

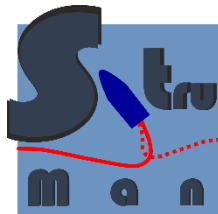
SICK AG

BC Autonomous Perception

Erwin-Sick-Str. 1

79183 Waldkirch

Verbundvorhaben: StruMan – Manövrieren & Regelung von Schiffen
in der Nähe von Strukturen



Teilvorhaben: Erfassung und Verarbeitung der Umgebungsinformationen

01.09.2022 - 31.08.2025

Abschlussbericht im Auftrag des Projektträgers Jülich (PTJ).

Forschungsprogramm:

Maritimes Forschungsprogramm

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03SX562C gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

September 2025

Zusammengestellt von: Volker Willhoeft

ABSCHLUSSBERICHT

Projekt	Verbundvorhaben: StruMan – Manövrieren & Regelung von Schiffen in der Nähe von Strukturen Teilvorhaben: Erfassung und Verarbeitung der Umgebungsinformationen
Kurzname	StruMan
Zuwendungsempfänger	SICK AG 79183 Waldkirch
Ausführende Stelle	SICK AG, Erwin-Sick-Str. 1, 79183 Waldkirch
Projektlaufzeit	01.09.2022 - 31.08.2025
Projektleiter	Dipl.-Ing. Volker Willhoeft
Projektträger	Projektträger Jülich der Forschungszentrum Jülich GmbH
Förderung	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Förderkennzeichen	03SX562C
Zuwendungsbescheid	vom 01.09.2022
Änderungsbescheide	vom 04.01.2023, 15.12.2023, 08.01.2025
Mitarbeiter	Dipl.-Ing. Jan Kifmann, Dipl.-Ing. Hauke Ludwig, Andrej Bycinskij



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



projektträger
jülich

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	5
1.1	Einleitung	5
1.2	Abbildungsverzeichnis	6
1.3	Tabellenverzeichnis.....	6
2	Projektführung	7
2.1	Aufgabenstellung.....	7
2.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	7
2.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	7
2.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	8
2.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.	8
3	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse	9
3.1	Szenarien und Anforderungen.....	9
3.1.1	UM-1: Erfassungsbereich.....	9
3.1.2	UM-2: Reichweite	10
3.1.3	UM-3: Updaterate.....	10
3.1.4	UM-4: Betrieb.....	10
3.1.5	UM-5: Schnittstelle	10
3.1.6	UM-6: Umfeldinformation.....	10
3.1.7	Datenschutz	11
3.1.8	Sicherheit	11
3.2	Systementwurf	11
3.2.1	Sensoren	12
3.2.2	Auswerterechner.....	13
3.2.3	Netzwerk	14
3.2.4	Stromverteilung	14
3.3	Versuchsträger „Archimedes“	15
3.3.1	Frontsensor	17
3.3.2	Mittelsensoren.....	18
3.3.3	Hecksensor	18
3.4	Umfeldmodell und Objektbildung.....	19
3.4.1	Erfassung der Umfelddaten	19
3.4.2	Vorverarbeitung der 3D Punktwolke.....	20
3.4.3	Umfeldmodell.....	22
3.4.4	Konturenausgabe.....	25
3.4.5	Systemsteuerung.....	25

3.4.6	Grafische Benutzeroberfläche	25
3.5	Schnittstelle zur Schiffssteuerung	26
3.6	Versuchsfahrt	26
3.6.1	Aufbau.....	27
3.6.2	Durchführung.....	27
3.6.3	Ergebnisse	28
3.7	Vorhabenziel.....	28
4	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	28
5	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	29
6	Voraussichtlicher Nutzen.....	29
7	Bekannt gewordener Fortschritt	29
8	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	30
9	Anhang: Projektziel.....	31
9.1	Ziel des Gesamtprojekts.....	31
9.2	Ziel des SICK Teilprojekts.....	31

1 Zusammenfassung

1.1 Einleitung

Der Wunsch nach hoch automatisierten oder autonomen Schiffen bedingt die Fähigkeit, Schiffe präzise automatisch manövrieren zu können. In dem Projekt StruMan werden Szenarien wie das automatische Anlegen oder das Manövrieren in der Nähe von Strukturen und beschränkten Fahrwassern erforscht und mit einem Versuchsträger erprobt. Dies erfordert die präzise Kenntnis aller Objekte in der Umgebung des Schiffes sowie der hydrodynamischen Verhältnisse in dieser Unterwasser-Umgebung, die Möglichkeit der Vorhersage sowie eine Regelung des Verhaltens von Schiff und Propulsion.

In diesem Teilprojekt „Erfassung und Verarbeitung der Umgebungsinformationen“ wurde ein Umfelderkassungssystem konzipiert, prototypisch umgesetzt und erprobt. Das System ist in der Lage, in Echtzeit die Umgebung rund um das gesamte Schiff zu überwachen und in Form von präzisen Objektkonturen an die Schiffsregelung zu übermitteln.

1.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anwendungsfälle	9
Abbildung 2: Einbettung des Umfelderkassungssystems ins Gesamtsystem	11
Abbildung 3: Prinzipaufbau des Umfelderkassungssystems	12
Abbildung 4: Links: LiDAR-Sensor MRS6224; rechts: Darstellung des Erfassungsbereichs	12
Abbildung 5: Industrie-PC Chcoze DX-1200	13
Abbildung 6: Ethernet-Switch "FL SWITCH 1000"	14
Abbildung 7: Stromverteilung der Komponenten (Eigenbau)	14
Abbildung 8: Aufbau der Stromverteilung des Umfelderkassungssystems	15
Abbildung 9: Kabelplan der Umfelderkassungssystems	15
Abbildung 10: Die Archimedes, mit den Anbaupositionen der Sensoren	16
Abbildung 11: Montierter Frontsensor	17
Abbildung 12: Montierte mittlere Sensoren auf der Steuerbordseite	18
Abbildung 13: Montierter Hecksensor	18
Abbildung 14: Blockdiagramm der Umfelderkassung	19
Abbildung 15: Detail-Blockschaltbild der Umfelderkassung	19
Abbildung 16: Ursprung des Schiffs-Koordinatensystems für die Umfelderkassung	20
Abbildung 17: Vorverarbeitung der Punktwolke	21
Abbildung 18: Bildung eines virtuellen Messwerts durch Reflektion an der Wasseroberfläche... 21	
Abbildung 19: Einfahrt in die Schleuse Raffelberg bei Duisburg	22
Abbildung 20: Einfahrt in die Schleuse, aus Sicht der Umfelderkassung	22
Abbildung 21: Schematische Darstellung der Objekt- und Objektkonturbildung	23
Abbildung 22: Erzeugung der Konturenzüge	23
Abbildung 23: Bildung von Konturen aus den Linienzügen	24
Abbildung 24: Ausgabe der Konturinformationen	25
Abbildung 25: Systemsteuerung	25
Abbildung 26: Die grafische Benutzeroberfläche (GUI) des IPC	26
Abbildung 27: Einfahrt in die Schleuse Raffelberg	27

1.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Funktionale Anforderungen an das Umfelderkassungssystem	9
--------------------------------------------------------------------------	---

2 Projektführung

2.1 Aufgabenstellung

Im Projekt StruMan soll der funktionsfähige Demonstrator eines neuartigen Manövriersystems „Advanced Maneuvering Pilot“ (AMP) entwickelt und auf einem Arbeitsschiff des WSA Rhein installiert und getestet werden. Der AMP eröffnet neue Möglichkeiten in Richtung Fahrempfehlungen und dem automatischen Anlegen für Schiffe mit azimuthierenden Antrieben.

Um die Tests eines Prototyps in der realen Umgebung realisieren zu können, bedarf es für das Gesamtsystem einer Echtzeit-Erkennung des Lagebildes rund um das Schiff, sowie der Erzeugung der entsprechenden räumlichen Umgebungsinformationen.

Dieses Umfeld-Erfassungssystem soll im Rahmen dieses Teilprojekts realisiert werden.

2.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Als Projektpartner im Bereich der Sensorik beschäftigt sich die SICK AG bereits in unterschiedlichen Projekten mit der Zukunft der Schifffahrt auf der Basis von landseitiger Sensorik. Aus deren Daten erfolgt eine Echtzeit-Erkennung des Lagebildes sowie der Übertragung der entsprechenden räumlichen Umgebungsinformation. Diese können sowohl für Schiffe als auch für landseitige Logistik genutzt werden. Klassische Anwendungen sind Kollisionsvermeidung und Positionierungsaufgaben.

In diesem Bereich liegt der Fokus von SICK aktuell in Häfen. Im Zuge dieses Projektes wird dieser um bordseitige Anwendung für die Automation von Binnenschiffen erweitert. Dafür werden unter anderem neue Technologien (z.B. alternative Laser-Wellenlänge) untersucht, die bereits in anderen Forschungsprojekten an Relevanz gewinnen. Schließlich sollen die eingesetzten Sensoren fusioniert werden, um ein komplettes 360°-Lagebild als Basis der Manövrier-Software zu erzeugen. Auf diese Weise kann für die spezifischen Anforderungen des Gesamtsystems ein leistungsstarkes und prototypisches LiDAR-System entwickelt werden, das zunächst vollständig der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung dient.

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Teilprojekt war in mehrere Phasen gegliedert:

1. Anforderungs- und Bedarfsanalyse. Hier wurden die grundlegenden Anforderungen festgelegt, also die Ziele des Gesamtsystems
2. Anwendungsfälle (Use Cases). Definition von relevanten und spezifischen Anwendungsfällen für Simulation und Versuch für Manövrieren in der Nähe von Strukturen für Binnenschiffe.
3. Funktionale Anforderungen. Aus den Anwendungsfällen wurden funktionale Anforderungen des Gesamtsystems auf die Anforderungen an die Sensorik heruntergebrochen, um das Umfelderkennungssystem zu entwerfen. Dies betrifft das Zusammenspiel der verschiedenen Sensoren und der Auswerteeinheit (Architektur), aber auch den möglichen Aufbau des neu zu entwickelnden Sensors (Design).
4. Sensorentwicklung. Hier sollte der neue Sensor (StruMan-LiDAR) konzipiert, umgesetzt, aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Dieser Aspekt des Teilvorhabens wurde verworfen, da die Anforderungen mit Standard-Sensorik umsetzbar waren.
5. Integration auf dem Versuchsträger. Das Umfelderkennungssystem wurde auf dem Versuchsträger, dem Taucherglockenschiff „Archimedes“, in Betrieb genommen.

