

# Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades  
Master of Science (M.Sc.)

## Entwicklung einer Bildverarbeitung mit dem Schwerpunkt Personenerkennung für ein autonomes Logistik-Fahrzeug

**Autor:** Giuliano Montorio  
giuliano.montorio@hs-bochum.de  
Matrikelnummer: 015202887

**Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Arno Bergmann  
**Zweitgutachter:** M.Sc. Bernd Möllenbeck

**Abgabedatum:** tt.mm.jjjj

# Eidesstattliche Erklärung

## Eidesstattliche Erklärung zur Abschlussarbeit:

«Entwicklung einer Bildverarbeitung mit dem Schwerpunkt Personenerkennung für ein autonomes Logistik-Fahrzeug»

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Bochum, 24. August 2020

---

Ort, Datum

---

Giuliano Montorio

# Danksagung

Ein großes Dankeschön gilt all jenen Personen, die uns im Rahmen dieser Bachelorarbeit begleitet und geholfen haben. Ganz besonders möchten wir Herrn Prof. Dr.-Ing. Arno Bergmann, Herrn Dr.-Ing. Christoph Krimpmann und Herrn Stefan Beumler, M.Sc. danken, die unsere Arbeit durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung begleitet haben. Auch beim Fachbereich Elektrotechnik und Informatik der Hochschule Bochum, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Thorsten Bartsch möchten wir uns bedanken. Für die Bereitstellung von Informationen und Dokumente sind wir Herrn Dennis Hotze, M.Sc. und der Smart Mechatronics GmbH sehr dankbar, ohne deren Hilfe und finanzielle Unterstützung dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung des Projekts . . . . .	1
<b>2 Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1 Eigenschaften von neuronalen Netzen . . . . .	2
2.1.1 Lernprozess . . . . .	2
2.1.2 Unterscheidung verschiedener Netze . . . . .	2
2.1.3 Evaluation neuronaler Netze . . . . .	2
2.2 Objekterkennung durch neuronale Netze . . . . .	2
2.3 Statemachine . . . . .	2
2.4 Bestimmung von Positionskoordinaten . . . . .	2
<b>3 Konzeptionierung</b>	<b>3</b>
3.1 Anforderungserhebung mit CONSENS . . . . .	3
3.2 Konzept und Aufbau der Personenerkennung . . . . .	3
3.2.1 Wirkstruktur der Personenerkennung . . . . .	3
3.2.2 Auswahl und Training der verwendeten neuronalen Netze . . . . .	3
3.2.3 Schnittstelle zwischen Python und ROS . . . . .	3
3.2.4 Erstellung von Objektinformationen . . . . .	3
3.3 Funktionsweise des Gesamtsystems . . . . .	3
<b>4 Verifikation</b>	<b>4</b>
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>5</b>

<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>A Anhang</b>	<b>9</b>
A.1 Abbildungen . . . . .	9
A.2 Inhalt Datenträger . . . . .	14

# Abkürzungsverzeichnis

<b>ALF</b>	Autonomes Logistik Fahrzeug
<b>BLDC</b>	Brushless Direct Current
<b>CAN</b>	Controlled Area Network
<b>CONSENS</b>	Conceptual Design Specification Technique for the Engineering of Complex Systems
<b>EPOS</b>	Entwicklungsplattform Ortsfrequenzfilter-Sensor
<b>FMEA</b>	Failure Mode and Effects Analysis
<b>LIDAR</b>	Light Detection and Ranging
<b>LTI</b>	Linear, zeitinvariantes System
<b>MCM</b>	MotorController Module
<b>RALF</b>	Regelung eines Autonomen Logistik Fahrzeugs
<b>ROS</b>	Robot Operating System
<b>RVIZ</b>	ROS Visualization
<b>SLAM</b>	Simultaneous Localization and Mapping
<b>TEB</b>	Timed Elastic Band
<b>TFEST</b>	Transfer Function Estimation
<b>URDF</b>	Unified Robot Description Format
<b>USBFS</b>	Universal Serial Bus Filesystem

# Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung
$D$	Dämpfung der Übertragungsfunktion
$G$	Übertragungsfunktion
$\underline{H}$	Hilfsmatrix
$K_P$	Verstärkungsfaktor
$K_s$	Streckenverstärkung
$\mathcal{L}$	Laplace-Transformation
$M$	Momentanpol
$\mathcal{O}_{\mathcal{T}}$	Menge aller Odometriedaten
$P_a$	Skalierungsfaktor für manuellen Betrieb
$P_m$	Skalierungsfaktor für automatischen Betrieb
$R_c$	Circumscribed Radius
$R_i$	Inscribed Radius
$T$	Abklingzeitkonstante
$T_g$	Anstiegszeit
$T_n$	Nachstellzeit
$T_u$	Verzugszeit
$T_v$	Vorhaltezeit
$U$	Laplacetransformierte Eingangsgröße

Symbol	Bedeutung
$\mathcal{X}_{\mathcal{T}}$	Menge aller Positionsvektoren
$\mathcal{Z}_{\mathcal{T}}$	Menge aller Umgebungsmessungen
$Y$	Laplacetransformierte Ausgangsgröße
$\vec{a}$	Umrechnungsvektor
$a_i$	Koeffizienten der Differentialgleichung der Ausgangsgröße
$b_j$	Koeffizienten der Differentialgleichung der Eingangsgröße
$\vec{b}$	Allgemeines Bewegungsziel
$c$	Rotatorischer Bewegungsbefehl
$d_i$	Reelle Zahl
$f$	Cost Scaling Factor
$g$	Impulsantwort
$h$	Übergangsfunktion
$\vec{h}$	Hilfsvektor
$i$	imaginäre Einheit $i = \sqrt{-1}$
$j$	Komplexe Zahl $j = \sqrt{-1}$
$k$	Komplexe Zahl $k = \sqrt{-1}$
$m$	Karte der Umgebung
$m_i$	Landmarken
$o$	Odometrie
$p$	Wahrscheinlichkeitsfunktion
$\vec{p}$	Orientierungsvektor
$q$	Quaternion



Symbol	Bedeutung
$r$	Distanz
$\vec{r}_a$	Rotatorisches Bewegungsziel aus automatischen Betrieb
$\vec{r}_m$	Rotatorisches Bewegungsziel aus manuellen Betrieb
$s$	Komplexe Frequenz
$t$	Zeit
$\vec{t}_{ma}$	Translatorisches Bewegungsziel aus manuellen oder automatischen Betrieb
$u$	Eingangsgröße
$\hat{u}$	Sprunghöhe
$\vec{v}$	Geschwindigkeitsvektor
$w$	Führungsgröße
$\vec{x}_t$	Positionsvektor
$\vec{x}_0$	Startpositionsvektor
$y$	Ausgangsgröße eines Systems
$z$	Messwert der Umgebung
$\alpha$	Fahrtwinkel
$\beta$	Posenwinkel
$\delta$	Impulsfunktion
$\sigma$	Sprungfunktion

# **1 Einleitung**

## **1.1 Motivation durch bestehende Bachelorarbeit**

## **1.2 Zielsetzung des Projekts**

## **2 Grundlagen**

Im Folgenden werden die Grundlagen behandelt, die für die Umsetzung des Projekts nötig sind und für ein besseres Verständnis der in Kapitel ?? erläuterten Funktionen dienen. Die Anbindung der verwendeten Sensorik im *Robot Operating System* (ROS) ist notwendig, um die im Anhang A.1.3 beschriebenen Anforderungen zu erfüllen.

### **2.1 Eigenschaften von neuronalen Netzen**

#### **2.1.1 Lernprozess**

#### **2.1.2 Unterscheidung verschiedener Netze**

#### **2.1.3 Evaluation neuronaler Netze**

### **2.2 Objekterkennung durch neuronale Netze**

#### **2.2.1 Datensätze**

### **2.3 Statemachine**

### **2.4 Bestimmung von Positionskoordinaten**

# **3 Konzeptionierung**

## **3.1 Anforderungserhebung mit CONSENS**

Die Anforderungen an den ALF werden unter anderem mit Hilfe der Umfeldmodellierung aus der Conceptual design specification technique for the engineering of complex Systems (CONSENS) erhoben und als Anforderungsliste im Lastenheft festgehalten. Die CONSENS Methode wird zur systematischen Spezifikation von komplexen Systemen angewendet und an der Hochschule Bochum am Institut für Systemtechnik geschult. Im Umfeldmodell der Bachelorarbeit, das in Abbildung A.2 zu sehen ist, werden die Komponenten behandelt, um die Schlupfregelung und SLAM-Kartografierung umzusetzen.

