

Weiterentwicklung eines selbstfahrenden Fahrzeugs mit Lidar und anderen Sensoren

STUDIENARBEIT

des Studienganges Informatik
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg Campus Friedrichshafen

von

Elena Schwarzbach, 3830156, TIK23

Sonia Sinaci, Matrikelnummer, TIK23

Scott Jonathan Hebach, Matrikelnummer, TIT23

Marius Maurer, 9339665, TIT23

Abgabedatum

Bearbeitungszeitraum: x Wochen

Gutachter der Dualen Hochschule: Titel Vorname Nachname

Eidesstattliche Erklärung

gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit (bzw. Projektarbeit oder Studienarbeit bzw. Hausarbeit) mit dem Thema:

Weiterentwicklung eines selbstfahrenden Fahrzeugs mit Lidar und anderen Sensoren

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, TT.MM.JJJJ

Elena Schwarzbach

Sonia Sinaci

Scott Jonathan Hebach

Marius Maurer

Genderhinweis

In der vorliegenden Arbeit wird aus Gründen der sprachlichen Ökonomie und zur Sicherung eines einheitlichen Schriftbildes auf eine durchgängige geschlechts-spezifische Differenzierung verzichtet. Sämtliche Personen-bezeichnungen im generischen Maskulinum verstehen sich als geschlechtsneutral und schließen alle Geschlechter gleichermaßen ein. Diese Entscheidung basiert rein auf redaktionellen Überlegungen und spiegelt keine Geringschätzung gegenüber weiblichen oder nicht-binären Personen wider. Die Autoren sind sich der Wirkung von Sprache auf die Wahrnehmung bewusst und verfolgen mit dieser Wahl das Ziel, die Komplexität des Textes zugunsten der inhaltlichen Klarheit zu reduzieren.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Problemstellung	2
2 Methodiken	4
2.1 Nutzwertanalyse	4
3 Grundlagen	6
3.1 Überblick Autonomes Fahren	6
3.2 LIDASensorik	6
3.3 Relevante Algorithmen und Architekturkonzepte	6
3.4 Ultraschall Abstandssensor HCSR04	6
3.5 Erkennungswinkel des HCSR04	8
4 Lösungen Herleiten	9
4.1 Umverteilung des Gewichtes	9
4.1.1 Hochkante Einlage in den Mittelteil	9
4.1.2 Frankenstein Umbau	10
4.1.3 Einkaufsrad Lösung	11
4.1.4 Nutzwertanalyse zur Gewichtsumverteilung	11
5 Ist-Zustand und wissenschaftliche Bewertung der Sesorik	12
6 Konzept und Anforderungsdefinition	13
7 Implementierung	14
7.1 Methodisches Vorgehen	14

8	Evaluation und Validierung	15
8.1	Definition von Testkriterien und -szenarien	15
8.2	Messmethoden und Metriken	15
8.3	Testergebnisse	15
9	Kritische Reflexion	16
10	Fazit und Ausblick	17
	Literaturverzeichnis	V

Abbildungsverzeichnis

1	Aufbau des HCSR04	6
2	Optimaler Erkennungswinkel	8

Tabellenverzeichnis

1	Beispiel Nutzwertanalyse	4
2	Beteiligte Baugruppen am HCSR04 im Überblick	7
3	Nutzwertanalyse zur Gewichtsverteilung	12

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird aufgezeigt warum sich für dieses Projekt entschieden hat und was gefordert ist und welche Gegebenheiten vorliegend sind.

1.1 Motivation

Die Entscheidung für dieses Projekt beruht auf dem Wunsch, ein Thema zu wählen, das einen klaren Bezug zur Praxis hat und gleichzeitig eine große Bedeutung für zukünftige Anwendungen besitzt. Ein autonomes Fahrzeug ist ein Paradebeispiel für Systeme, die eigenständig reale Umgebungen wahrnehmen, darauf reagieren und somit Aufgaben übernehmen, die größtenteils menschliche Aufmerksamkeit erforderten. Die Verbindung von direkter Anwendbarkeit und großem Entwicklungspotenzial war der Grund, warum das Projekt ausgewählt wurde. Es liefert ein konkretes Resultat, welches nachvollziehbar demonstrierbar ist und im Laufe des Projekts sukzessive optimiert werden kann.