2.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Umfeld erfassungssystem basiert auf dem bekannten LiDAR-Sensor MRS6224, von dem SICK 6 Geräte ins Projekt geliefert hat. Die Umfeld erfassung kombiniert Verfahren der Sensorfusion, 3D-Datenfilterung und Objektbildung zu einem performanten und hoch verfügbaren Auswertesystem.

Besondere Konstruktionen, Schutzrechte Dritter oder Literatur wurden nicht verwendet.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Eine Zusammenarbeit mit Dritten im Rahmen dieses Teilvorhabens fand nicht statt.

3 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

3.1 Szenarien und Anforderungen

In der ersten Projektphase wurden die Anwendungsfälle und die sich daraus ergebenden funktionalen Anforderungen abgeleitet. Die Anwendungsfälle umfassen folgende Szenarien:

- Anlegen an einem Anleger (entgegen der Strömungsrichtung),
- Anlegen an einem Anleger (in Strömungsrichtung),
- Verharren in einer strukturnahen Position (Arbeitseinsatz des Schiffes), und
- Schleusenvorgang (Einfahrt, Aufenthalt und Ausfahrt)

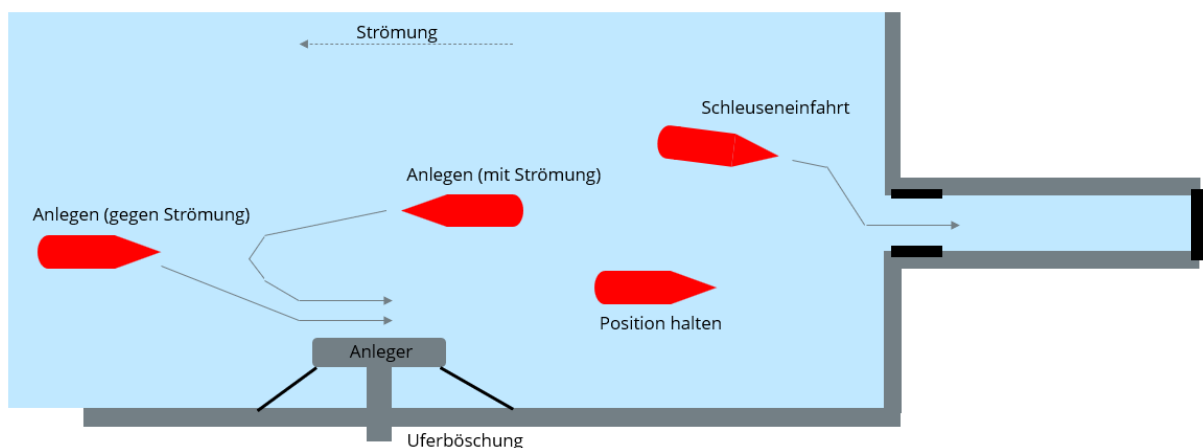


Abbildung 1: Anwendungsfälle

Diese 4 Szenarien umfassen einen weiten Teil des Einsatzspektrums des betrachteten Taucherglockenschiffs. Gleichzeitig sind sie, wegen der vorherrschenden Strömung, oft nur schwierig manuell zu fahren.

Aus diesen Szenarien wurden funktionalen Anforderungen für das Umfelderkennungssystem abgeleitet, die im Folgenden dargestellt sind:

Tabelle 1: Funktionale Anforderungen an das Umfelderkennungssystem

Name	Funktion	Anforderung
UM-1	Erfassungsbereich	360° (rund um das Schiff)
UM-2	Reichweite	35 m
UM-3	Updaterate	1 Hz Normalbetrieb, 5 Hz Schleuse
UM-4	Betrieb	24/7 Dauerbetrieb (Tag/Nacht)
UM-5	Schnittstelle	Ethernet
UM-6	Umfeldinformation	2D Objektdaten
UM-7	Datenschutz	Keine personenbezogenen Informationen
UM-8	Sicherheit	Keine Sicherheitsanforderungen (nur Assistenz)

3.1.1 UM-1: Erfassungsbereich

Das Schiff ist durch seine azimuthierenden Antriebe in der Lage, komplexe Fahrmanöver auszuführen. Daher ist es für die definierten Szenarien erforderlich, die gesamte Umgebung rund um das Schiff (360°) kontinuierlich zu erfassen, um die relative Position zu den umgebenden Strukturen zu beobachten und mögliche Kollisionen mit beweglichen Objekten frühzeitig zu erkennen.

3.1.2 UM-2: Reichweite

Für die Reichweite des Umfelderkennungssystems gilt grundsätzlich, daß eine hohe Reichweite wünschenswert ist, um viele Umgebungsinformationen zu erfassen und eine frühzeitige Reaktion zu ermöglichen. Allerdings steigen mit der Reichweite auch die Kosten der Sensoren und die Komplexität des Erkennungssystems, so daß ein für den Anwendungsfall geeigneter Kompromiss gefunden werden muss.

Der Versuchsträger „Archimedes“ hat eine Länge von rund 70 m. Die Reichweite der Sensoren wurde so bemessen, dass bei mittlerer Montage der seitlichen Sensoren noch eine Überdeckung des Erfassungsbereichs mit den Bug- und Hecksensoren gegeben ist. Außerdem definiert die Reichweite bei LiDAR-Sensoren nur die Detektionsfähigkeit auf ein schlecht sichtbares Referenzziel. Dies ist ein sog. „10%-Ziel“, also ein Ziel mit 10% diffuser Reflektion – i.d.R. ein mattschwarzes Ziel. Viele in realen Umgebungen vorkommende Objekte haben eine deutlich höhere Reflektivität und werden daher in größeren Entfernungen sicher erfasst.

3.1.3 UM-3: Updaterate

Die Updaterate gibt an, mit welcher Frequenz das Umfelderkennungssystem ein neues Lagebild an den Schiffsrechner übermittelt.

Der Versuchsträger hat keine hohe Bewegungsdynamik, daher kann die Updaterate relativ gering gewählt werden. Hierdurch werden die Anforderungen an das Auswertesystem – insbesondere an den Auswerterechner – vereinfacht. Allerdings erfordern insbesondere Manöver dicht an Strukturen eine Mindestupdaterate. Besonders kritisch ist dabei Einfahrt und Aufenthalt in der Schleuse, da der seitliche Abstand zwischen Schiff und Schleusenwand im Extremfall nur 10-20 cm beträgt und eine dynamische Lageregelung benötigt. Daher wurde die Updaterate für diesen Fall auf 5 Hz definiert.

Da die Latenzen der übrigen Komponenten, insbesondere das Stellen der Antriebe, groß sind ggü. der Latenz des Umfelderkennungssystems, kann die Updaterate auf ≥ 1 Hz festgelegt werden. Die Latenz des Umfelderkennungssystems ist nicht definiert, allerdings werden nur aktuelle Sensordaten verwendet, daher liegt die Latenz unter der Updatezeit, also < 1 s.

3.1.4 UM-4: Betrieb

Die Systemverfügbarkeit soll 24/7, also insbesondere im Tag- und Nachtbetrieb gegeben sein. Für das Sensorsystem kommen daher insbesondere LiDAR-Sensoren infrage, da sie unabhängig von externer Beleuchtung sind.

3.1.5 UM-5: Schnittstelle

Als Schnittstelle zwischen dem Umfelderkennungssystem und dem Schiffssystem soll Ethernet verwendet werden. Ethernet ist in allen gängigen Steuerungen verfügbar und schnell und flexibel genug, um die anfallenden Daten inklusive evtl. zusätzlicher Diagnose- oder Visualisierungsdaten zu übertragen. Dies wäre bei Alternativen wie etwa CAN nicht der Fall.

3.1.6 UM-6: Umfeldinformation

Die Umfeldinformationen, also die Daten der vom Sensorsystem erfassten Objekte, sollen als 2D-Informationen an die nachgeschaltete Steuerung übertragen werden. Da die Umfelderkennung insbesondere der Lageregelung und Kollisionsvermeidung dienen, ist die Ausgabe in 2 Dimensionen, also in der x-y-Ebene (ohne Höhenangabe) sinnvoll. Das System reduziert die Objekte dabei auf den Teil der Objektkontur, die am dichtesten an der Schiffskontur liegt.

3.1.7 Datenschutz

Das Umfelderkennungssystem soll keine personenbezogenen Daten erzeugen, speichern oder ausgeben. Durch die Verwendung von LiDAR-Sensoren (anstelle von z.B. Kameras) kann diese Forderung relativ einfach erfüllt werden.

3.1.8 Sicherheit

Das konzipierte Umfelderkennungssystem ist ein Assistenzsystem; insbesondere hat es keine personensicherheits-gerichteten Eigenschaften. Die Verantwortung für die sichere Handhabung des Schiffs verbleibt vollständig beim Schiffsführer.

3.2 Systementwurf

Aus den in Kap. 3.1 genannten Szenarien und Anforderungen wurde das Umfelderkennungssystem konzipiert. Die Einbettung ins Gesamtsystem ist in Abbildung 2 dargestellt.

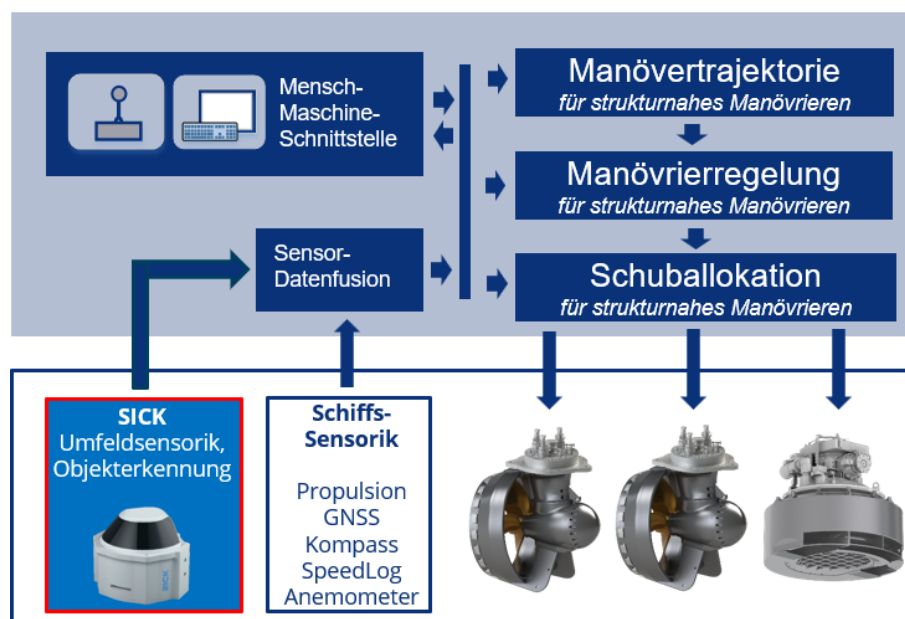


Abbildung 2: Einbettung des Umfelderkennungssystems ins Gesamtsystem

Das SICK-Modul ist im Bild oben rot umrandet. Die erzeugten Umgebungsinformationen werden über eine Ethernetschnittstelle an einen ebenfalls von SICK bereitgestellten Funktionsblock in der übergeordneten Steuerung übertragen.