## **3.2 Konzept und Aufbau der Personenerkennung**

### **3.2.1 Wirkstruktur der Personenerkennung**

### **3.2.2 Auswahl und Training der verwendeten neuronalen Netze**

### **3.2.3 Schnittstelle zwischen Python und ROS**

### **3.2.4 Erstellung von Objektinformationen**

## **3.3 Funktionsweise des Gesamtsystems**

## **4 Verifikation**

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde eine Schlupfregelung und eine Beispielanwendung für autonomes Fahren konzipiert, integriert und verifiziert. Für die Umsetzung der Ziele bezüglich der Drehzahlregelung wurde eine Simulation des Reglers vorgenommen. Die integrierte, zur Drehzahlregelung übergeordnete Lageregelung verhindert die in Kapitel 1 erwähnten Rotationen des Fahrzeugs. Diese werden durch einem aus Umgebungsdaten generierten Posenwinkel ausgeregelt. Eine Modusumschaltung an dem Joystick realisiert durch Betätigen eines Knopfes den Wechsel zwischen zwei Betriebsmodi. Das ALF kann durch manuelle Eingaben am Joystick oder durch autonome Fahrfunktionen gesteuert werden. Die vorhandene Sensorik wird zur Erfassung der Umgebung verwendet. Dabei kartografiert das ALF die Umgebung durch den SLAM-Algorithmus. Die integrierte Anwendung für autonomes Fahren realisiert die eigenständige Erkundung und Kartografierung der Umgebung durch das Fahrzeug. Aufgrund der Komplexität dieses Projekts und der damit verbundenen Zeitvorgabe konnten folgende Problemstellungen nicht untersucht werden. Jedoch können diese als Thema für Folgeprojekte dienen.

Die gegebenen Hardwareeigenschaften des Roboters ermöglichen die Einbindung der Schlupfregelung und der Fähigkeit des autonomen Fahrens, wobei die Rechenleistung des installierten Rechners bei vollumfänglichen Betrieb nahezu ausgelastet ist. Diese Problematik hat bei einer Erweiterung der Software beziehungsweise bei höherer Auslastung Auswirkungen auf den in *Simulink* verbauten Regler. Ein mögliches Folgeprojekt kann die Implementierung des Reglers in eine andere Hardwarestruktur beinhalten.

Der Lidar-Sensor erfasst die Umgebung und reproduziert mit *Rviz* ein Abbild dieser. Aufgrund der in Kapitel ?? beschriebenen Bauhöhe des Sensors und der damit verbundenen Komplikationen ist eine Erweiterung der Sensorik zur Erfassung der Umgebung zu empfehlen. Erfasst der Roboter seine Umgebung vollständig ist eine omnidirektionale Fahrweise im automatisierten Betrieb möglich.

Wie im Namen des in diesem Projekt verwendeten Roboters enthalten handelt es sich um ein Logistikfahrzeug, somit ist die Ladefläche und der Umriss des Fahrzeugs nicht zu ändern. Aufgrund des in Kapitel ?? beschriebenen *Costmap* wird der Roboter wegen seiner Größe und Form in der Bewegungsplanung eingeschränkt.

Der Posenwinkel wird mithilfe von *Hector Slam* erfasst. Während der Entwicklungsphase der Schlupfregelung zeigte eine Auswertung des auf dem *Raspberry Pi* montierten Gyrosensor fehlerhafte Daten durch eine Integration der Winkelgeschwindigkeit und des sich darauf befindlichen Rauschens. Die Untersuchung und Einbindung eines geeigneten Filters kann als Folgeprojekt behandelt werden.

