die geforderten Szenarien zu lösen. Weitere Versuche in der Praxis sind notwendig, um das System kommerziell verwerten zu können.
- **Regularien:** Die automatisierte Auswertung der Begegnungsregeln muss noch weiter untersucht werden.

Argonav GmbH

Im Rahmen des Projekts wurde eine umfassende technische Basis für die Erfassung, Verarbeitung und Darstellung von Schiffs- und Umgebungsdaten aufgebaut. Dazu gehörte zunächst die Ausarbeitung der Systemarchitektur sowie klar definierter Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten. Um zwei Radargeräte parallel betreiben zu können, wurde ein zweiter Rechner installiert und ein stabiles Bordnetzwerk eingerichtet, das alle relevanten Geräte miteinander verbindet.

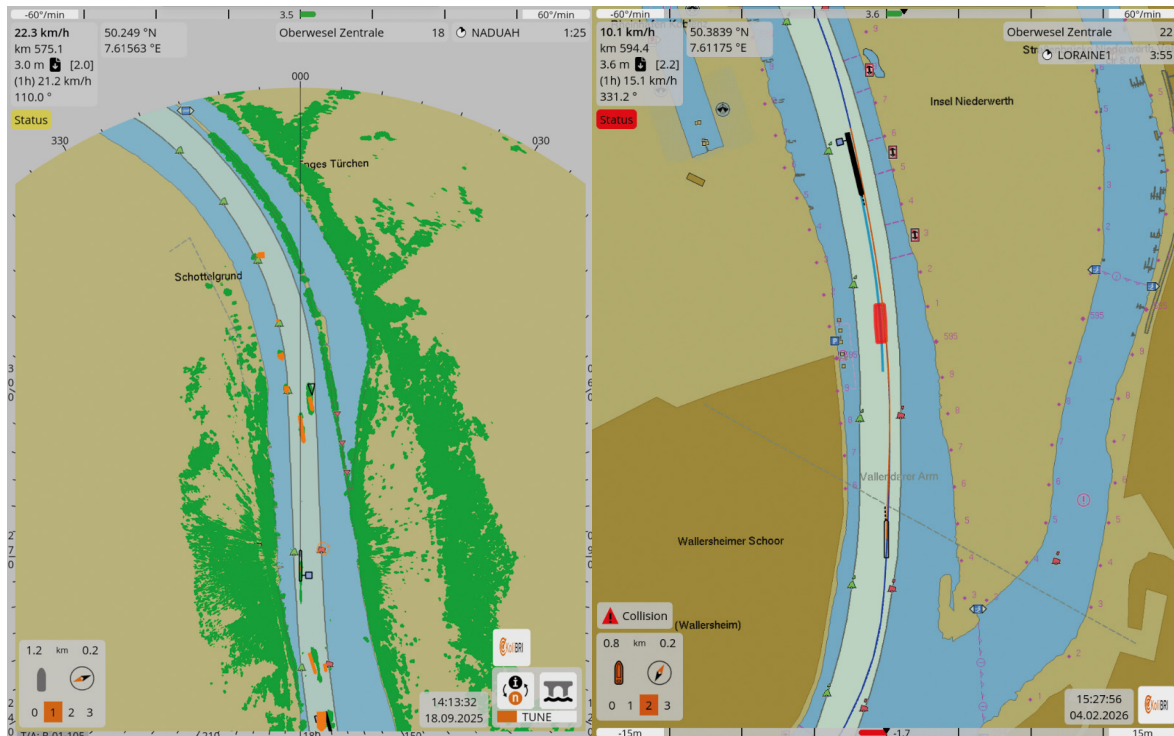
Zusätzlich wurden verfügbare Gewässer- und Verkehrsdaten eingebunden. Dazu zählen automatisch aktualisierte Pegelstände, aktuelle Nachrichten für die Binnenschifffahrt sowie ein digitales Netzwerk der Wasserstraßen mit Kreuzungen und den jeweils geltenden Beschränkungen. Diese Informationen stehen dem System zentral zur Verfügung und können für weitere Auswertungen genutzt werden. Als Kartenbasis wurde ECDIS integriert. Karteninformationen können während des laufenden Betriebs ausgelesen und weiterverarbeitet werden. Dabei werden unter anderem Geometrien wie Fahrrinnen, Wasserflächen oder Tonnen aus der Karte extrahiert. Auch relevante Objekte in der Umgebung, etwa Brückenpfeiler oder Tafelzeichen, werden aus den Kartendaten identifiziert. Darüber hinaus wurde eine Funktion umgesetzt, mit der Fahrspuren auf mögliche Kollisionen mit Kartenobjekten überprüft werden können. Für all diese Informationen wurde eine geeignete Datenstruktur entwickelt sowie eine Schnittstelle bereitgestellt, um extern darauf zuzugreifen.