Das SICK-Modul besteht intern aus den Sensoren zur Umfelderkennung, und dem System (Industrie-PC + Software) zur Datenverarbeitung. Dieser Aufbau ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

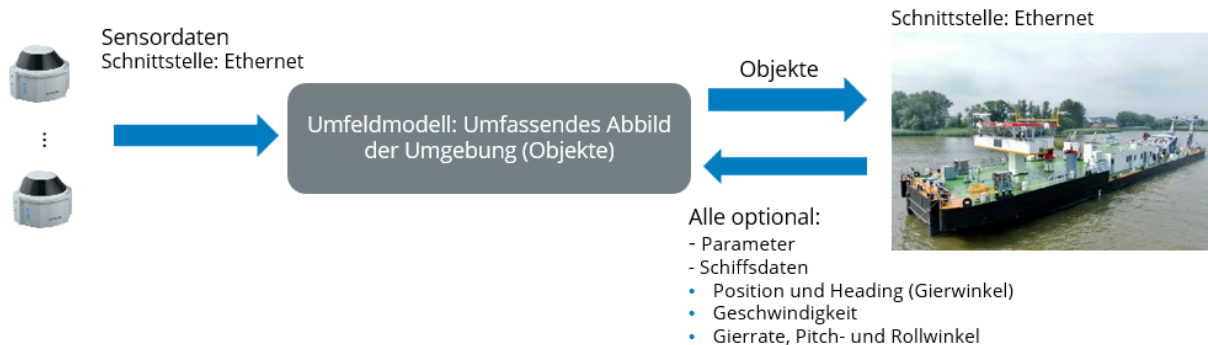


Abbildung 3: Prinzipaufbau des Umfelderkennungssystems

Der Prinzipaufbau sieht auch einen Rückkanal für die Datenübertragung von der Schiffssteuerung zum Umfelderkennungssystem vor. Auf die Nutzung dieses Rückkanals wurde im Projekt verzichtet, die nötige Parametrierung wird stattdessen über die grafische Benutzeroberfläche des Umfelderkennungssystems vorgenommen.

3.2.1 Sensoren

Als Sensor wurde der Bestandssensor MRS6224 ausgewählt. Hierbei handelt es sich um einen 3D-LiDAR-Sensor mit einem Erfassungsbereich von 120° (horizontal) und 15° vertikal. Die Reichweite beträgt bis zu 42 m (im erweiterten Messmodus) auf Ziele mit 10% Remission, der Messbereich geht bis zu 200 m.

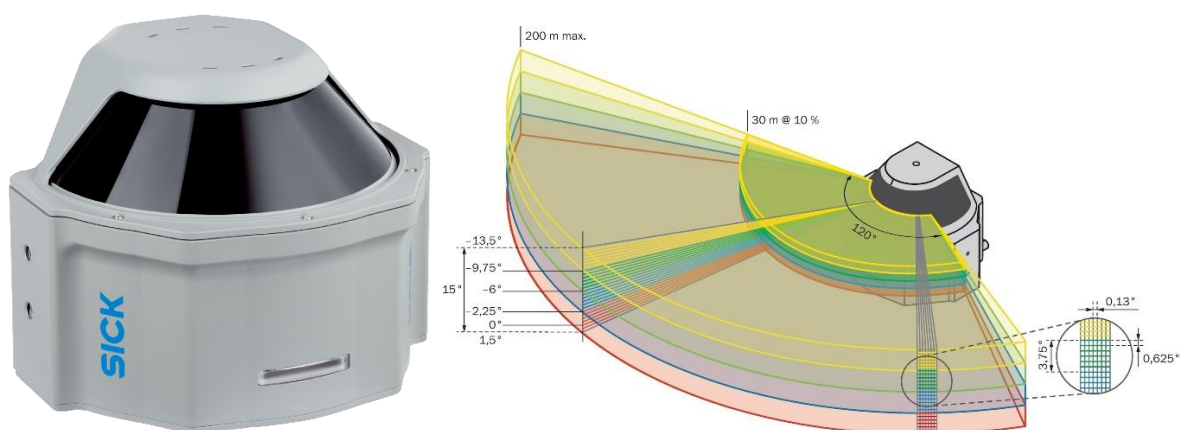


Abbildung 4: Links: LiDAR-Sensor MRS6224; rechts: Darstellung des Erfassungsbereichs

Der Sensor verfügt über eine Gbit-Ethernet-Schnittstelle, über die die Steuerung und Datenausgabe erfolgt.

Der MRS6224 verfügt über die für die Applikation StruMan benötigten Eigenschaften:

- Weites Sichtfeld. Durch den horizontalen Öffnungswinkel von 120° können sich die Messbereiche mehrerer Sensoren überlappen und damit eine lückenlose Objektdetektion gewährleisten
- Mehrzielfähigkeit. Jede Messung ist mehrzielfähig, d.h. pro ausgesendetem „Laserschuss“ können bis zu 4 Ziele in der jeweiligen Messrichtung detektiert werden. Dadurch wird die Messung robust ggü. Störungen z.B. durch Regentropfen.
- Schutzart IP65 und IP67. Der Sensor ist uneingeschränkt geeignet für den Outdoor-Einsatz.

- 3D Sichtfeld. Durch den vertikalen Öffnungswinkel von 15 Grad wird ein weites Messfeld aufgespannt, in dem Objekte detektiert werden. Dadurch verringert sich die Gefahr, ein besonders flaches oder hoch angebrachtes Objekt nicht zu detektieren.

Der MRS6224 arbeitet mit einer Laser-Lichtwellenlänge von 870 nm (sog. „nahes Infrarot“). In vorangegangenen Forschungsprojekten wurde der Einsatz von LiDAR-Sensoren mit 1550 nm Wellenlänge untersucht. Der Vorteil der größeren Wellenlänge ist, daß wegen der geringeren Gefahr einer Augenschädigung deutlich höhere Laserleistungen zulässig sind. Diese höhere Leistung kann applikationsabhängig dazu genutzt werden, um Detektionsparameter wie z.B. Reichweite oder Robustheit gegenüber Wettereinflüssen zu verbessern. Allerdings haben solche Sensoren aktuell den Nachteil eines deutlich höheren Preises, der sich größtenteils aus den deutlich teureren Komponenten ergibt. Dem gegenüber stehen Verbesserungen, die für die Anwendung bei StruMan als nicht relevant bewertet wurden, so daß der niedrigere Preis den Ausschlag gab für den Einsatz der MRS6224-LiDAR-Sensoren bei StruMan.

Ursprünglich war zusätzlich der Einsatz weiterer Sensoren vorgesehen, um z.B. im Bereich der Schleuse besonders schnell reaktiv zu sein. Dieser im Systementwurf vorgesehene „Fast Track“ wurde im Projektverlauf verworfen, weil die Latenz der Umfelderfassung relativ gering ist gegenüber der Latenz der Antriebe, so daß keine speziellen Maßnahmen für eine schnelle Datenerfassung und -abgabe erforderlich waren.

3.2.2 Auswerterechner



Abbildung 5: Industrie-PC Chcoze DX-1200

Als Auswerterechner kommt ein Industrie-PC vom Typ Chcoze DX-1200 zum Einsatz. Dieser Rechner ist für den robusten Einsatz in anspruchsvollen Anwendungen konzipiert und nach gängigen Normen z.B. nach MIL-Standard und für Bahnanwendungen zertifiziert. Sein Umgebungstemperaturbereich ist mit $-40...+70^{\circ}\text{C}$ gut geeignet für unbekannte Betriebsbedingungen auf Schiffen.

Als CPU ist der i5-12500TE-Prozessor von Intel verbaut, der über 6 Rechenkerne verfügt und mit bis zu 4,3 GHz getaktet werden kann. Die CPU erlaubt die simultane Ausführung von bis 12 Programm-Threads und kann damit die parallel eintreffenden Datenströme der 6 Sensoren parallel entgegennehmen und decodieren.

3.2.3 Netzwerk

Als Netzwerk zur Verbindung von Sensoren, IPC und dem Schiffnetzwerk wird Gbit-Ethernet (1000BASE-T, definiert in der IEEE 802.3ab Norm) verwendet.



Abbildung 6: Ethernet-Switch "FL SWITCH 1000"

Zentraler Netzwerkschalt für den Sensoraufbau ist der Switch FL SWITCH 1108N von Fa. Phoenix Contact. Dieser unmanaged Industrie-Switch verfügt über 8 Gbit-Ethernet-Ports. Wie bei Industriegeräten üblich ist der erweiterte Temperaturbereich von $-10\dots+60^{\circ}\text{C}$.

3.2.4 Stromverteilung



Abbildung 7: Stromverteilung der Komponenten (Eigenbau)

Die Stromversorgung der Komponenten des Umfelderkassungssystems wird von einem Standard Festspannungs-Tischnetzteil 24V / 250W übernommen. Für die Verteilung an die Komponenten wurde ein eigener Verteiler gebaut. In diesem sind die Nutzer (1x IPC, 1x Netzwerkschalt, 6x Sensoren) einzeln abgesichert. Der Ausfall einer Sicherung wird durch jeweils eine zugehörige LED angezeigt, um die Fehlersuche zu erleichtern.