Aktuell werden Personen, die sich in der zu kartografierenden Umgebung befinden auf der zu erstellenden Karte als Objekt markiert. Eine Untersuchung und Implementierung eines sogenannten *Social Layers* könnte das Problem beheben. Wenn sich das Fahrzeug in unbekanntem Gebiet befindet und eine Zielpose autonom anfahren soll, werden Fahrmanöver anfänglich nur unregelmäßig durchgeführt. Das Fahrzeug ist für eine Fahrt ohne Kollisionen konzipiert und verfährt nur in bereits bekannte Gebiete, womit die eben erwähnte Problematik begründet wird. Das Hinzufügen einer statischen Karte, die den Operationsbereich des Fahrzeugs enthält, in das bereits vorhandene System würde das Ansprechverhalten des ALFs optimieren.

# Quellenverzeichnis

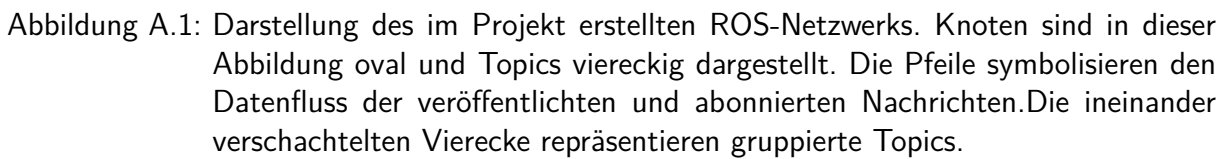
- [1] *Autonomes Fahren in der Logistik*. Zugriff: 11. Feb. 2019. <https://www.iml.fraunhofer.de>.
- [2] Dominik Eickmann und Dennis Hotze. *Entwicklung und Verifikation eines autonomen Logistik-Fahrzeugs*. Masterthesis. Hochschule Bochum - Bochum University of Applied Sciences, Feb. 2018.
- [3] FabianSacilotto. *ROS.org*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/de>.
- [4] TullyFoote. *ROS.org Concepts*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/de/ROS/Concepts>.
- [5] BradMiller. *ROS.org Parameter Server*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/Parameter%20Server>.
- [6] YanqingWu. *ROS.org Master*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/Master>.
- [7] H. Unbehauen. *Regelungstechnik I: Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelsysteme*. 9. Auflage. Vieweg + Teubner, 1997.
- [8] Jan Lunze. *Regelungstechnik 1: Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen*. 10. Auflage. Springer Vieweg, 2014.
- [9] Serge Zacher und Manfred Reuter. *Regelungstechnik für Ingenieure: Analyse, Simulation und Entwurf von Regelkreisen*. 15. Auflage. Springer Vieweg, 2017.
- [10] *NM203AR 203mm Heavy duty Mecanum Wheel ,Right*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://robotchassisparts.com/wp-content/uploads/2016/09/NM203A-layout.pdf>.
- [11] *Mecanum wheels (Ilon wheel)*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://robotchassisparts.com/wp-content/uploads/2016/09/Mecanum-wheel11-16.pdf>.
- [12] L. Xie u. a. *Heavy-duty omni-directional Mecanum-wheeled robot for autonomous navigation: System development and simulation realization*. 2015 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), März 2015.

