



University of Applied Sciences

**HOCHSCHULE
EMDEN·LEER**

Fachbereich Technik
Abteilung Elektrotechnik und Informatik

**ENTWICKLUNG UND IMPLEMENTIERUNG
EINES FAHRZEUGES FÜR DEN HYPERLOOP
(STEUERUNG UND VERDRAHTUNG)**

PROJEKTARBEIT
Studiengang Elektrotechnik

Vorgelegt von
Oliver, Schmidt
Studiengang Elektrotechnik
Matr. Nr. 7023462

Emden, 13. August 2024

Betreut von
Prof. Dr.-Ing. Kane

Rechtliche Erklärung

Erklärung

- [ja|nein] Die vorliegende Arbeit enthält vertrauliche / kommerziell nutzbare Informationen, deren Rechte außerhalb der Hochschule Emden/Leer liegen. Sie darf nur den am Prüfungsverfahren beteiligten Personen zugänglich gemacht werden, die hiermit auf ihre Pflicht zur Vertraulichkeit hingewiesen werden (Sperrvermerk).
- [ja|nein-] Soweit meine Rechte berührt sind, erkläre ich mich einverstanden, dass die vorliegende Arbeit Angehörigen der Hochschule Emden/Leer für Studium / Lehre / Forschung uneingeschränkt zugänglich gemacht werden kann.

Eidesstattliche Versicherung

Ich, der Unterzeichnende, erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Alle Quellenangaben und Zitate sind richtig und vollständig wiedergegeben und in den jeweiligen Kapiteln und im Literaturverzeichnis wiedergegeben. Die vorliegende Arbeit wurde nicht in dieser oder einer ähnlichen Form ganz oder in Teilen zur Erlangung eines akademischen Abschlussgrades oder einer anderen Prüfungsleistung eingereicht.

Mir ist bekannt, dass falsche Angaben im Zusammenhang mit dieser Erklärung strafrechtlich verfolgt werden können.