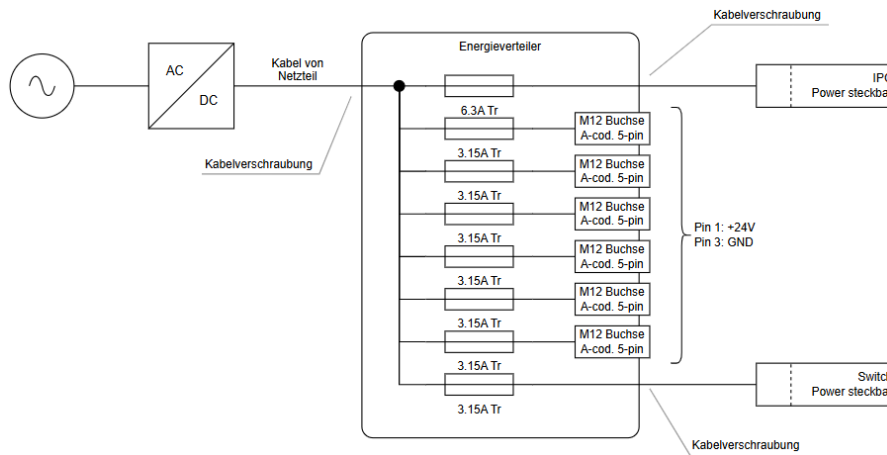


Abbildung 8: Aufbau der Stromverteilung des Umfelderkassungssystems

Die Sensoren können mit Standardkabeln mit M12-Verbinder angeschlossen werden, um einfache Montage und Demontage zu gewährleisten. Durch die relativ geringe Stromaufnahme der Sensoren sind auch Leitungslängen von 50 m und mehr möglich.

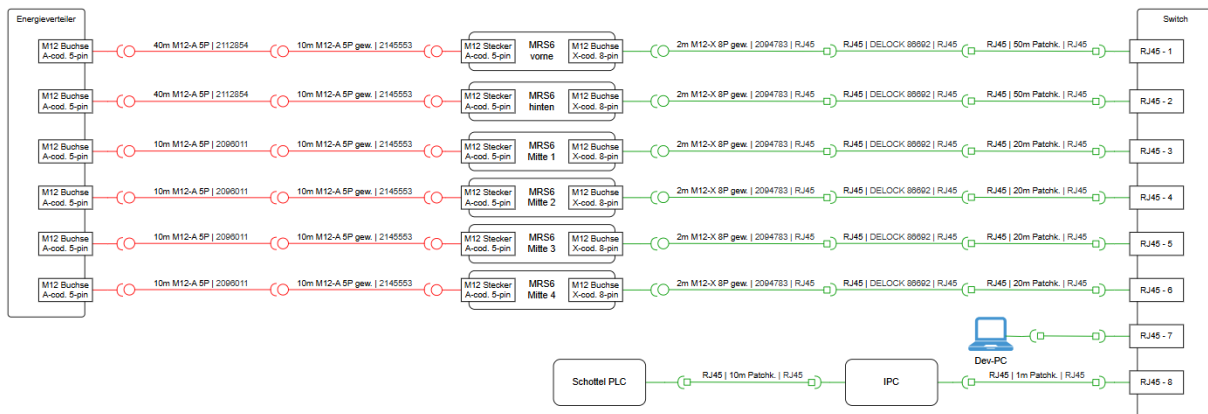


Abbildung 9: Kabelplan der Umfelderkassungssystems

3.3 Versuchsträger „Archimedes“

Für die 360°-Absicherung der Archimedes sind mindestens 6 Sensoren MRS6224 erforderlich. Die gewählten Anbaupositionen sind in der folgenden Grafik markiert.



Abbildung 10: Die Archimedes, mit den Anbaupositionen der Sensoren

Da im Rahmen des StruMan-Projekts nur temporäre Aufbauten an der Archimedes montiert werden und den Betrieb nicht behindern sollen, sind die Montagepunkte für gute und einfache Erreichbarkeit ausgewählt. Die Decksaufbauten verdecken einige Sichtbereiche, so daß die Rundumsicht zwar nicht mehr lückenlos ist, aber trotzdem weite Teile rund um das Schiff abdeckt. Durch zusätzliche Sensoren könnte eine verbesserte Abdeckung erreicht werden, allerdings steigen dann auch die Kosten des Gesamtsystems.

3.3.1 Frontsensor



Abbildung 11: Montierter Frontsensor

Der Frontsensor wurde an einem Gestänge direkt vor der Brücke angebracht. Das Sichtfeld umfasst den gesamten Bereich vor dem Schiff, wird allerdings durch die Reling und einige Aufbauten auf dem Vorschiff eingeschränkt.

Die ursprünglich angedachte Montage seitlich auf der Brücke wurde verworfen, da in diesem Fall die Anbauhöhe des Sensors wegen der höhenverstellbaren Schiffsbrücke nicht konstant gewesen wäre, was die Datenfusion mit den übrigen Sensoren erschwert.

3.3.2 Mittelsensoren



Abbildung 12: Montierte mittlere Sensoren auf der Steuerbordseite

Die mittleren Sensoren werden als Pärchen etwa in Schiffsmitte montiert. Ihre Sichtbereiche überlappen sich etwas, wodurch sich eine gute seitliche Detektionsfähigkeit z.B. bei Anlegemannövern ergibt. Durch ihre erhöhte Anbauposition muss beim Sichtbereich ein (ggf. applikationsabhängiger) Kompromiss zwischen Detektionsweite (geringer Neigungswinkel der Sensoren) und der Detektion von Objekten direkt neben dem Schiff (stärkerer Neigungswinkel) gefunden werden. Auf der Versuchsfahrt wurden dazu Aufnahmen mit 10°, 15° und 20° Neigungswinkel gemacht.

3.3.3 Hecksensor



Abbildung 13: Montierter Hecksensor

Für die Montage des Heckensors kommen jeweils die Backbord- oder Steuerbord Außenseiten infrage, da die Schiffsmitte durch die Taucherglocke keine Montageoptionen bietet.

3.4 Umfeldmodell und Objektbildung

Das Umfeldmodell hat die Aufgabe, die anfallenden Sensordaten zu verarbeiten und daraus ein konsistentes Abbild der Umgebung zu erstellen. Als Ausgabedaten sollen Objektinformationen geliefert werden, also die Konturenzüge der momentan detektierten Objekte.

Für das Umfeldmodell sind die Anforderungen UM-3 (Updaterate), UM-5 (Schnittstelle) und UM-6 (Umfeldinformation) relevant:

- Updaterate. Die Erfassung der Sensordaten, Verarbeitung und Ausgabe der Umfeldinformationen muß in Echtzeit mit geringer Latenz erfolgen.
- Schnittstelle: Als Aufgabeschnittstelle wird Ethernet benutzt.
- Umfeldinformation: Um die Ausgabedaten so kompakt wie möglich zu halten, wird die Umfeldinformation in Form von 2D-Objekten ausgegeben.

Das Blockdiagramm des gesamten Umfelderkassungssystems ist in Abbildung 14 dargestellt. Die einzelnen Komponenten werden im Folgenden erläutert.

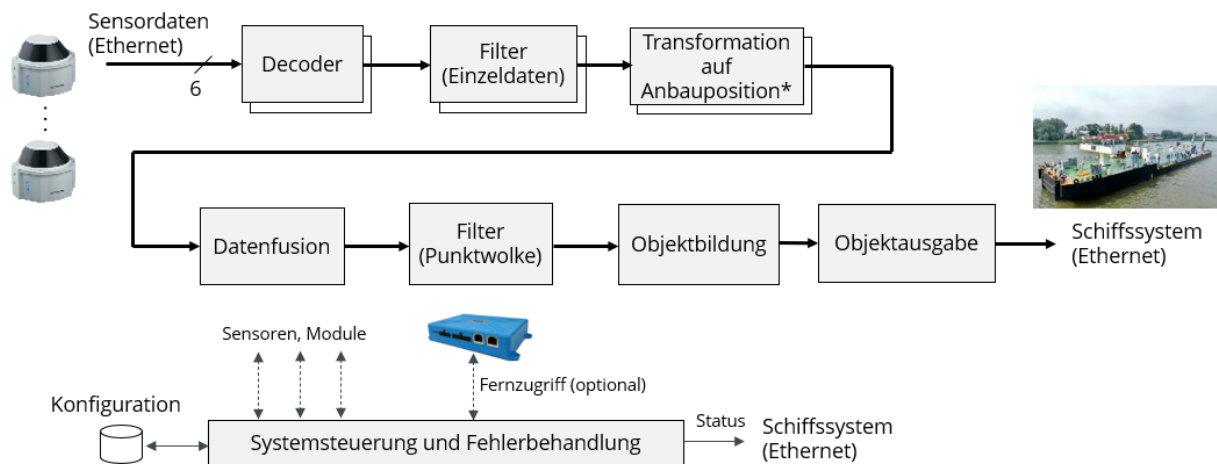


Abbildung 14: Blockdiagramm der Umfelderkassung

3.4.1 Erfassung der Umfelddaten

Die eigentliche Erfassung des Umfelds bildet – nach den Sensoren - den ersten Teil des Auswertesystems.

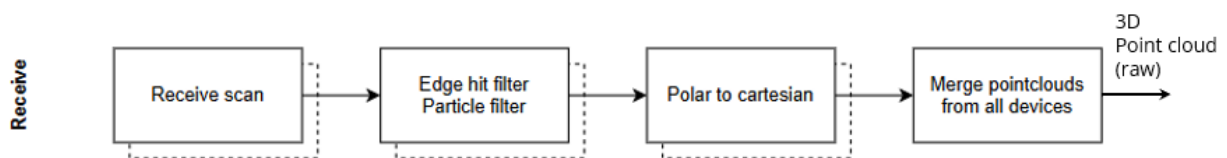


Abbildung 15: Detail-Blockschaltbild der Umfelderkassung

Dazu gehören die im Detail Blockschaltbild (Abbildung 15) dargestellten Komponenten:

- Receive scan: Einlesen der Sensordaten von der Schnittstelle, und Überführung in das intern verwendete 3D-Datenformat.
- Edge hit filter, Particle filter (Einzeldaten): Filterung der Einzelscans zur Entfernung unplausibler oder nicht benötigter Daten. Diese Filter müssen auf Einzelscans ausgeführt werden, solange der geometrische Zusammenhang der Pixel noch gegeben ist. In der späteren Punktwolke sind benachbarte Messwerte eines Sensors i.d.R. viel aufwändiger zu berechnen.