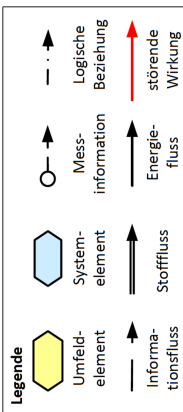


- [13] Joachim Hertzberg, Kai Lingemann und Andreas Nüchter. *Mobile Roboter*. Springer Vieweg, 2011.
- [14] Ralph Pütz und Ton Serné. *Rennwagentechnik - Praxislehrgang Fahrdynamik: Eine praktische Anleitung für Amateure und Profis*. Springer Vieweg, 2017.
- [15] Hietzinger Friedhof. *Illustration of Ackermann steering geometry*. Zugriff: 31. Jan. 2019. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Ackermann\\_radius\\_M.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Ackermann_radius_M.svg).
- [16] Peter Pfeffer und Manfred Harrer. *Lenkungsbandbuch: Lenksysteme, Lenkgefühl, Fahrdynamik von Kraftfahrzeugen*. 2. Auflage. Springer Vieweg, 2013.
- [17] Ltd. Shanghai Slamtec Co. *RPLIDAR A2*. 2016. <http://www.slamtec.com/en/Lidar/A2>.
- [18] Evan-Amos. *Xbox-One-Kinect.jpg*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Xbox-One-Kinect.jpg>.
- [19] Bruno Siciliano und Oussama Khatib. *Handbook of Robotics*. Springer, 2007.
- [20] Matthias Haun. *Handbuch Robotik: Programmieren und Einsatz intelligenter Roboter*. 2. Auflage. Springer Vieweg, Dez. 2006.
- [21] Leonie Sautter. *Graphbasiertes SLAM mit integrierter Kalibrierung für mobile Roboter*. Diplomarbeit. Karlsruher Institut für Technologie, 2015.
- [22] Kai Arrasm Maren Bennewitz Wolfram Burgard, Cyrill Stachniss. *Introduction to Mobile Robotics*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://ais.informatik.uni-freiburg.de/teaching/ss12/robotics/slides/12-slam.pdf>.
- [23] Kristof Schroeter. *Probabilistische Methoden für die Roboter-Navigation am Beispiel eines autonomen Shopping-Assistenten*. Doktorarbeit. Technische Universität Ilmenau, 2009.
- [24] Herbet Süße und Erik Rodner. *Bildverarbeitung und Objekterkennung: Computer Vision in Industrie und Medizin*. Springer Vieweg, 2014.
- [25] jarvisschultz. *ROS.org tf*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/tf>.