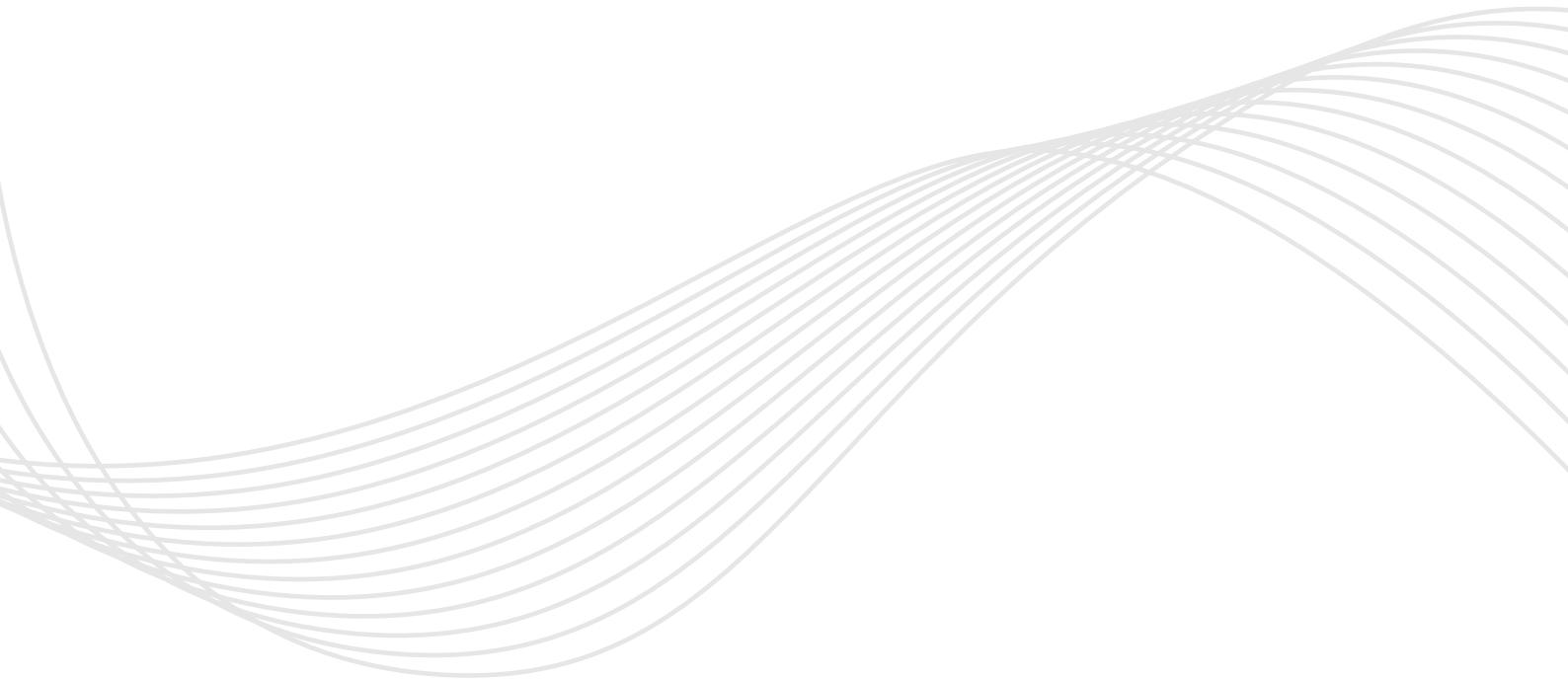
Emden, 13. August 2024 *Oliver Schmidt*

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Rechtliche Erklärung | I |
| Abbildungsverzeichnis | III |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Motivation | 1 |
| 1.2 Aufgabenstellung | 2 |
| 2 Verwendet Technik | 3 |
| 2.1 Konzept | 3 |
| 2.2 Antrieb – Golden Motor | 3 |
| 2.2.1 BLDC Motor | 3 |
| 2.2.2 Vector Controller | 4 |
| 2.3 Steuerung – Speedgoat | 5 |
| 2.3.1 Verbaute Module | 7 |
| 2.3.2 Pin Mapping der Module | 8 |
| 2.4 Abstandsmessung | 10 |
| 2.5 Speicher | 10 |
| 3 Implementierung | 13 |
| 4 Konklusion | 14 |
| 5 Anhang | 15 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Hyperloop der Hochschule Emden Leer | 2 |
| 2.1 | Golden Motor – 10 KW BLDC Motor Liquid Cooled | 4 |
| 2.2 | Golden Motor – Zeichnung: BLDC Motor | 5 |
| 2.3 | Golden Motor – VECTOR 500 Motor Controller | 5 |
| 2.4 | Golden Motor – Zeichnung: Vector Controller | 6 |
| 2.5 | Speedgoat – Baseline Real-Time Target Machine | 7 |
| 2.6 | Speedgoat – I/O Module 397 [4] | 7 |
| 2.7 | Speedgoat – I/O Module 691 [5] | 8 |
| 2.8 | Speedgoat – Ansicht der Modulanschlüsse | 9 |
| 2.9 | Pepperl+Fuchs – Distanzsensor | 12 |
| 2.10 | DeepCPower – Lithium Batterie 50Ah 51,2V 2560Wh . . . | 12 |



Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Der Hyperloop ist ein Konzept für ein Hochgeschwindigkeitstransportssystem, das von Elon Musk [1] populär gemacht wurde. Es besteht im Wesentlichen aus einer oder mehreren Kapseln, die sich durch fast luftleere Röhren bewegen. Die Idee ist, Reibung und Luftwiderstand, die zwei größten Hindernisse für hohe Geschwindigkeiten, zu minimieren.

Durch die Reduzierung von Luft- und Rollwiderstand können Hyperloop-Kapseln Geschwindigkeiten von über 600 km/h erreichen. Dies ermöglicht extrem schnelle Reisen zwischen Städten, die weit voneinander entfernt sind.

Angesichts der globalen Bemühungen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen und zur Bekämpfung des Klimawandels könnte Hyperloop eine umweltfreundlichere Alternative zu Autos und Flugzeugen bieten.



Abbildung 1.1: Hyperloop der Hochschule Emden Leer

1.2 Aufgabenstellung

Die Motivation des Projekts liegt in der Realisierung eines Fahrzeugs für den Hyperloop, welches mit einer Batterie und einem Motor betrieben werden soll. Die Steuerung soll auf dem Speedgoat erfolgen.

Im Rahmen dieses Projekts soll ein Pod für den Hyperloop mit einer Bordspannung von 48 V ausgelegt werden. Ziel ist es, die Machbarkeit dieser Spannung zu überprüfen und umzusetzen. Dazu gehören die Realisierung der Verdrahtung und der Sensorik sowie die Beschaffung der erforderlichen Bauteile. Die Logik- und Signalverarbeitung wird mithilfe von Simulink auf einem Speedgoat-System durchgeführt.