Der „Edge hit filter“ entfernt Punkte, die sich aus sog. Kantentreffern ergeben. Diese Messpunkte liegen i.d.R. mittig zwischen zwei realen Zielen. Werden sie nicht entfernt, ist die spätere Segmentierung der Daten schwieriger.

Der Particle filter entfernt einzelne, räumlich isolierte Messwerte, wie sie z.B. durch das Rauschen im Empfänger entstehen können.

- Polar to cartesian: Transformation des Einzelscans auf das gemeinsame Koordinatensystem, unter Berücksichtigung der jeweiligen Anbauposition und Ausrichtung. Grundlage ist die bei der Inbetriebnahme eingemessene Anbauposition der Sensoren, und der definierte Ursprung des Schiffs-Koordinatensystems (s. Abbildung 16).
- Merge pointclouds from all devices: Hinzufügen der Daten zur gemeinsamen Punktwolke. Jeweils aus den Daten der 6 Einzelsensoren wird eine neue 3D-Punktwolke gebildet.

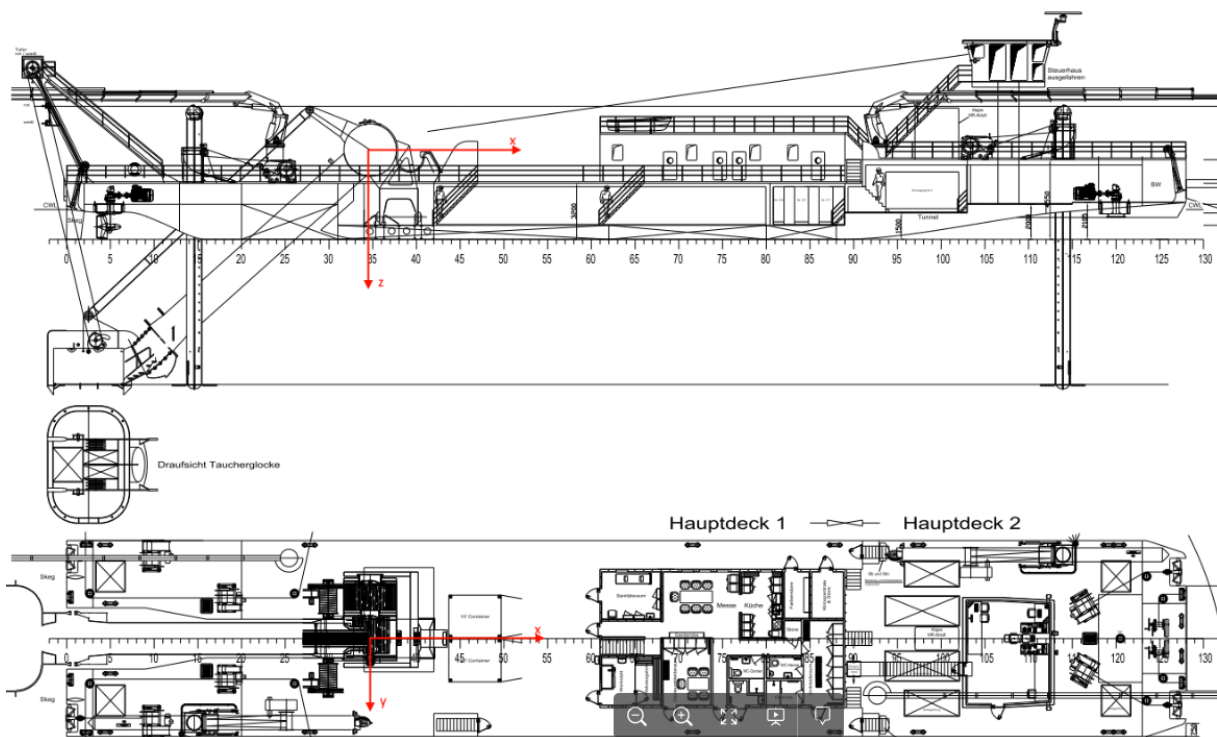


Abbildung 16: Ursprung des Schiffs-Koordinatensystems für die Umfelderkennung

Das Ergebnis der Umfelderkennung ist eine Punktwolke, die alle Messdaten der 6 LiDAR-Sensoren enthält („Raw 3D Pointcloud“).

Sobald die Punktwolke die Daten aller 6 Sensoren beinhaltet, wird sie an das Umfeldmodell zur Verarbeitung weitergegeben. Sind nicht alle Sensoren verfügbar, wird die Punktwolke weitergegeben, sobald die Daten aller verfügbaren Sensoren eingetroffen sind. Die Verfügbarkeit der Sensoren wird dem Schiff in einer Statusmeldung mitgeteilt, damit ggf. Maßnahmen ergriffen werden können.

3.4.2 Vorverarbeitung der 3D Punktwolke

Im Zuge der Vorverarbeitung der Punktwolke werden Punkte entfernt, die für das folgende Umfeldmodell nicht benötigt werden, und die Punktwolke wird von 3D (x-y-z) in ein 2D-Format (x-y)

konvertiert. Im Gegensatz zum vorherigen Schritt, in dem die Sensoren, deren Detektionseigenschaften und deren Montagepositionen entscheidend waren, sind hier die Anforderungen des folgenden Umfeldmodells maßgeblich.

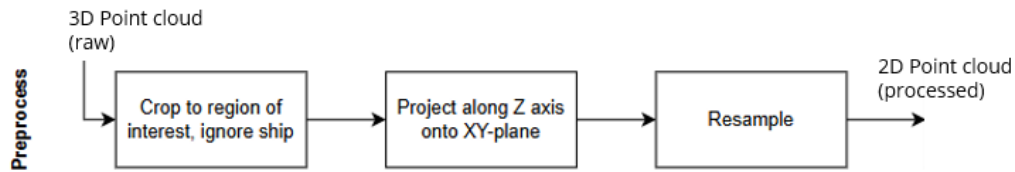


Abbildung 17: Vorverarbeitung der Punktwolke

Die Module der Vorverarbeitung sind:

- Crop to Region-of-interest, ignore ship: Entfernen aller Punkte, die innerhalb der konfigurierten Kontur des Schiffs (modelliert in Form eines Quaders, zuzüglich eines Sicherheitsabstands) liegen.
- Project along Z axis onto XY plane: Projizieren aller Punkte auf die X-Y-Ebene, ohne Berücksichtigung der Höhe (z-Komponente) der Punkte
- Resample: Durch das Projizieren auf die X-Y-Ebene ergeben sich an einigen Stellen Anhäufungen von Punkten, die keine zusätzliche Information tragen. In diesem Schritt werden solche „Punktehaufen“ durch einen einzelnen Messwert ersetzt, um die Datenmenge zu reduzieren und die folgenden Verarbeitungsschritte schneller durchführen zu können.

Eine Besonderheit der „Crop to Region-of-interest“-Funktion ist die Entfernung aller Messpunkte auf und unterhalb der Wasseroberfläche. Messpunkte unterhalb der Wasseroberfläche können durch Reflektionen an der Oberfläche entstehen, falls es echte Ziele in der Umgebung gibt.

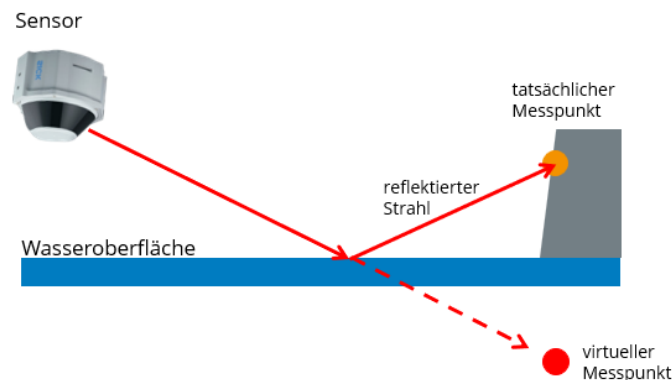


Abbildung 18: Bildung eines virtuellen Messwerts durch Reflektion an der Wasseroberfläche

Diese Bildung von virtuellen Messwerten unterhalb der Wasseroberfläche ist in Abbildung 18 dargestellt. Der Messstrahl wird an der Wasseroberfläche reflektiert und trifft auf ein Ziel, z.B. ein anderes Schiff oder die Uferböschung. Das zurückgestreute Licht wird ebenfalls zurück zum Sensor reflektiert. Da der Sensor die Reflektion nicht erkennen kann, berechnet er einen Messpunkt in gerader Linie seiner Messung, der nun unterhalb der Wasseroberfläche zu liegen scheint. Solche Messungen sind i.d.R. für die Funktion auf dem Schiff nicht schädlich, da der Sensor das reale Objekt zusätzlich mit einem anderen Messstrahl an der korrekten Position detektiert. Der „falsche“ Messpunkt kann also gelöscht werden, ohne die Objektbildung zu gefährden.

Ausgabe der Vorverarbeitung ist eine auf das Minimum reduzierte 2D Punktwolke, anhand derer das Umfeldmodell aufgebaut wird.

3.4.3 Umfeldmodell

Die Module des Umfeldmodells überführen die Punktwolke der Messdaten in das definierte Abbild der Umgebung. Nach der Anforderung UM-6 (Umfeldinformation) handelt es sich um einfache 2D-Objekte, die für die präzise Führung des Versuchsträgers hinreichend sind.

Die Ausgabe des Umfeldmodells ist im folgenden Beispiel anhand einer Szene der Versuchsfahrt dargestellt.