# **A Anhang**

## **A.1 Abbildungen**





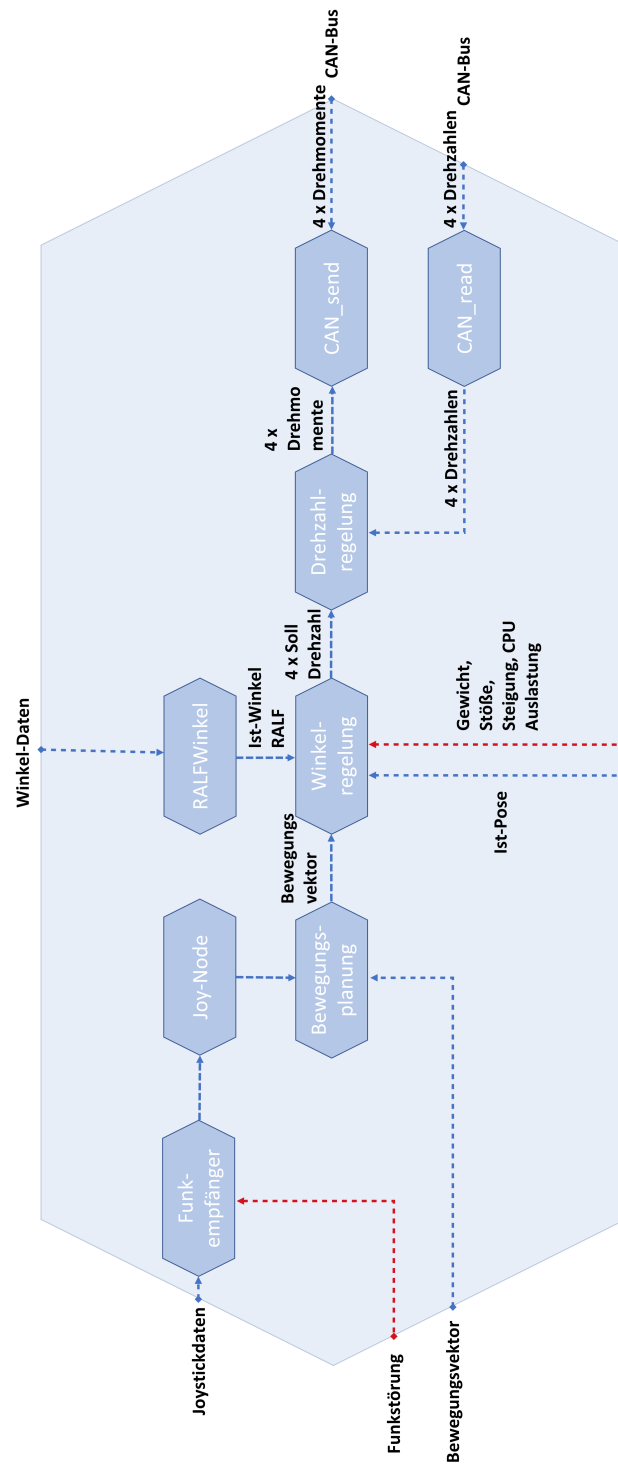


Abbildung A.3: Darstellung einer Wirkstruktur der in diesem Projekt konzipierten Schrupfregelung. Der Informationsfluss ist in dieser Abbildung mit blauen, gestrichelten Pfeilen abgebildet. Mit roten, gestrichelten Pfeilen werden Störeinflüsse, die auf die entwickelte Regelung einwirken.

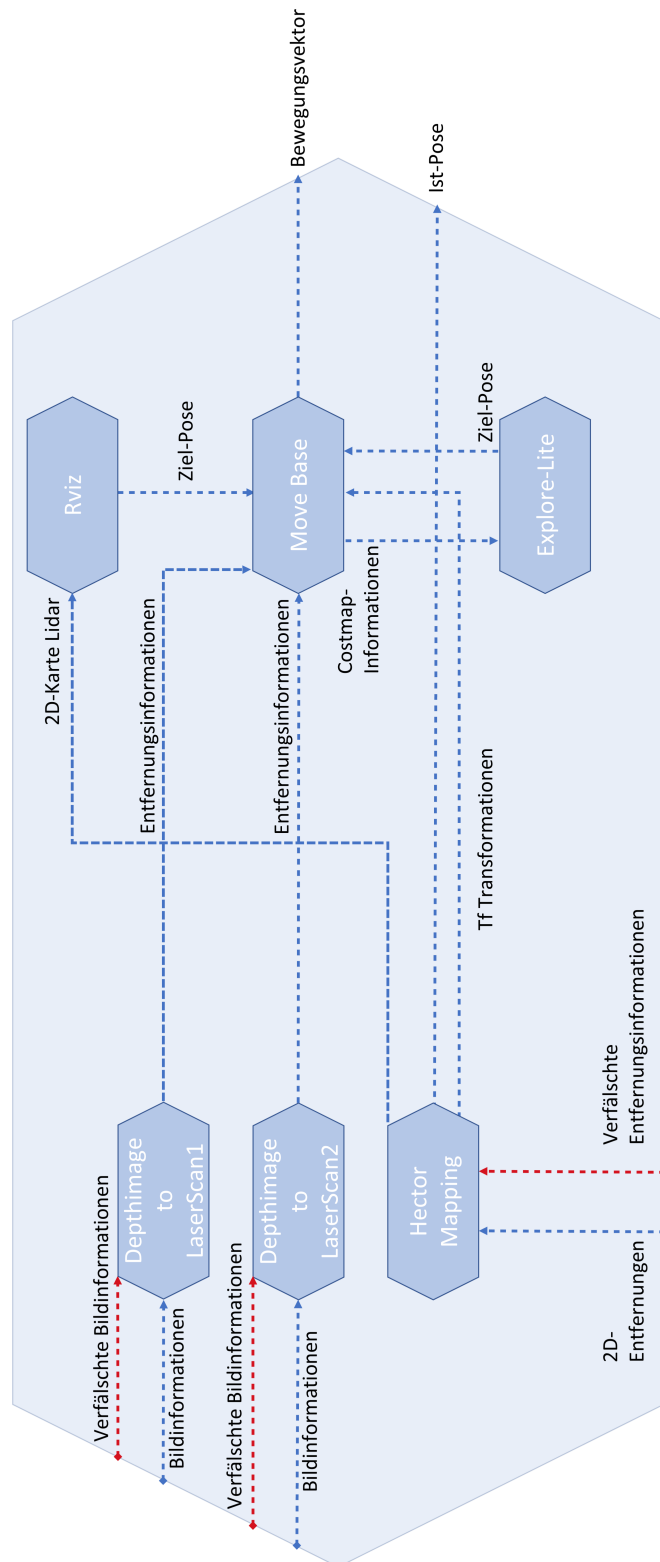


Abbildung A.4: Wirkstruktur Navigation

## **A.2 Inhalt Datenträger**

- 1** Datenblätter
- 2** Programm
- 3** Lastenheft