Zur Umgebungserfassung wurde der Versuchsträger um mehrere Sensorsysteme erweitert. Am Bug wurde ein LiDAR-Scanner installiert und dessen Daten in der argoLaserPilot-Anzeige visualisiert. Zusätzlich kam ein zweites Radargerät zum

Einsatz, dessen Daten ebenfalls verarbeitet werden. Ergänzt wird das System durch ein Sentry-Kamerasystem mit optischen und thermischen Kameras.

Die Radarbildauswertung erfolgt direkt in der argoRadarPilot-Oberfläche. Aus den Radarbildern werden automatisch Ziele extrahiert, wobei die Auswertung auf die Wasserfläche begrenzt ist, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.



Auch das AIS-Transpondersystem wurde besser integriert. Virtuelle ATONs können verarbeitet und angezeigt werden, und die Begegnungsregularien – beispielsweise im Zusammenhang mit der Blauen Tafel – werden dabei berücksichtigt.

Die optischen und thermischen Kameras ermöglichen die Aufzeichnung und Anzeige erkannter Objekte. Über eine definierte Schnittstelle werden diese Daten an eine gemeinsame Verarbeitungssoftware übergeben, sodass sie zusammen mit den übrigen Sensordaten genutzt werden können. Ein weiterer Schwerpunkt war die Sensorfusion. Radarziele und AIS-Ziele werden miteinander assoziiert und gemeinsam in der argoRadarPilot-Oberfläche dargestellt, wodurch ein konsistenteres Lagebild entsteht. Fusionierte Ziele können dann auch in die Kollisionserkennung einbezogen werden.

Schließlich wurde eine Funktion zur Anzeige der Extrapolation von Schiffsbewegungen im argoRadarPilot umgesetzt. Die prädizierte Bewegung anderer Schiffe sowie des eigenen Schiffs wird angezeigt. Auf dieser Basis werden mögliche Begegnungs- und Kollisionsbereiche berechnet und visualisiert, inklusive entsprechender Warnungen.

Digital Process Engineering Group, Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Im Rahmen des Projektes „Kollisionsvermeidung in der Binnenschifffahrt basierend auf Radar und der Integration weiterer Sensorik“ (KoliBRI) wurden von Seiten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) mehrere Themenfelder zur Automatisierung in der Binnenschifffahrt untersucht. Eines davon ist die präzise Vorhersage des Verkehrsgeschehens im Binnenbereich. Hierbei wurde vor allem das Nutzen von historischen Verkehrsdaten zum Training von geeigneten Algorithmen erforscht. Eine Übersicht der untersuchten Ansätze ist Abbildung 1 zu entnehmen.