Die Steuerung erfolgt über Simulink, ein Bestandteil von Matlab. Position und Beschleunigung des Pods sollen erfasst werden, während der Motor über ein zusätzliches Steuergerät angesteuert wird.

Die Steuerung soll als eine Automatensteuerung umgesetzt werden.

Die Verdrahtung des Pods muss entsprechend der Bordspannung von 48 V realisiert werden. Dazu muss mithilfe der Software QElectroTech ein Schaltplan erstellt werden.

Es müssen alle erforderlichen Bauteile für die Umsetzung der Bordspannung, Verdrahtung und Sensorik beschafft werden.

Kapitel 2

Verwendet Technik

2.1 Konzept

Der Pod wird von einem BLDC-Motor angetrieben, wobei die elektrische Energie in einem Lithium-Ionen-Akku gespeichert wird. Der Motor wird durch einen Sinuswellen-Generator gesteuert. Mit dem Speedgoat-System werden die Eingangssignale des Sinuswellen-Generators sowie andere Aktoren gesteuert.

2.2 Antrieb – Golden Motor

Golden Motor ist ein Anbieter von Elektromotoren und elektrischen Antriebssystemen. Das Unternehmen bietet eine breite Palette von Produkten an, darunter: Motoren und Komplettsysteme für Elektrofahrräder, Industrielle BLDC-Motoren, Elektrische Antriebe für Boote.

2.2.1 BLDC Motor

Ein BLDC-Motor (Brushless DC Motor) unterscheidet sich grundlegend von einem herkömmlichen Gleichstrommotor. Während bei einem traditionellen DC-Motor die Polumschaltung (Kommutierung) mechanisch über Kohlebürsten erfolgt, übernimmt beim BLDC-Motor eine elektronische Steuerung diese Aufgabe. Dadurch entfällt die Notwendigkeit von Kohlebürsten, was den Motor effizienter und langlebiger macht[2].