Die Zukunftsrelevanz wird durch die zunehmende Verbreitung von autonomen und assistierenden Systemen in vielen Anwendungsfeldern deutlich. Neben der herkömmlichen Mobilität werden solche Lösungen in der Logistik, in industriellen Umgebungen, in kommunalen Anwendungen sowie in Assistenzszenarien immer wichtiger, besonders dort, wo es darum geht, Prozesse effizienter, sicherer oder zuverlässiger zu gestalten. Nicht nur als einzelnes Produkt stehen autonome Fahrzeuge da, sie sind auch ein Zeichen für eine größere Evolution hin zu selbstständig agierenden, datengestützten Systemen, die in der Lage sind, in dynamischen Situationen Entscheidungen zu treffen. Das Projekt ist ein wichtiger Beitrag, weil es praxisnah zentrale Anforderungen der Zukunft untersucht und die Erkenntnisse systematisch dokumentiert.

Insgesamt verbindet das Projekt eine motivierende Zielsetzung mit einer klaren Perspektive: Es schafft einen Projektgegenstand, der aktuelle Entwicklungen aufnimmt und zugleich die Anwendungen in den Blick nimmt, die in den kommenden Jahren zunehmend relevant sein werden.

1.2 Zielsetzung

Ein Fahrzeug, welches von Studierenden der Elektrotechnik und Informatik entworfen und programmiert wurde, ist bereits vorhanden. Im Projekt wird dieses Fahrzeug weiterentwickelt, um autonomes Fahren zu ermöglichen. Der aktuelle Stand beinhaltet eine vorhandene Sensorik, insbesondere einen LiDAR-Sensor sowie mehrere Ultraschallsensoren, die zur Umfelderkennung eingesetzt werden können.

Die Zielsetzung der Weiterentwicklung umfasst die Bedienung über ein Smartphone, um das Fahrzeug manuell steuern zu können, sowie die Ergänzung eines Selbstfahrmodus. Im Selbstfahrmodus soll das Fahrzeug autonom innerhalb einer festgelegten Umgebung navigieren und Hindernissen ausweichen können. So ist nicht nur die Bewegung an sich wichtig, sondern vor allem ein verlässliches Ausweichverhalten, welches den autonomen Betrieb maßgeblich unterstützt.

Die Herausforderung besteht darin, ein bereits aufgebautes System so zu erweitern, dass es sowohl einen robusten Fernsteuerbetrieb als auch einen autonomen Betriebsmodus bietet, indem die vorhandene Sensorik dafür gezielt genutzt wird.

1.3 Problemstellung

Das Auto hat in der Elektronik, Mechanik und Software Probleme, welche im Verlauf der Weiterentwicklung behoben werden müssen.

Elektronik:

- kein Verdrahtungsplan
- abgebrochen Kabel
- Kabel die ins nichts führen
- kurze Akkulaufzeit

Mechanik:

- Frontalneigung um 7° wegen zu schwerem Vorbau
- kompaktes und schlecht wartbares Design

- fehlende/kaputte Halterungen für Sensoren

Software:

- benötigt große Speicherkapazität
- hohe Arbeitsspeichernutzung
- unzureichende Dokumentation Künstliche Intelligenz (KI)

2 Methodiken

In diesem Kapitel werden Methodiken zur Herleitung oder Abwägung einer Lösung erklärt. Dies ist förderlich, um im Verlauf einen möglichst effizienten Lösungsweg zu schaffen.

2.1 Nutzwertanalyse

			Option 1		Option 2		Option 3	
	Wertebereich	Gewichtung	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert
Kriterium 1	0-5	10	1	10	3	30	3	30
Kriterium 2	0-5	30	2	60	5	150	2	60
Kriterium 3	0-5	25	4	100	1	25	4	100
Kriterium 4	0-5	25	3	75	2	50	3	75
Kriterium 5	0-5	15	3	45	2	30	2	30
Nutzwertsumme				290		285		295
Rangplatz				2		3		1