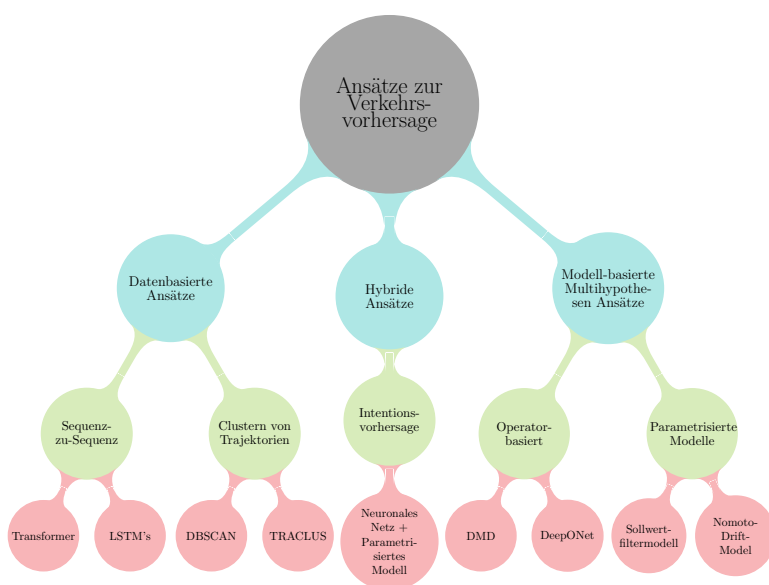


Abbildung 1: Ansätze zur Vorhersage des Verkehrsgeschehens

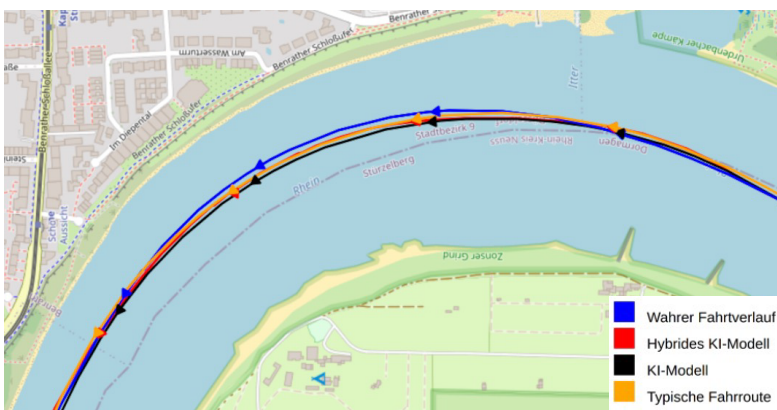


Abbildung 2: Exemplarische Fünf-Minuten-Vorhersage des Fahrtverlaufs eines Schiffes. Die Vorhersage wurde durch ein rein datenbasiertes KI-Modell (schwarz) und ein hybrides KI-Modell (rot) generiert.

Ein Vergleich der Ansätze miteinander stellte heraus, dass sich insbesondere KI-Modelle basierend auf modernsten Sequenz-zu-Sequenz-Architekturen zur Vorhersage des Verkehrsgeschehens eignen.

Ein exemplarisches Ergebnis einer Verkehrsvorhersage für ein Schiff basierend auf verschiedenen Ansätzen kann Abbildung 2 entnommen werden. Unter der Verwendung von physikalischen Schiffsinformationen konnten diese Modelle zu sogenannten hybriden KI-Modellen weiterentwickelt werden.

Eine präzise und weit vorausschauende Vorhersage des Verkehrsgeschehens stellt die Grundvoraussetzung einer optimalen und frühzeitigen Kollisionsvermeidung dar. Basierend darauf konnten Algorithmen eingesetzt und feinjustiert werden, welche die optimale Route für

einen gewissen Zeithorizont, unter der Berücksichtigung von anderen Verkehrsteilnehmern und geometrischen Gegebenheiten, planen können. Durch eine Weiterentwicklung der in der Literatur bereits existierenden Ansätze wurde die regelkonforme Vorgabe der auszuweichenden Schiffsseite ermöglicht.

Eine skizzenhafte Darstellung eines optimalen Routenplanungsergebnisses kann Abbildung 3 entnommen werden. Hierbei wird für das orangene Schiff eine optimale Route so geplant, dass es dem ersten entgegenkommenden Schiff an Backbord und dem zweiten an Steuerbord begegnet.

Durch den Ausbau der digitalen Vernetzung im Binnenschifffahrtsbereich wird zukünftig auch eine direkte Kommunikation unter Verkehrsteilnehmern möglich werden. Neben der Möglichkeit des direkten Austauschs von geplanten Fahrrouten, welche die Vorhersage des Verkehrsgeschehens verbessern oder gar ersetzen kann, wird auch eine Absprache bzgl. der Routenplanung möglich werden. Dies führt dazu, dass nicht nur gefährliche Begegnungssituationen besser vermieden, sondern ebenfalls optimale Lösungen für alle Verkehrsteilnehmer gefunden werden können. Im Rahmen dessen wurden Algorithmen zur optimalen kollisionsfreien Routenplanung entwickelt, welche einen möglichen Informationsaustausch berücksichtigen.