Abbildung 19: Einfahrt in die Schleuse Raffelberg bei Duisburg

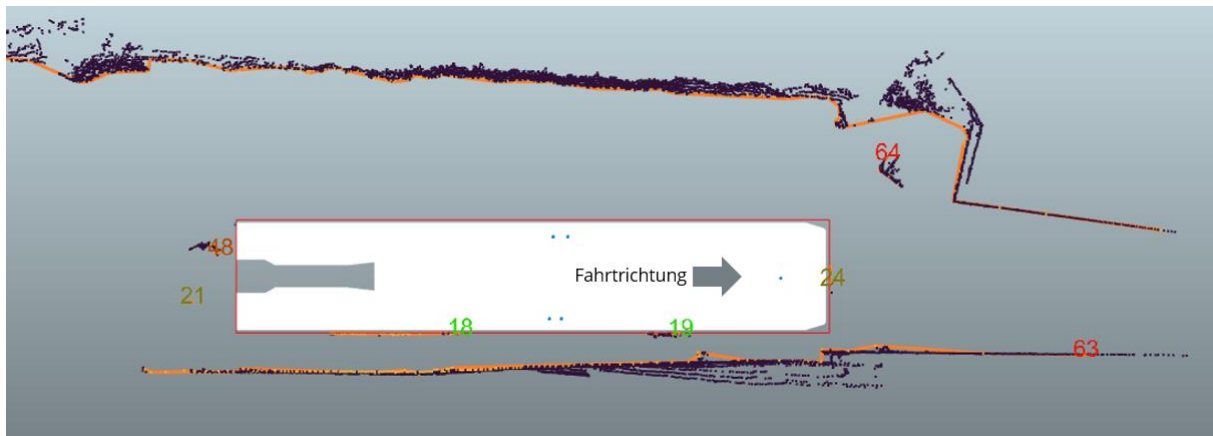


Abbildung 20: Einfahrt in die Schleuse, aus Sicht der Umfelderkennung

Die Archimedes fährt in die Ruhrschleuse Raffelberg bei Duisburg ein; Abbildung 19 (Foto vom Bug der Archimedes und der Schleuse) und Abbildung 20 (Umfelderfassung). Der Screenshot der Umfelderkennung zeigt den Blick aus der Vogelperspektive auf die x-y-Ebene, mit dem Schiff in der Mitte. Die schwarzen Punkte sind die einzelnen Messdaten, die für die Objektbildung verwendet werden. Die orangenen Linien zeigen die Konturenzüge der gebildeten Objekte, die Zahlen sind die IDs (Kennnummern) der Objekte.

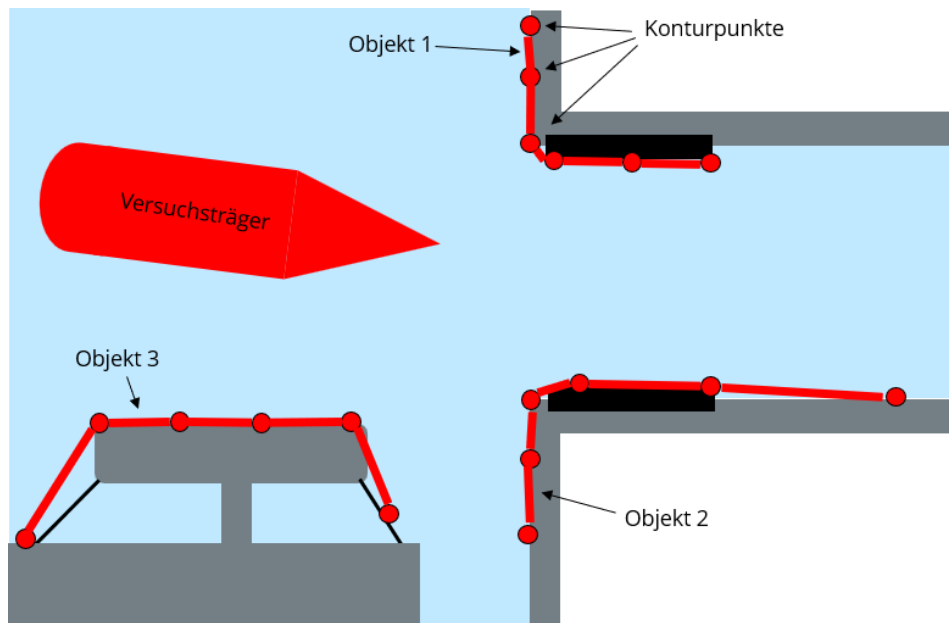


Abbildung 21: Schematische Darstellung der Objekt- und Objektkonturbildung

Die Bildung von Objekten und deren Kontur ist schematisch in Abbildung 21 dargestellt. Zunächst werden die Scanpunkte (nicht dargestellt) in Winkelrichtung sortiert. Dann folgt die Objektbildung, indem zusammenhängende Scanpunktbereiche einem Objekt zugeordnet werden.

Das Umfeldmodell im Detail:

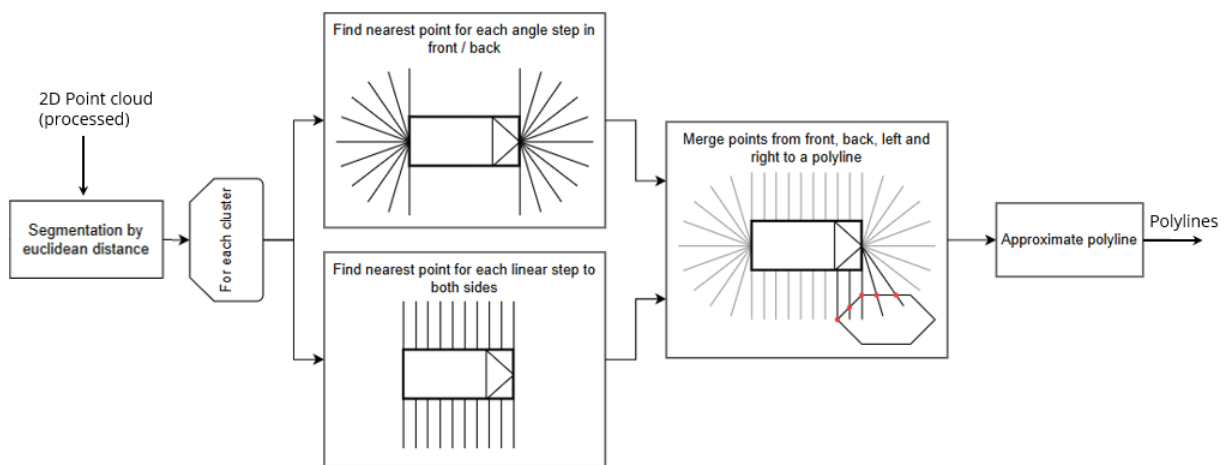


Abbildung 22: Erzeugung der Konturenzüge

Der erste Schritt des Umfeldmodells ist die Erzeugung der Konturenzüge aus der Punktwolke (s. Abbildung 22). Sie werden in Form von sog. Polylines berechnet, also Linienzüge aus mehreren, aufeinanderfolgenden Punkten.

- Segmentation: Zerlegung der Punktwolke in einzelne Gruppen (Cluster). Das Trennkriterium ist der Abstand zwischen den Messpunkten: Überschreitet der Abstand zwischen 2 Punkten einen Schwellwert, dann wird das aktuelle Cluster beendet und ein Neues begonnen.
- Find nearest point: Für jedes Cluster werden, rund um das Schiff herum, die dichtesten Punkte gesucht. Pro Winkelsegment wird nur der jeweils dichteste Punkt gespeichert.
- Merge points: Für jedes Cluster wird aus seinen gefundenen Punkten seine Kontur in Form eines Linienzugs (Polyline) gebildet.

Die so erzeugten Konturenzüge sind die Eingabedaten für die Assoziation. Die Assoziation versucht, die im vorigen Zyklus erkannten Konturen den aktuellen Konturen zuzuordnen, um z.B. die Objekt-IDs gleich zu halten.

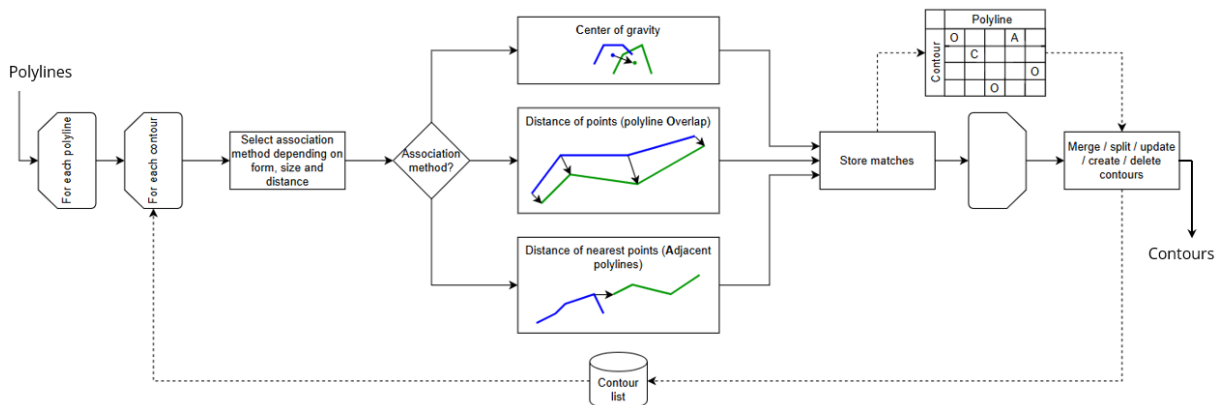


Abbildung 23: Bildung von Konturen aus den Linienzügen

Die Bildung der Konturen aus den 2D Linienzügen ist in Abbildung 23 dargestellt. Es wird jeder Linienzug mit jeder (aus dem vorherigen Zyklus bekannten) Kontur verglichen, und mögliche Übereinstimmungen gespeichert. Durch die Veränderung der Blickwinkel der Sensoren, vorbeifahrende Objekte oder Verdeckungen durch Objekte im Vordergrund können dabei mehrere Linienzüge zu einer Kontur zugeordnet werden. Genauso kann sich eine Kontur in mehrere, einzelne Konturen aufspalten, wenn sich z.B. ein Boot von einem Anleger löst.

Die Zuordnung kann dabei nach verschiedenen Methoden erfolgen. Kleinere Objekte können erfolgreich mit dem Center-of-gravity Kriterium zugeordnet werden, bei dem der Schwerpunkt der neuen Punkte mit dem Schwerpunkt der Kontur verglichen wird. Da der Schwerpunkt bei größeren bzw. längeren Konturen nur wenig Aussagekraft hat, kann bei solchen Linienzügen eher der Distanzvergleich der Einzelpunkte eingesetzt werden.

Anhand der gefundenen Vergleichsergebnisse werden entsprechend der eingestellten Parameter bestmögliche neue Konturen gebildet. Diese Konturen bilden dann wieder die Grundlage für den nächsten Zyklus, und werden an die Ausgabe übergeben.

Als interne Daten enthalten die Konturen, neben den eigentlichen Konturpunkten, noch Meta-Informationen wie z.B. eine eindeutige Kennung. Anhand dieser Kennung kann später die Zuordnung zur für die Ausgabe verwendeten ID vorgenommen werden, ohne daß man sich in diesem Arbeitsschritt bereits auf eine geringe Konturenanzahl beschränken muß.