Tabelle 1: Beispiel Nutzwertanalyse

Eine Nutzwertanalyse (siehe Tabelle 1 vgl. [1]) ist eine Möglichkeit, aus vielen Optionen, die bestimmte Kriterien erfüllen müssen, die beste Option zu finden. Sie ist in verschiedene Spalten aufgeteilt. Die linke Spalte enthält die Kriterien, welche erfüllt sein müssen, damit das Endergebnis gut ist. Die folgende Spalte enthält den Wertebereich, der verteilt werden kann. Spalte drei kann optional eine Gewichtung der Kriterien festlegen, dadurch können genauere Ergebnisse erzielt werden. Diese Nutzwertanalyse wäre in dem Fall eine gewichtete Nutzwertanalyse, ohne Gewichtung wäre es nur eine einfache Nutzwertanalyse. Anschließend an die ersten Spalten kommen nun die Optionsspalten. Diese werden Spalte für Spalte durchgearbeitet und Punkte vergeben. Falls hinter Punkten eine gewisse Bedeutung liegt, ist die Erstellung einer Legende notwendig. Für das Ergebnis werden nun die Eintragungen mit der Gewichtung der Zeile multipliziert und dann die Optionsspalte addiert. Anhand des Ergebnisses kann dann

ausgewertet werden, welche Option am besten die Kriterien erfüllt. vgl. [1, S. 9–11]
Die farbliche Abhebung wird genutzt, damit schneller erkenntlich ist, welche Option ein Kriterium am besten erfüllt.

3 Grundlagen

3.1 Überblick Autonomes Fahren

(bei Modellautos)

3.2 LIDASensorik

in autonomen Systemen: Prinzipien, etablierte Lösungen

3.3 Relevante Algorithmen und Architekturkonzepte

(mit Blick auf wissenschaftliche Literatur)

- Überblick über SLAM, Hinderniserkennung, Navigation

3.4 Ultraschall Abstandssensor HCSR04

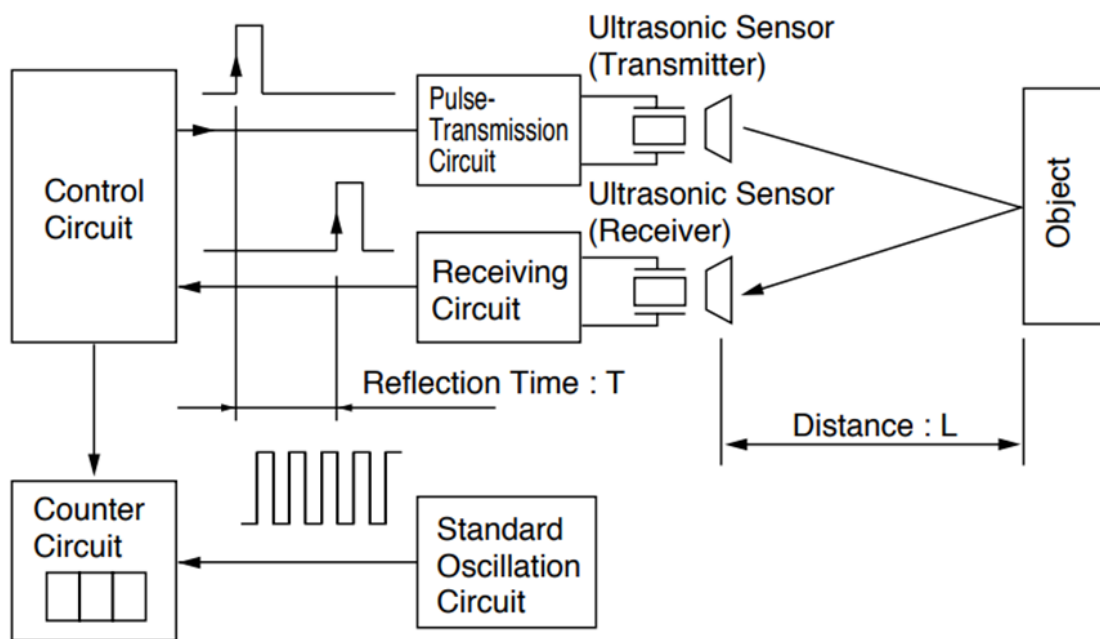


Abbildung 1: Aufbau des HCSR04

Die Abbildung 1 und Tabelle 2 beschreiben den Aufbau des HCSR04 und dessen Funktionsweise. Zur Ermittlung der Distanz durchläuft der Sensor die folgenden Schritte.