Eine beispielhafte Begegnung zweier kooperativer Schiffe auf entgegengesetztem Kurs ist in Abbildung 4 (nächste Seite) dargestellt. Ziel der Routenplanung ist es, dass die Begegnung an ihrer engsten Stelle einen Mindestabstand von 10 Metern hat. Durch die ermöglichte Kooperation weichen beide Schiffe gleichermaßen 5 Meter nach Steuerbord aus, anstatt dass ein Schiff ein Ausweichmanöver von 10 Metern fahren muss. Durch eine Einbringung von weiteren Verkehrsregeln lassen sich diese Ansätze auch auf Situationen mit mehr als zwei Teilnehmern erweitern.

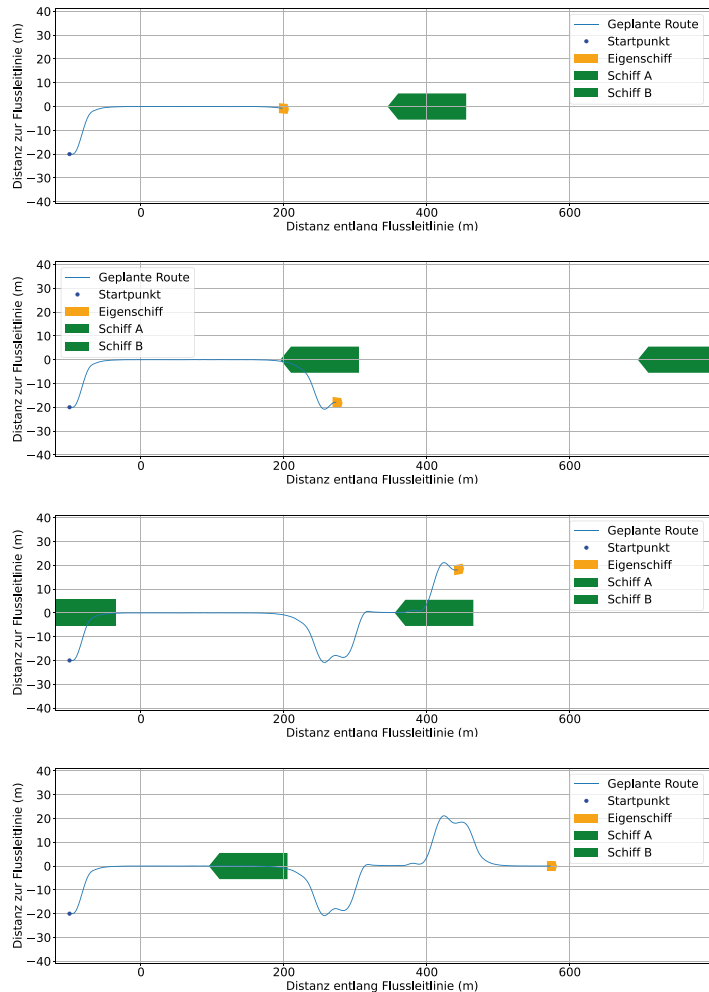


Abbildung 3: Optimale Routenplanung zur Kollisionsvermeidung mit Seitenvorgabe.