Konturen aus den vorherigen Verarbeitungsschritten, die keinen aktuellen Linienzügen zugeordnet werden konnten, werden noch für einige weitere Verarbeitungsschritte weitergeführt, bevor sie gelöscht werden. Dadurch können kurzzeitig verdeckte Konturen schneller und mit der gleichen Kennung (ID) wieder aufgesetzt werden, als es ohne diese Weiterführung möglich wäre. Die Dauer, die eine Kontur ohne aktuelle Daten weitergeführt wird, ist einstellbar und liegt typisch im Bereich von einigen Sekunden.

3.4.4 Konturenausgabe

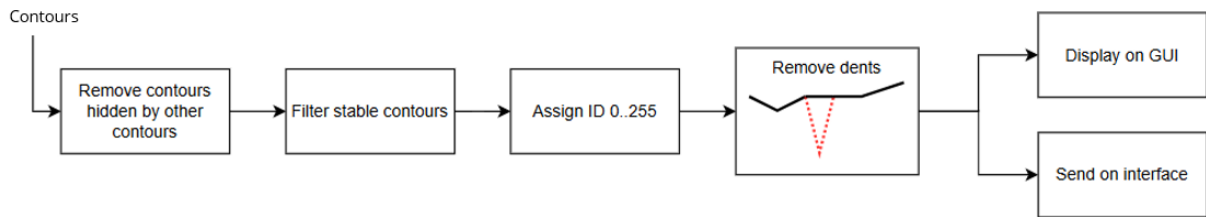


Abbildung 24: Ausgabe der Konturinformationen

Im letzten Verarbeitungsschritt werden die berechneten Konturinformationen ausgegeben. Die Ausgabe erfolgt an die GUI (über einen Web-Browser, der mit dem Webserver des IPC verbunden ist) und an den von Fa. Schottel bereitgestellten Steuerungsrechner („Schiffssystem“).

Die Ausgabe wird auf für das Schiff relevante, stabile Konturen begrenzt. Konturen, die vom Schiff aus gesehen hinter anderen Konturen liegen werden verworfen. Ebenso werden Konturen, die noch nicht über eine einstellbare Anzahl von Zyklen beobachtet wurden, verworfen.

Die verbleibenden Konturen werden nun einer Ausgabe-ID zugeordnet. Diese ID bleibt konstant, solange die Kontur auch intern weiterhin verfolgt wird, und wechselt erst nach einem Verlust oder einer gravierenden Änderung der Kontur - etwa der Teilung in zwei separate Konturen, wobei eine der beiden neuen Konturen eine neue Ausgabe-ID erhält.

Schließlich werden die Konturenzüge noch geglättet, um für die Schiffssteuerung irrelevante „Zacken“ zu entfernen. Die so aufbereiteten Konturinformationen werden dann an die GUI sowie über Ethernet an die Schiffssteuerung übertragen.

3.4.5 Systemsteuerung

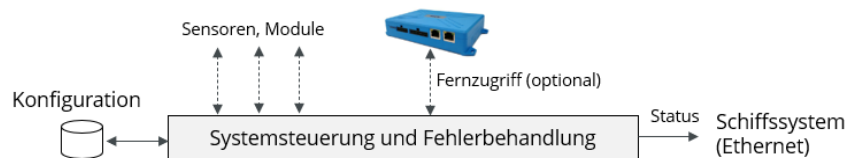


Abbildung 25: Systemsteuerung

Die Systemsteuerung (Abbildung 25, s. auch Abbildung 14) übernimmt alle systemübergreifenden Aufgaben der Umfelderfassung. Dazu gehören:

- Fehlermanagement
- Bereitstellung eines Systemstatus
- Parameterspeicher

Das integrierte Fehlermanagement prüft insbesondere, ob regelmäßig Daten der angeschlossenen Sensoren eintreffen, und diese Daten plausibel sind (also z.B. überhaupt Scanpunkte enthalten). Wird hierbei ein Fehler detektiert, so wird dieser als Systemstatus mit auf der Objektschnittstelle übermittelt, und zusätzlich auf der GUI angezeigt. Durch die konkrete Benennung des bzw. der ausgefallenen Sensoren ist eine gezielte Fehlerbehebung möglich.

3.4.6 Grafische Benutzeroberfläche

Die grafische Benutzeroberfläche (GUI) des Umfelderfassungssystem zeigt verschiedene Inhalte des Systems in einem Webbrowser an. Sie dient hauptsächlich der Einrichtung des Systems und der Diagnose im Fehlerfall. Die ebenfalls angezeigten 3D-Daten ermöglichen aber auch einen

schnellen Überblick über die Sichtbereiche der Sensoren, um z.B. evtl. abgeschattete/nicht einsehbare Bereiche zu erkennen.

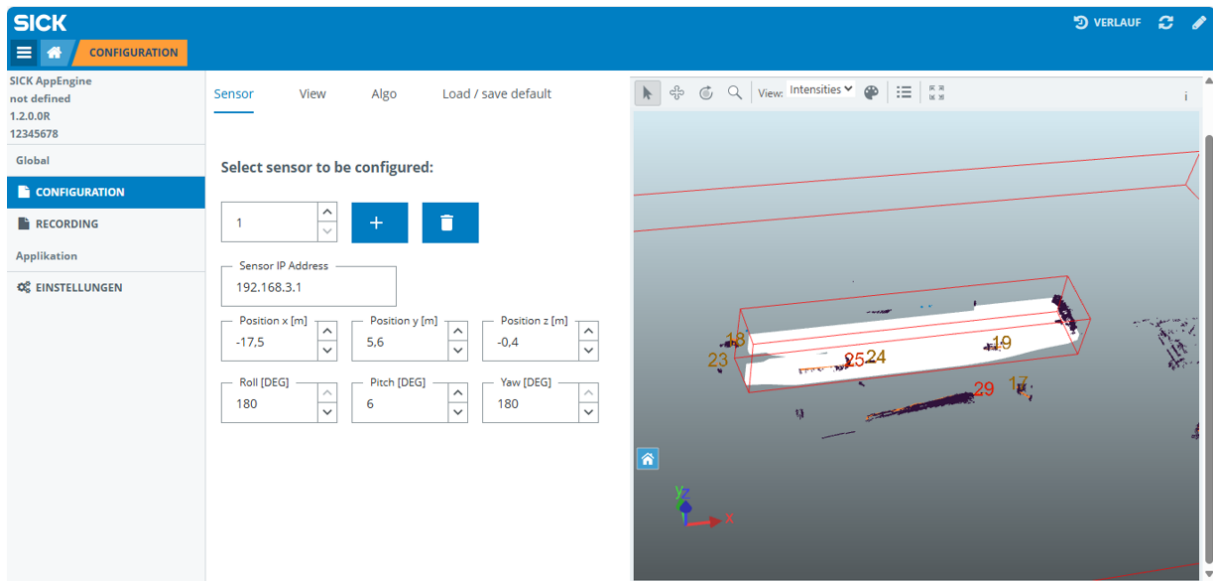


Abbildung 26: Die grafische Benutzeroberfläche (GUI) des IPC

Sofern von der Systemsteuerung relevante Nachrichten vorliegen – etwa der Ausfall eines Sensors – werden diese Nachrichten ebenfalls auf der GUI angezeigt, mit Angabe möglicher Ursachen. Dadurch ist eine detailliertere Analyse möglich als durch die Schnittstelle zur Schiffssteuerung, der lediglich die Verfügbarkeit der Sensoren angezeigt wird.

3.5 Schnittstelle zur Schiffssteuerung

Die vom Umfeldmodell erzeugten, relevanten Konturen werden über die Ethernet-Schnittstelle an die Schiffssteuerung übertragen. Es wird maximal 10x pro Sekunde ein neuer Datensatz übertragen.

Die Konturen enthalten einen Polygonzug ihrer Konturpunkte (relativ zum Ursprung des Schiffskoordinatensystems). Zusätzlich enthält jede Kontur eine eindeutige ID, die konstant bleibt, solange die Kontur in aufeinanderfolgenden Datensätzen wiedergefunden wurde, und ein „Alter“, d.h. eine Angabe, seit wie vielen Datensätzen diese Kontur bereits existiert.

Die Statusinformation wird zusammen mit den Konturdaten in Form von 7 Error-Bits übertragen. Je ein Bit steht dabei für einen Sensor, und ein zusätzliches Bit zeigt einen Ausfall der Umfelderkennungsalgorithmen an. Im Fall eines Fehlers kann über die GUI des IPC die Ursache des Fehlers näher eingegrenzt werden.

Eine Datenübertragung von der Schiffssteuerung an das Umfelderkennungs-system ist nicht vorgesehen. Das Umfelderkennungs-system startet automatisch und benötigt keine Konfiguration zur Laufzeit.

3.6 Versuchsfahrt

Am 27. Mai 2025 wurde die erste Versuchsfahrt mit der Archimedes durchgeführt, da das Schiff dann erstmalig für Fahrten zur Verfügung stand. Um die in Kapitel 3.1 definierten Szenarien abzudecken, wurde folgender Fahrtverlauf gewählt:

- Vorbeifahrt der Begleitschute auf der Wasserseite

- Fahrt der Archimedes entlang ihres Vorgängers „Carl Straat“, dann Wende und Fahrt auf der Ruhr zur Schleuse Raffelberg (Strecke ca. 3 km),
- Ein- und Ausfahrt in die bzw. aus der Schleuse,
- Rückfahrt zum Anleger, und
- Vorbeifahrt des bordeigenen Arbeitsboots (flaches Boot mit Außenbordmotor)

3.6.1 Aufbau

Für den Aufbau des Systems müssen die Sensoren an den dafür vorgesehenen Positionen befestigt werden. Da der Betrieb und Verbleib des Systems an Bord nur temporär für die Dauer der Versuchsfahrt vorgesehen sind, sind die Befestigungen so gewählt, daß sie von Hand an der Struktur des Schiffes (Reling bzw. vorne ein Schutzbügel) mit Schrauben angebracht werden können. Die Montagepunkte der Sensoren sowie deren Sichtbereiche sind in Kapitel 3.3 beschrieben.

Zu den Sensoren wird je ein Stromkabel und ein Netzkabel verlegt. Zentral laufen diese Kabel bei einem Stromverteiler bzw. einem Netzschwitch zusammen. Dort ist auch der Auswerterechner angeschlossen.