Komponente	Funktion
Control Circuit	Startet den Messvorgang und koordiniert alle Schritte
Pulse Transmission Circuit	Formt das Startsignal für den Sender
Ultraschallsender	Wandelt das elektrische Signal in Schallwellen
Ultraschallempfänger	Wandelt reflektierte Schallwellen zurück in ein elektrisches Signal
Receiving Circuit	Verarbeitet das empfangene Signal zur Zeitmessung
Counter Circuit	Zählt Taktpulse während der Laufzeit des Signals
Standard Oscillation Circuit	Gibt präzise Taktsignale für die Zeitmessung aus

Tabelle 2: Beteiligte Baugruppen am HCSR04 im Überblick

Steuerung und Signalübertragung Das Control Circuit initiiert den Messvorgang durch ein Startsignal. Dieses Startsignal wird an die Pulse Transmission Circuit gesendet.

Aussenden des Ultraschalls Der Ultraschallsender wandelt das elektrische Signal in einen Ultraschallimpuls um, der in Richtung des zu messenden Objekts ausgesendet wird.

Reflexion und Empfang Der Schall trifft auf ein Objekt, wird reflektiert und kehrt zum System zurück. Der Ultraschallempfänger nimmt das reflektierte Signal auf. Anschließend wird das Signal an die Receiving Circuit weitergegeben.

Zeitmessung Die Zeit zwischen Senden und Empfangen wird als Reflection Time T gemessen. Die Zeitmessung erfolgt über die Counter Circuit, die auf Basis der Standard Oscillation Circuit präzise Takte zählt.

Berechnung der Entfernung Die Entfernung L zum Objekt ergibt sich aus der Laufzeitmessung nach:

$$L = \frac{v \cdot T}{2} \quad (1)$$

wobei v die Schallgeschwindigkeit in Luft ist (ca. 343 m/s bei Raumtemperatur). Der Faktor 2 berücksichtigt den Hin- und Rückweg des Ultraschallsignals.

3.5 Erkennungswinkel des HCSR04

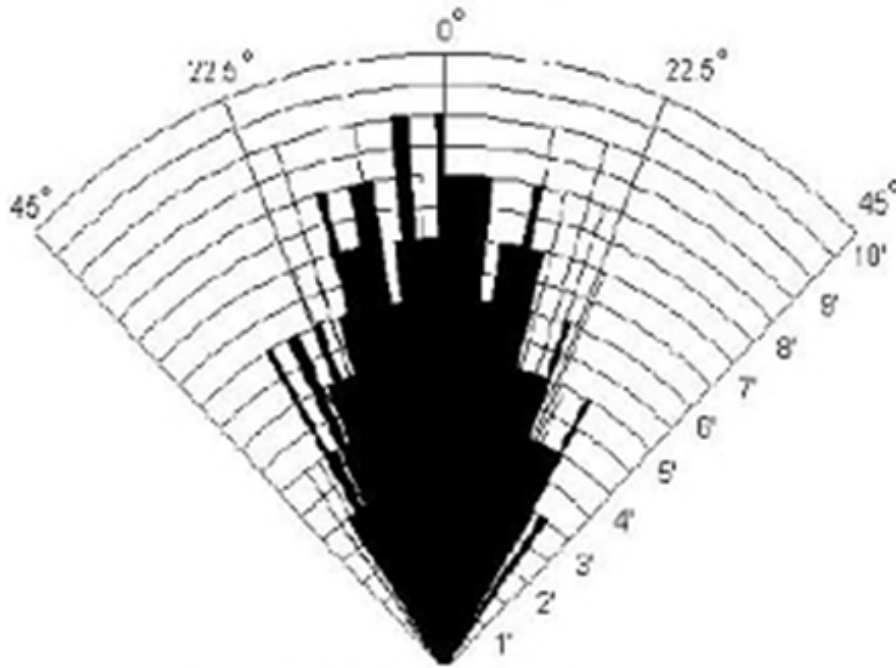


Abbildung 2: Optimaler Erkennungswinkel

Die Abbildung 2 zeigt den optimalen Erkennungswinkel des HCSR04. Innerhalb dieses Winkels kann der Sensor Objekte zuverlässig detektieren. Außerhalb dieses Bereichs nimmt die Genauigkeit der Messung ab, was bei der Platzierung der Sensoren berücksichtigt werden muss.