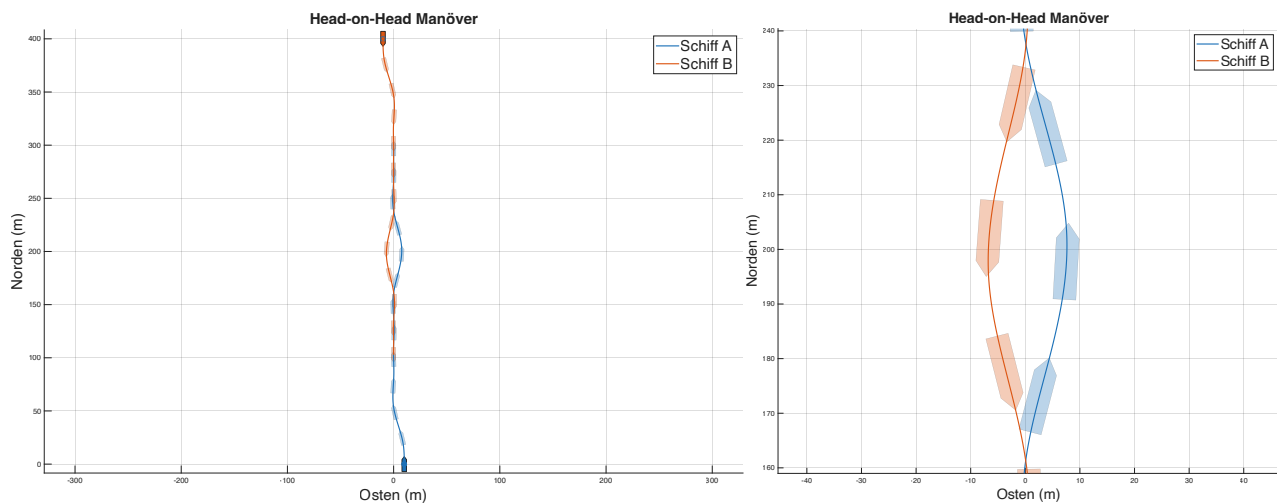


Abbildung 4: Kooperatives Ausweichmanöver einer Kopf-auf-Kopf-Situation zwischen zwei Schiffen.

Argonics GmbH

Die wesentlichen Aufgaben von Argonics im Projekt KoliBRI waren die technische Ausstattung des Schiffs, die Entwicklung einer Prädiktionsmethode mit reduzierter Komplexität basierend auf Daten und die Entwicklung von praxisnahen Ausweichmethoden.

Der Versuchsträger Niedersachsen 22 war bereits vor dem Projektbeginn mit dem Spurführungsassistenten argoTrackPilot ausgerüstet, welcher in Synergie mit dem Projekt EcoBin um den argoFuelPilot erweitert wurde. Dieser ermöglicht das Regeln der Längsgeschwindigkeit über die Vorgabe der Drehzahl. Durch Umnutzung eines bestehenden

Netzwerks und der Installation des Umgebungserfassungssystems Sentry basierend auf thermischen und optischen Kameras ist die Niedersachsen 22 nun bereit für die automatisierte Streckenfahrt.

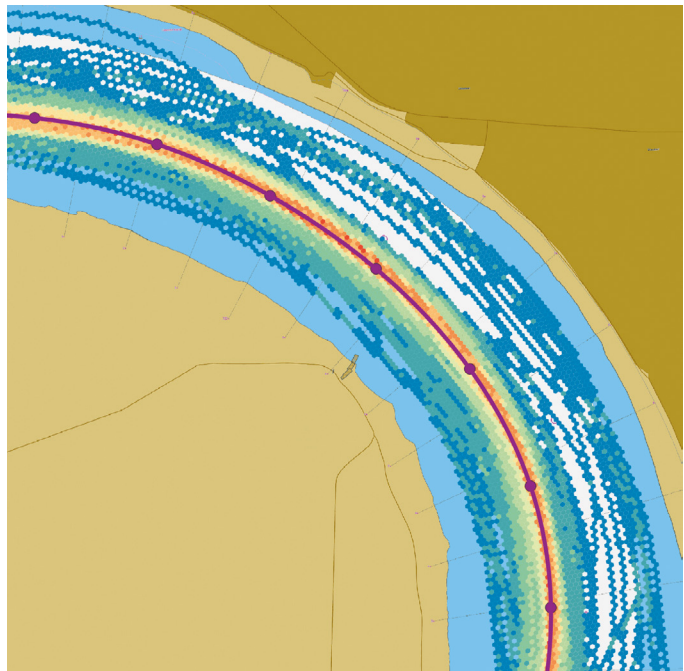


Abbildung 1: Erzeugung typischer Routen

Um das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer vorherzusagen, wurde basierend auf den Messdaten von mehreren hundert Schiffen aus mehreren Jahren eine Methode zur Erzeugung von typischen Routen, basierend auf einem hexagonalen Raster, einer Graphensuche und Glättung durch einen Spline-Ansatz entwickelt. Diese typischen Routen werden mit dynamischen Modellen, basierend auf dem Verhalten von Spurführungsassistenten, und mehreren Hypothesen kombiniert, um die Position und Lage anderer Verkehrsteilnehmer zu prädizieren. Neben der Prädiktion wurden „Intentions“ als Informationen über die Verkehrssituation genutzt. Hierbei handelt es sich um Informationen zu Position und Lage, welche von anderen Verkehrsteilnehmern über AIS oder einen zentralen Server geteilt werden, wenn sie mit einem Spurführungsassistenten ausgerüstet sind.