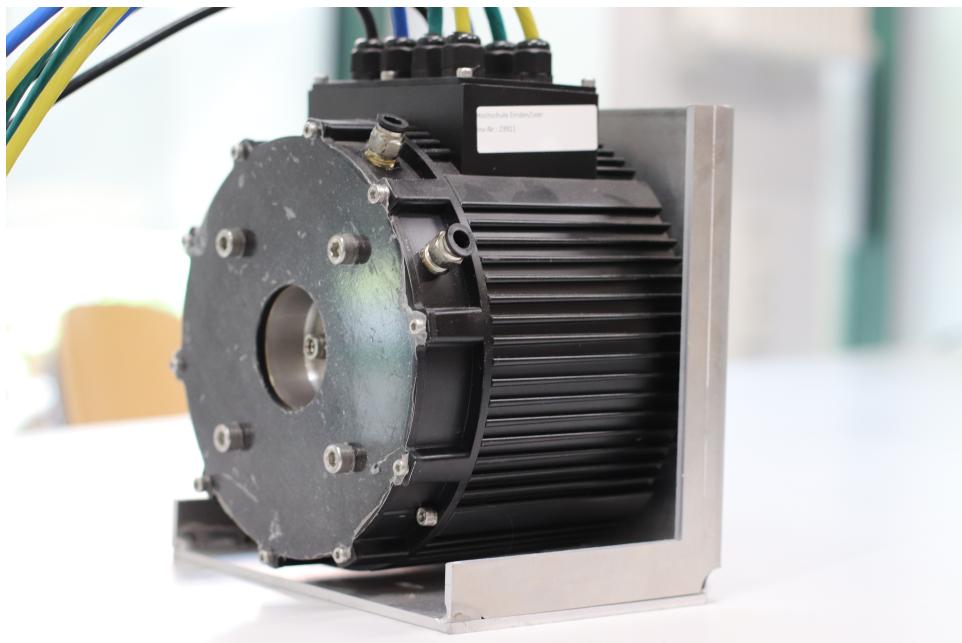


Abbildung 2.1: Golden Motor – 10 KW BLDC Motor Liquid Cooled

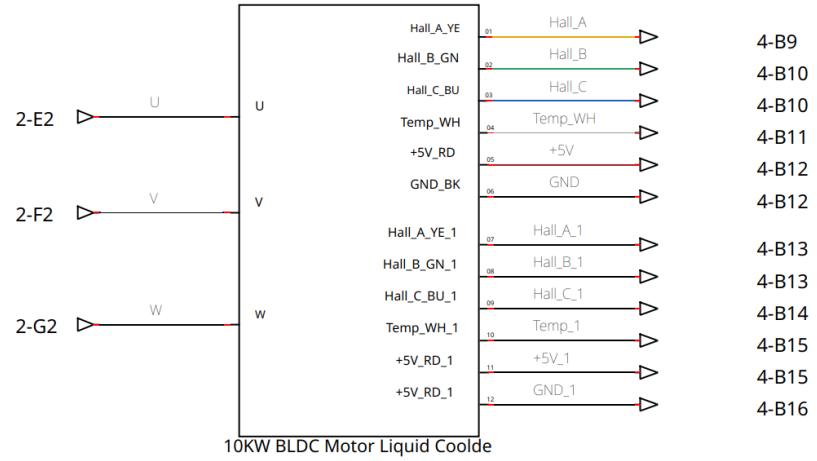
Die Anschlüsse des BLDC-Motors sind in Abbildung 2.2 dargestellt. Der Motor verfügt über zwei Ausgänge, die jeweils mit drei Hall-Sensoren ausgestattet sind, sowie über einen Temperatursensor. Zusätzlich werden über das Kabel ein GND und eine +5V-Versorgung benötigt. Die Spulen des Motors werden über drei Phasen angeschlossen: U, V und W.

2.2.2 Vector Controller

Der Vector Controller verwendet die Motorsteuerungstechnologie feldorientierte Regelung (Field-Oriented Control - FOC), dass bedeutet das der Controller mittels den Hallsensoren, ein Rückgekoppelten Regelkreis bildet und somit die Lage des Polrades ermittelt.

[3]

Sie bietet eine effiziente Steuerung von BLDC-Motoren in Anwendungen mit variabler Drehzahl und schnell wechselnden Lasten und verbessert die Energieeffizienz von Asynchronmotoren, vor allem bei niedrigen Drehzahlen.

**Abbildung 2.2:** Golden Motor – Zeichnung: BLDC Motor**Abbildung 2.3:** Golden Motor – VECTOR 500 Motor Controller

2.3 Steuerung – Speedgoat

Speedgoat ist ein Unternehmen, das sich auf hochmoderne Echtzeitsysteme spezialisiert hat. Diese Systeme werden vor allem in der Entwicklung und