4 Lösungen Herleiten

4.1 Umverteilung des Gewichtes

Da der Lidar Sensor eine Neigung um 7° nach vorne hat (schwerer, ungestützter Vorbau), muss das Gewicht neu verteilt werden. Hierfür werden drei Möglichkeiten herausgearbeitet und in Tabelle 3 verglichen.

4.1.1 Hochkante Einlage in den Mittelteil

Art der Änderung

- Der Vorderbau wird mechanisch begradigt: die Bereiche um die Schraubpunkte werden abgefeilt, bis eine rechteckige, sauber einpassbare Form entsteht.
- Der Vorderbau wird anschließend hochkant in den Mittelteil integriert.
- Fixierung über einen Winkel hinter der Servolenkung, damit die Einheit verwindungssteif sitzt und Kräfte definiert eingeleitet werden.
- Das Batteriefach wird hochkant ausgerichtet und in Richtung Motor verschoben, um den Bauraum besser zu nutzen und den Schwerpunkt sinnvoll zu verlagern.
- Leitungsführung und Befestigungspunkte müssten dabei neu geplant werden, weil sich Einbauwinkel und Zugänglichkeit ändern.

Vorteile

- Sehr platzsparende Integration, kaum toter Bauraum.
- Wendekreis bleibt im Normalfall unverändert, da Radstand und Lenkeinschlag nicht zwangsläufig angepasst werden müssen.
- Konstruktion wirkt insgesamt kompakter und aufgeräumter, was spätere Erweiterungen erleichtern kann.

Nachteile

- Wartbarkeit kann schlechter werden: Akkuwechsel, Schrauben nachziehen, Komponenten tauschen wird je nach Einbauposition fummeliger.
- Höherer mechanischer Anpassungsaufwand (Feilen, Ausrichten, Winkel fertigen), dadurch mehr Risiko für Passungenauigkeiten.
- Kabelmanagement wird kritischer, weil weniger Platz für saubere Radien und Zugentlastung bleibt.

4.1.2 Frankenstein Umbau

Art der Änderung

- Vorderbau wird vollständig abgeschraubt.
- Mittelteil des Chassis wird durchgesägt, um eine neue Montageposition zu schaffen.
- Der Vorderbau wird in die Mitte versetzt und dort wieder verschraubt.
- Je nach Schnittstelle müssten Verstärkungen ergänzt werden (Platten, Winkel, zusätzliche Verschraubungen), damit die Struktur unter Last nicht nachgibt.

Vorteile

- Konzeptuell einfach, weil umsetzen und festschrauben als Grundidee klar ist.
- Kann schnell einen deutlichen Effekt auf Schwerpunkt und Platzverteilung bringen, ohne viele Detailarbeiten an einzelnen Bauteilen.

Nachteile

- Wendekreis kann schlechter werden, weil sich Geometrie und Gewichtsverteilung ungünstig verändern können.
- Stabilitätsrisiko: Durchsägen schwächt das Chassis, dadurch Verwindung, Risse, lockere Verschraubungen möglich.
- Oft mehr Nacharbeit als gedacht, weil nach dem groben Umbau Verstärkungen und Ausrichtung notwendig werden.

4.1.3 Einkaufsrad Lösung

Art der Änderung

- Ein Stützrad (Einkaufsrad) wird unter dem Vorderbau montiert.
- Ziel ist, dass das Rad einen Teil der Frontlast trägt und das Fahrzeug vorne mechanisch stabilisiert.
- Befestigung über eine einfache Halterung oder Montageplatte, ohne größere Eingriffe in den Aufbau.

Vorteile

- Sehr schnell und kostengünstig umsetzbar.
- Minimal invasiv: bestehender Aufbau bleibt weitgehend erhalten, Rückbau ist einfach.
- Sofortiger Effekt auf Lastverteilung, ohne Chassis oder Hauptbaugruppen umzubauen.

Nachteile

- Optisch eher Bastellösung, wirkt weniger integriert.
- Fahrverhalten kann schlechter werden: Nachlaufen, Flattern, zusätzliche Reibung, eingeschränkte Bodenfreiheit.
- Auf unebenem Untergrund oder bei Kanten kann das Stützrad stören oder hängen bleiben.