Die erste Methode zum Vermeiden von Kollisionen basiert auf der jetzigen Bedienung von Spurführungsassistenten, wobei der Schiffsführer die Sollbahn quer verschiebt, um mit konstanter Geschwindigkeit auszuweichen. Dieses Verhalten wurde in einem Optimierungsproblem formuliert, gelöst und an das Spurführungssystem kommuniziert. In einem weiteren Schritt kann die Veränderung der Geschwindigkeit notwendig sein, um eine Kollision zu vermeiden. Auch hierfür wird die optimale Geschwindigkeit berechnet und an den argoFuelPilot kommuniziert. Da beide

Methoden praktisch funktionieren, aber keine mathematische Sicherheit bieten, wurde ein Ansatz basierend auf Control Barrier Functions entwickelt, welcher beweisbar garantiert, dass unter bestimmten Bedingungen eine Kollision vermieden werden kann.

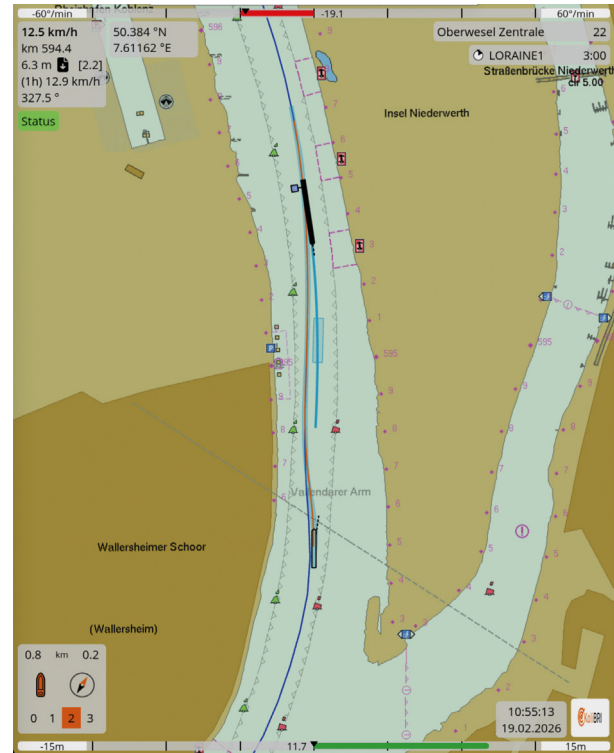
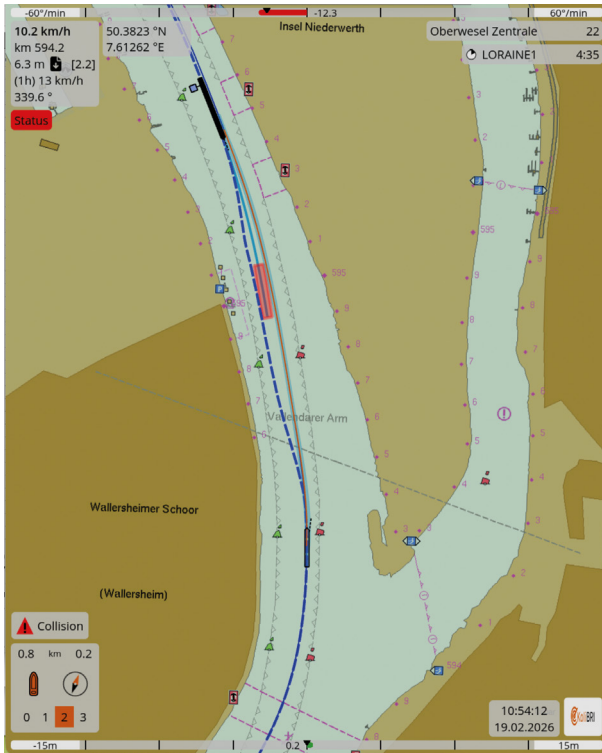


Abbildung 2: Generierung einer Ausweichroute unter Berücksichtigung der blauen Tafel.