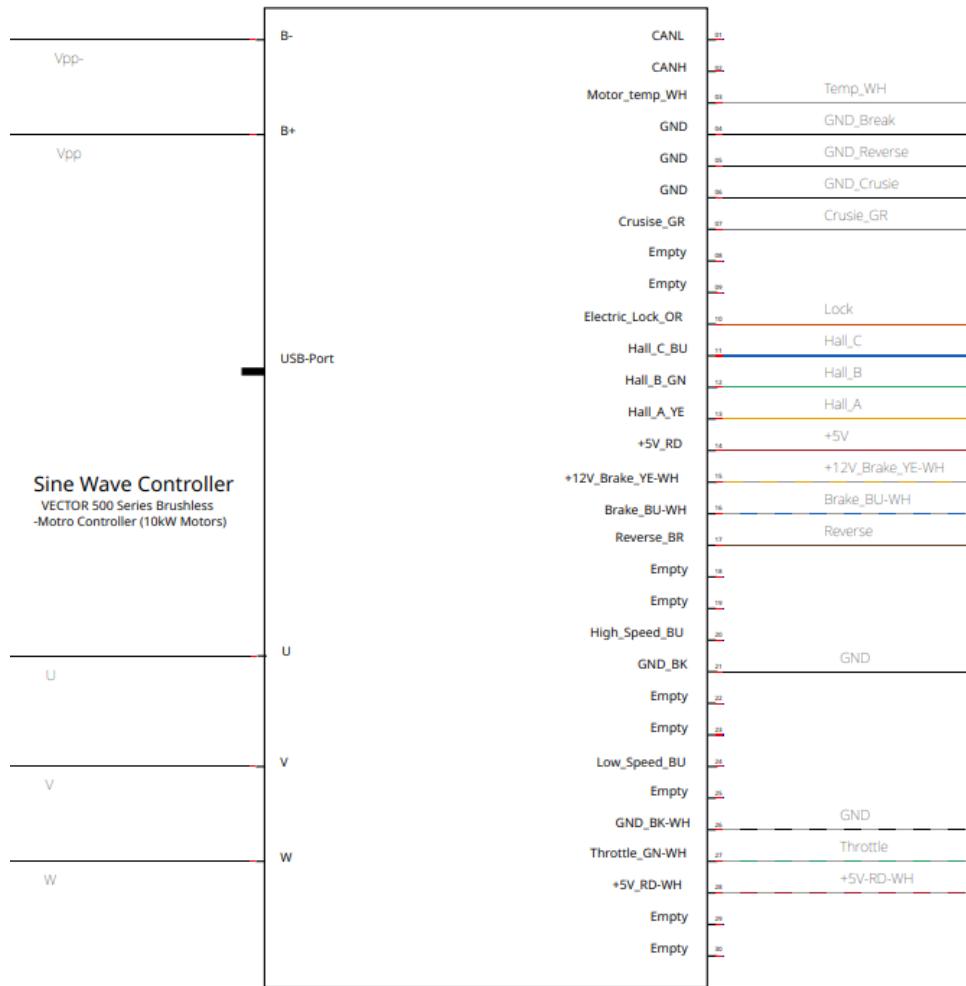


Abbildung 2.4: Golden Motor – Zeichnung: Vector Controller

dem Testen von komplexen Steuerungs- und Regelungssystemen eingesetzt.

Speedgoat-Systeme arbeiten nahtlos mit Simulink zusammen, einer Software von MathWorks, die häufig für die Modellierung und Simulation von dynamischen Systemen eingesetzt wird. Speedgoat bietet eine breite Palette von I/O-Modulen an, die es ermöglichen, verschiedene Sensoren und Aktuatoren an die Systeme anzuschließen. Dies macht die Systeme sehr flexibel und anpassungsfähig. Echtzeitsysteme von Speedgoat sind Computer, die in der Lage sind, Aufgaben innerhalb festgelegter Zeitintervalle auszuführen. Diese Systeme sind entscheidend für Anwendungen, bei denen die zeitliche Genauigkeit von großer Bedeutung ist, wie beispielsweise bei der Steuerung von Motoren, der Regelung von Prozessen oder der Simulation von physikalischen Systemen.



Abbildung 2.5: Speedgoat – Baseline Real-Time Target Machine

2.3.1 Verbaute Module

Für das Projekt wird die Baseline Real-Time Target Machine verwendet. Die über die Module IO397 und IO691 verfügt.



Abbildung 2.6: Speedgoat – I/O Module 397 [4]

Das IO397 I/O-Modul ist ein mPCIe-kompatibles, in Simulink programmierbares FPGA-Modul mit 50k Logikzellen, 4 ADC-Eingangs- und 4 DAC-Ausgangskanälen, sowie 14 ESD-geschützten TTL-I/O-Leitungen. Es unter-

stützt eine 16-Bit-Auflösung, softwareseitig auswählbare Spannungen und ist ideal für geschlossene Regelkreise und Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulationen mit MATLAB und Simulink [4].



Abbildung 2.7: Speedgoat – I/O Module 691 [5]

Das IO691 I/O-Modul bietet eine intelligente CAN-Schnittstelle mit zwei Kanälen, die sowohl flexible Datenrate CAN (CAN FD) als auch High-Speed CAN (CAN HS) unterstützen. Es ist kompatibel mit CAN 2.0A/B-Netzwerken und unterstützt SAE J1939 sowie ASAM XCP für Bypassing. Alle Signale sind über 9-polige D-Sub-Front-CAN-Anschlüsse zugänglich. Das Modul ist ideal für geschlossene Regelkreise, Hardware-in-the-Loop-Simulationen und Restbussimulationen mit MATLAB und Simulink [5].

2.3.2 Pin Mapping der Module

Das Modul IO397-50k kann über ein Sensor-Aktor-Kabel von Phoenix Contact extern angeschlossen werden, wie in Abbildung 2.8 dargestellt. Zusätzlich wird das Modul IO691 mittels eines 9-Pin D-Sub-Steckers (männlich) angeschlossen.