Der genaue Aufbau des Systems, seine Komponenten und die Verkabelung sind in Kap. 3.2 dargestellt.

3.6.2 Durchführung

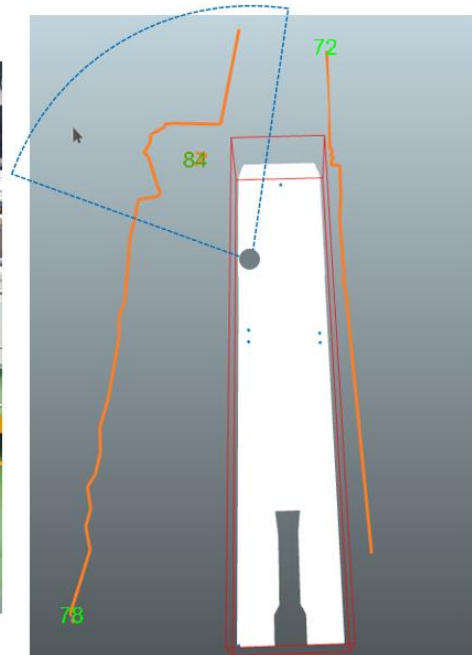


Abbildung 27: Einfahrt in die Schleuse Raffelberg

Bei der Durchführung wurden verschiedene Szenarien gefahren. Abbildung 27 zeigt die Einfahrt in die Schleuse Raffelberg, links ein Kamerabild und rechts der Screenshot der IPC-GUI. Blaugestrichelt ist der Kamera-Blickwinkel eingezeichnet. Gut erkennbar sind die 3 gebildeten Konturen: Linkes Ufer und Brücke, der Prallschutz links, und die Schleusenwand rechts.

3.6.3 Ergebnisse

Auf der Versuchsfahrt konnte die prinzipielle Funktion des Umfeld erfassungssystems sowie sein Auf- und Abbau am Versuchsträger gezeigt werden. Die während der Liegezeit und der Fahrt aufgezeichneten ca. 135 GByte Messdaten wurden zur Verbesserung der Datenverarbeitungsalgorithmen eingesetzt, wodurch sich die Qualität der Ausgabedaten deutlich erhöht hat. Insbesondere kleinere Störungen und Ausreißer der Konturen konnten beseitigt werden.

Die Übertragung der Konturen an den von Fa. Schottel betriebenen Steuerungsrechner funktionierte störungsfrei. Damit haben die übrigen Projektpartner Zugriff auf die vom Umfeld erfassungssystem erzeugten Daten.

3.7 Vorhabenziel

SICK war im Projekt StruMan für das Arbeitspaket 7000 verantwortlich. Das Ziel des Arbeitspakets ist in der Verbundvorhabenbeschreibung so formuliert:

„Entwurf, Entwicklung und Aufbau eines geeigneten und für den Anwendungsfall optimierten Sensorsystems. Das Sensorsystem soll aus vorhandener („off the shelf“) Sensorik bestehen und um mehrere Geräte eines für die gewählten Szenarien optimieren Sensors erweitert werden. Zusätzlich wird eine modular aufgebaute Signalverarbeitung, bestehend z.B. aus Filterung, Datenfusion, Objekterkennung implementiert.“

Das Ziel des Arbeitspakets wurde, zusammen mit den mit dem Projektträger abgestimmten Änderungen, erreicht. Die Erreichung, inklusive der Integration des Systems in die Steuerung, wurde auf der Versuchsfahrt im Mai 2025 nachgewiesen.

4 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen von StruMan wurden Personal-, Material- und Reisekosten beantragt, die gemäß des Projektplans abgerechnet wurden.

Die mit Abstand größten Materialkosten sind angefallen durch die 6 Laserscanner MRS 6000, und die für die Datenverarbeitung benötigten Industrie-PCs (zuzüglich der dafür benötigten Festplatten). Die Industrie-PCs wurden zweifach beschafft, um einen davon für Fahrten auf dem Versuchsträger zu nutzen, während mit dem zweiten Gerät aus der Entwicklungsabteilung heraus Support geleistet werden kann. Hierfür ist es erforderlich, tatsächlich ein baugleiches Gerät bereitzuhalten, damit evtl. auftretende Fehler nachgestellt werden können.

Die meisten der sonstigen Materialpositionen umfassen den Aufbau des Systems, das auch auf dem Versuchsträger genutzt wurde; also: Halterungen, Kabel, Netzwerkschwitch, Netzteil usw.

Die Materialkosten bleiben insgesamt deutlich unter den ursprünglich beantragten Kosten, da auf teure Prototypen-Bauteile für die neu zu entwickelnden Sensoren verzichtet werden konnte.

Der Hauptanteil der beantragten Kosten ist durch Personalkosten entstanden, die gemäß der Bewilligungsbescheide abgerechnet wurden.

5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Mit der Unterstützung aller Projektpartner konnten die aufgestellten Teil-Projektziele von SICK im Projekt StruMan erreicht werden.

Durch die verspätete Verfügbarkeit des Versuchsträgers „Archimedes“ konnte das Umfeldersassungssystem erstmalig erst im Mai 2025 in Betrieb genommen werden, funktionierte dann aber auf Anhieb und konnte auf ca. 6 km bzw. 3 Stunden Fahrstrecke seine Funktion beweisen, Daten aufzeichnen und an den Steuerungs-Rechner übertragen.

Bei der Versuchsfahrt konnte auch die durchgängige 3D-Überwachung der Schiffsumgebung gezeigt werden. Auf die ursprünglich vorgesehene Entwicklung spezieller Sensoren konnte verzichtet werden, wodurch der Projektumfang von SICK deutlich reduziert werden konnte.

Die Entwicklung des Umfeldersassungssystems im Projekt StruMan war ein erforderlicher Schritt im Projekt, da bestehende Systeme keine Rundumerfassung von Objekten auf Schiffen dieser Größe gewährleisten. Die Umsetzung erfolgte trotz der verspäteten Verfügbarkeit des Versuchsträgers im Zeit- und Kostenrahmen.

Die geplanten Mittel sind im angepassten Umfang für die vorgesehenen Arbeiten eingesetzt worden.

6 Voraussichtlicher Nutzen

Für praktisch alle Anwendungen der Schiffs-Assistenz und Schiffs-Automatisierung ist eine robuste Kenntnis der Schiffsumgebung erforderlich oder mindestens wünschenswert, um Manöver sicher und präzise ausführen zu können. Neben den rein monetären Aspekten der Unfallvermeidung (Schäden, Liegezeiten) geht es dabei um die Akzeptanz der Nutzer und der Bevölkerung.

Auf Basis der StruMan-Entwicklung kann ein einfaches, robustes und sogar mobiles Umfeld-Erfassungssystem angeboten werden. Dieses kann von SICK und von den am Projekt beteiligten Partnern betrieben, verkauft und als Plattform für eigene Weiterentwicklungen verwendet werden.

7 Bekannt gewordener Fortschritt

Bereits kurz nach Projektstart wurden verschiedene neue 3D-LiDAR-Sensoren kommerziell verfügbar, darunter Geräte mit dem FMCW-Funktionsprinzip. Dazu gehört z.B. der „Aeries II“ von Fa. AEVA Technologies. Sensoren dieser Geräteklasse verfügen i.d.R. über einen weiten Öffnungswinkel in horizontaler und vertikaler Richtung, eine hohe Reichweite und sind robust gegen Störeinflüsse der Umwelt. Obwohl der Treiber dieser Entwicklungen im autonomen Fahren (also Straßenverkehr) liegt, scheinen diese Geräte auch für den Einsatz an Binnenschiffen geeignet. Für Seeschiffe wäre allerdings ggf. eine höhere Korrosionsbeständigkeit erforderlich.

Mit Blick auf die Verfügbarkeit dieser Technologie wurde auf die Entwicklung eines speziellen „StruMan-Sensors“ verzichtet und die entsprechenden Arbeitspakete gekürzt oder ganz gestrichen.

Weitere Fortschritte sind nicht bekannt geworden.

8 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Es sind durch SICK alleine keine Veröffentlichungen zu StruMan erfolgt oder geplant. Veröffentlichungen erfolgen ggf. zusammen mit allen Partnern.

9 Anhang: Projektziel

9.1 Ziel des Gesamtprojekts

Die Fähigkeit Schiffe präzise automatisch manövrieren zu können, ist unabdingbar für zukünftige hochautomatisierte oder autonome Schiffe, speziell für Schiffe mit langen Schiffskörpern und mehreren azimuthierenden Antrieben an Bug und Heck. Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung eines theoretischen Fundaments, Auslegung, Simulation und Test eines „Advanced Maneuvering Pilots“ (AMP), d.h. ein funktionsfähiger Demonstrator eines neuartigen Manövriersystems, für Binnenschiffe mit azimuthierenden Antrieben. Der AMP wird auf einem Arbeitsschiff des WSA Rhein installiert und getestet und eröffnet neue Möglichkeiten in Richtung Fahrempfehlungen und dem automatischen Anlegen für Schiffe mit azimuthierenden Antrieben.

9.2 Ziel des SICK Teilprojekts

Um die Tests eines Prototyps in der realen Umgebung realisieren zu können, bedarf es für das Gesamtsystem einer Echtzeit-Erkennung des Lagebildes sowie der entsprechenden räumlichen Umgebungsinformationen. Als Projektpartner im Bereich der Sensorik beschäftigt sich die SICK AG bereits in unterschiedlichen Projekten mit der Zukunft in der Schifffahrt auf der Basis von landseitiger Echtzeit-Erkennung des Lagebildes sowie der entsprechenden räumlichen Umgebungsinformation.

In diesem Bereich liegt der Fokus von SICK aktuell in Häfen. Im Zuge dieses Projektes wird dieser um bordseitige Anwendung für die Automation von Binnenschiffen erweitert. Dafür werden unter anderem neue Technologien (z.B. alternative Laser-Wellenlänge) weiterentwickelt, die bereits in anderen Forschungsprojekten an Relevanz gewinnen. Schließlich sollen die eingesetzten Sensoren fusioniert werden, um ein komplettes 360°-Lagebild als Basis der Manövrier-Software zu erzeugen. Auf diese Weise kann für die spezifischen Anforderungen des Gesamtsystems ein leistungsstarkes und prototypisches LiDAR-System entwickelt werden, das zunächst vollständig der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung dient.