4.1.4 Nutzwertanalyse zur Gewichtsumverteilung

Aus der Nutzwertanalyse in Tabelle 3 ergibt sich, dass die Hochkante Einlage im Mittelteil die beste Lösung zur Umverteilung des Gewichtes darstellt. Die Lösung bietet eine gute Balance aus Umsetzbarkeit, Fahrverhalten und Wartbarkeit, während sie gleichzeitig den Schwerpunkt effektiv verlagert. Obwohl der mechanische Anpassungsaufwand höher ist, überwiegen die Vorteile in Bezug auf Platznutzung und Fahrzeugperformance. Daher wird diese Lösung für die weitere Umsetzung empfohlen.

			1. Hochkante Einlage in den Mittelteil		2. „Frankenstein“ Umbau		3. Einkaufsrads Lösung	
	Wertebereich	Gewichtung	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert
Umbau aufwand	0-5	5	3	15	1	5	5	25
Zeitlicher Aufwand	0-5	7	4	28	5	35	2	14
Optik	0-5	3	4	12	5	15	2	6
Vorteile	0-5	5	4	20	4	20	3	15
Nachteile	-5-0	5	-2	-10	-4	-20	-2	-10
Nutzwertsumme				65		55		50
Rangplatz				1		2		3

Tabelle 3: Nutzwertanalyse zur Gewichtsverteilung

5 Ist-Zustand und wissenschaftliche Bewertung der Sensorik

- Anforderungen an die Sensorik im Kontext des Projektziels (nur so tief wie nötig)
- Wissenschaftliche Diskussion:
 - o „Braucht man (diese) Sensoren wirklich?“ – Vergleich verschiedener Sensortechnologien (LIDAR, Kamera, Ultraschall)
 - o Vor- und Nachteile im konkreten Anwendungsfall (Modellfahrzeug, Innenraum, Umgebungseinflüsse)
 - o Qualitäts- versus Mengenfrage: Wenige hochwertige vs. viele günstige Sensoren
 - o Einflüsse defekter bzw. nicht verfügbarer Hardware auf die Projektentscheidungen
- Fundierte, nachvollziehbare Begründung der gewählten Sensorik (ggf. Änderung des Sensor-Setups)

6 Konzept und Anforderungsdefinition

- Anforderungen an das Zielsystem (abgeleitet aus Aufgabenstellung)
- Detaillierte Auflistung und fachliche Begründung der geplanten Weiterentwicklungen
- Ableitung der Architektur auf Basis der Sensorik-Entscheidungen

7 Implementierung

7.1 Methodisches Vorgehen

(z.B. agile Entwicklung, Prototyping)

- Auswahl/Begründung der eingesetzten Algorithmen/Architekturen
- Schwerpunktsetzung (z.B. Pfadplanung, Sensorfusion, Datenverarbeitung) mit Verweis auf wissenschaftliche Relevanz
- Detaillierte Beschreibung der wichtigsten Entwicklungsaspekte (z.B. SLAM-Implementierung, Optimierung von Sensordaten, Integration in App/UI)
- Umgang mit Hardwareproblemen: Auswirkungen auf das Softwaredesign, ggf. Umgehungslösungen

8 Evaluation und Validierung

8.1 Definition von Testkriterien und -szenarien

8.2 Messmethoden und Metriken

Überblick zu Messmethoden und -metriken (z.B. Genauigkeit der Kartierung, Latenz der Sensorik, Zuverlässigkeit der Abstandswarnung)

8.3 Testergebnisse

Darstellung, Analyse, Interpretation Diskussion von Problemen, Limitationen und offenen Punkten

9 Kritische Reflexion

- Bewertung der gewählten Ansätze im Vergleich zu Alternativen
- Wissenschaftliche Einordnung des eigenen Beitrags
- Lessons Learned: Was ließ sich nicht wie geplant umsetzen? Welche (wissenschaftlichen) Fragen bleiben offen?

10 Fazit und Ausblick

- Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse und Beiträge
- Potenziale für weitere wissenschaftliche Arbeiten oder Produktentwicklungen

[dummyhidden]

Literaturverzeichnis

- [1] F. Wilms. *Entscheidungen meistern: Eine Einführung in praxistaugliche Entscheidungsmethoden*. 2025. DOI: 10.1007/978-3-662-70764-7.

Es wurden keine Literaturverweise im Dokument gesetzt.