Abbildung 2.8: Speedgoat – Ansicht der Modulanschlüsse

Pin Mapping – IO397-50k

Terminal Board A ist für die Verarbeitung analoger Signale ausgelegt, sowohl für Eingänge als auch für Ausgänge. Die Tabelle 2.1 zeigt das Pin Mapping von Terminal Board A. Dieses Board enthält Anschlüsse für insgesamt vier analoge Eingänge (Pins 1a bis 8a) und vier analoge Ausgänge (Pins 9a bis 12a). Die analogen Eingänge sind für die Messung von Spannungen zuständig, wobei die positiven und negativen Leitungen (jeweils "+ und -") getrennt geführt werden, um eine differenzielle Signalverarbeitung zu ermöglichen. Die Ausgänge sind digitale-zu-analoge-Wandler (DAC), die analoge Signale für den Antrieb von Geräten bereitstellen. Zusätzlich sind mehrere Ground- und Spannungsanschlüsse vorhanden, um eine stabile Stromversorgung zu gewährleisten.

Terminal Board B hingegen bietet eine flexible Konfiguration für digitale Ein- und Ausgänge. Die Tabelle 2.2 zeigt das Pin Mapping von Terminal Board B. Die Pins 3b bis 16b sind für konfigurierbare I/O-Funktionalitäten ausgelegt und nutzen TTL-Signale (Transistor-Transistor-Logik), was sie besonders für schnelle digitale Schaltvorgänge geeignet macht. Dieses Board ermöglicht es, die Anschlüsse flexibel zu nutzen, je nach den Anforderungen der Applikation. Auch hier gibt es mehrere Spannungs- und Ground-Anschlüsse, sowie eine Abschirmung (Shielding) für das M12-Kabel, um elektromagnetische Störungen zu minimieren.

Tabelle 2.1: IO397-50k Pin Mapping – Terminal Board A: analog I/O [4]

| Pin | Funktionalität | Type |
|------------|------------------------|-------------|
| 1a | Analog input 01 (+) | ADC |
| 2a | Analog input 01 (-) | ADC |
| 3a | Analog input 02 (+) | ADC |
| 4a | Analog input 02 (-) | ADC |
| 5a | Analog input 03 (+) | ADC |
| 6a | Analog input 03 (-) | ADC |
| 7a | Analog input 04 (+) | ADC |
| 8a | Analog input 04 (-) | ADC |
| 9a | Analog output 01 | DAC |
| 10a | Analog output 02 | DAC |
| 11a | Analog output 03 | DAC |
| 12a | Analog output 04 | DAC |
| 13a | Ground | |
| 14a | Ground | |
| 15a | 0V | |
| 16a | 5V | |
| 17a | Ground | |
| SH | Shielding of M12 cable | |

Pin Mapping – IO691**2.4 Abstandsmessung****2.5 Speicher**

Tabelle 2.2: IO397-50k Pin Mapping – Terminal Board B: analog I/O [4]

| Pin | Funktionalität | Type |
|-----|--------------------------------|------|
| 1b | 0 V | |
| 2b | 5 V | |
| 3b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 4b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 5b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 6b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 7b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 8b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 9b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 10b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 11b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 12b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 13b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 14b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 15b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 16b | Configurable I/O functionality | TTL |
| 17b | Ground | |
| SH | Shielding of M12 cable | |

Tabelle 2.3: IO691 Pin Mapping

| Pin | DB9 Connector A/B, Signal |
|-----|---------------------------|
| 1 | - |
| 2 | CAN-low |
| 3 | GND |
| 4 | - |
| 5 | - |
| 6 | GND |
| 7 | CAN-high |
| 8 | - |
| 9 | - |



Abbildung 2.9: Pepperl+Fuchs – Distanzsensor



Abbildung 2.10: DeepC Power – Lithium Batterie 50Ah | 51,2V | 2560Wh

Kapitel 3

Implementierung

Kapitel 4

Konklusion

Kapitel 5

Anhang

Literatur

- [1] Elon Musk. *Hyperloop Alpha*. 2013. URL: https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf.
- [2] mathworks. *Introduction to Brushless DC Motor Control*. Abschnitt: Types of DC Motors; abgerufen am 11-08-2024. 2024. URL: <https://de.mathworks.com/campaigns/offers/next/introduction-to-brushless-dc-motor-control.html>.
- [3] Dierk Schröder. 2. Aufl. Heidelberg: Springer, 2000.
- [4] speedgoat. *FPGA I/O Module - IO397*. [Online; Zugriff 12-August-2024]. URL: <https://www.speedgoat.com/products/simulink-programmable-fpgas-fpga-i-o-modules-io397>.
- [5] speedgoat. *CAN and CAN FD I/O Module - IO691*. [Online; Zugriff 12-August-2024]. URL: <https://www.speedgoat.com/products/communication-protocols-can-fd-io691>.