



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, 5. September 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, 5. September 2024 

# Inhaltsverzeichnis

Rechtliche Erklärung . . . . .	I
Abbildungsverzeichnis . . . . .	IV
Tabellenverzeichnis . . . . .	V
Diagrammverzeichnis . . . . .	VI
Oszillogrammverzeichnis . . . . .	VII
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.1.1 Institute of Hyperloop Technology . . . . .	2
1.2 Aufgabenstellung . . . . .	3
1.3 Aufbau der Projektdokumentation . . . . .	3
<b>2 Konzept</b>	<b>4</b>
<b>3 Stand der Technik</b>	<b>5</b>
3.1 Antrieb – Golden Motor . . . . .	5
3.1.1 BLDC Motor . . . . .	6
3.1.2 Vector Controller . . . . .	7
3.2 Echtzeitfähige Steuerung – Speedgoat . . . . .	8
3.2.1 Verbaute Module . . . . .	9
3.2.2 Pin Mapping der Module . . . . .	11
3.3 Abstandsmessung . . . . .	13
3.4 Speicher . . . . .	13
<b>4 Implementierung</b>	<b>16</b>
4.1 Auswahl der Bauteile . . . . .	16
4.2 Schaltplan . . . . .	16
4.2.1 Betriebsmittelbezeichnung . . . . .	17
4.2.2 Bauteilerstellung . . . . .	18
4.3 Distanzmessung . . . . .	19
4.3.1 Verbindung . . . . .	20
4.4 Steuerung . . . . .	21

<b>5 Konklusion</b>	<b>22</b>
---------------------	-----------

<b>6 Anhang</b>	<b>23</b>
-----------------	-----------

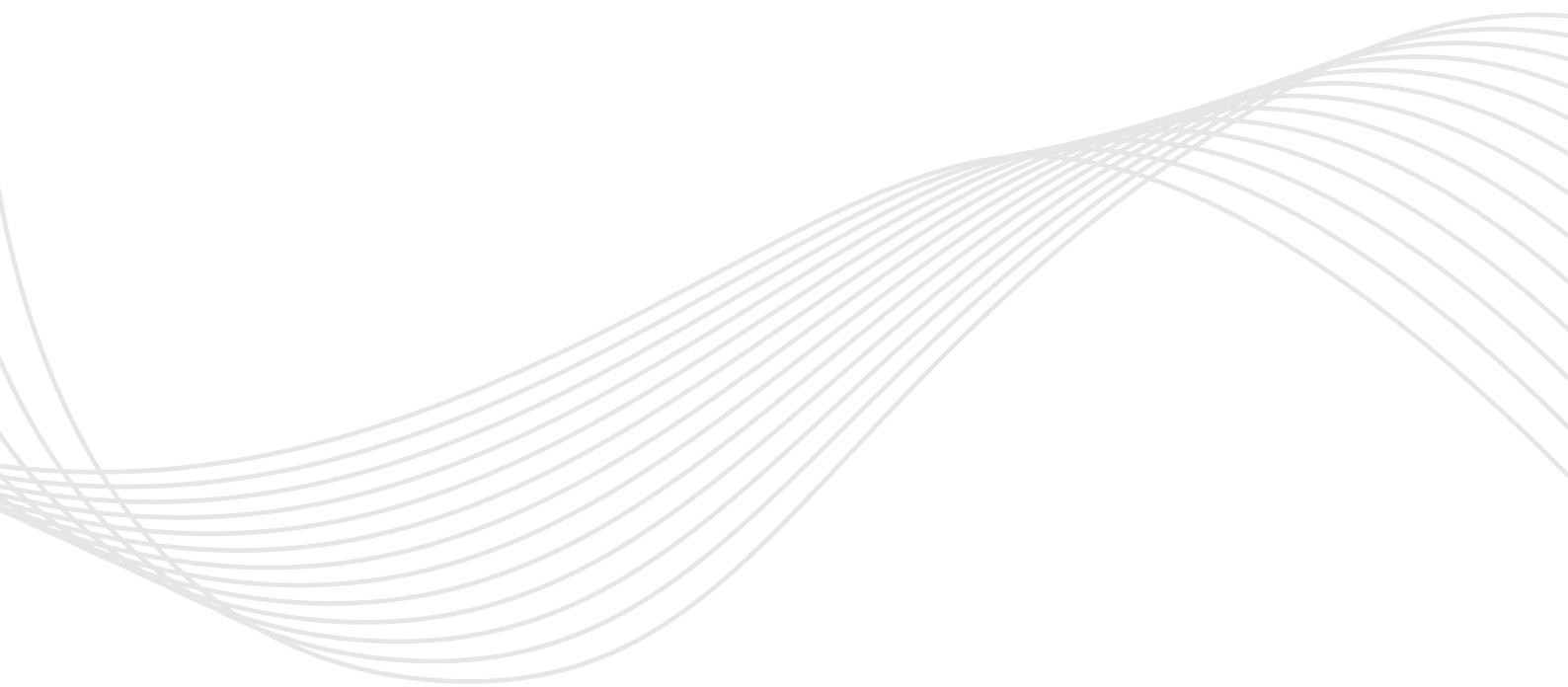
# Abbildungsverzeichnis

1.1	Hyperloop der Hochschule Emden-Leer . . . . .	1
2.1	Konzept – Aufbauplan des Pods . . . . .	4
3.1	Golden Motor – 10 KW BLDC Motor Liquid Cooled . . . . .	6
3.2	Golden Motor – VECTOR 500 Motor Controller . . . . .	8
3.3	Golden Motor – Zeichnung: Vector Controller . . . . .	9
3.4	Speedgoat – Baseline Real-Time Target Machine . . . . .	10
3.5	Speedgoat – I/O Module 397 [3] . . . . .	10
3.6	Speedgoat – I/O Module 691 [4] . . . . .	11
3.7	Speedgoat – Ansicht der Modulanschlüsse . . . . .	12
3.8	Pepperl+Fuchs – Distanzsensor . . . . .	15
3.9	DeepCPower – Lithium Batterie 50Ah   51,2V   2560Wh . . .	15
4.1	Schaltplan – Aufbauplan . . . . .	18
4.2	PARKSIDE – Distanzsensor – Innenaufbau . . . . .	20

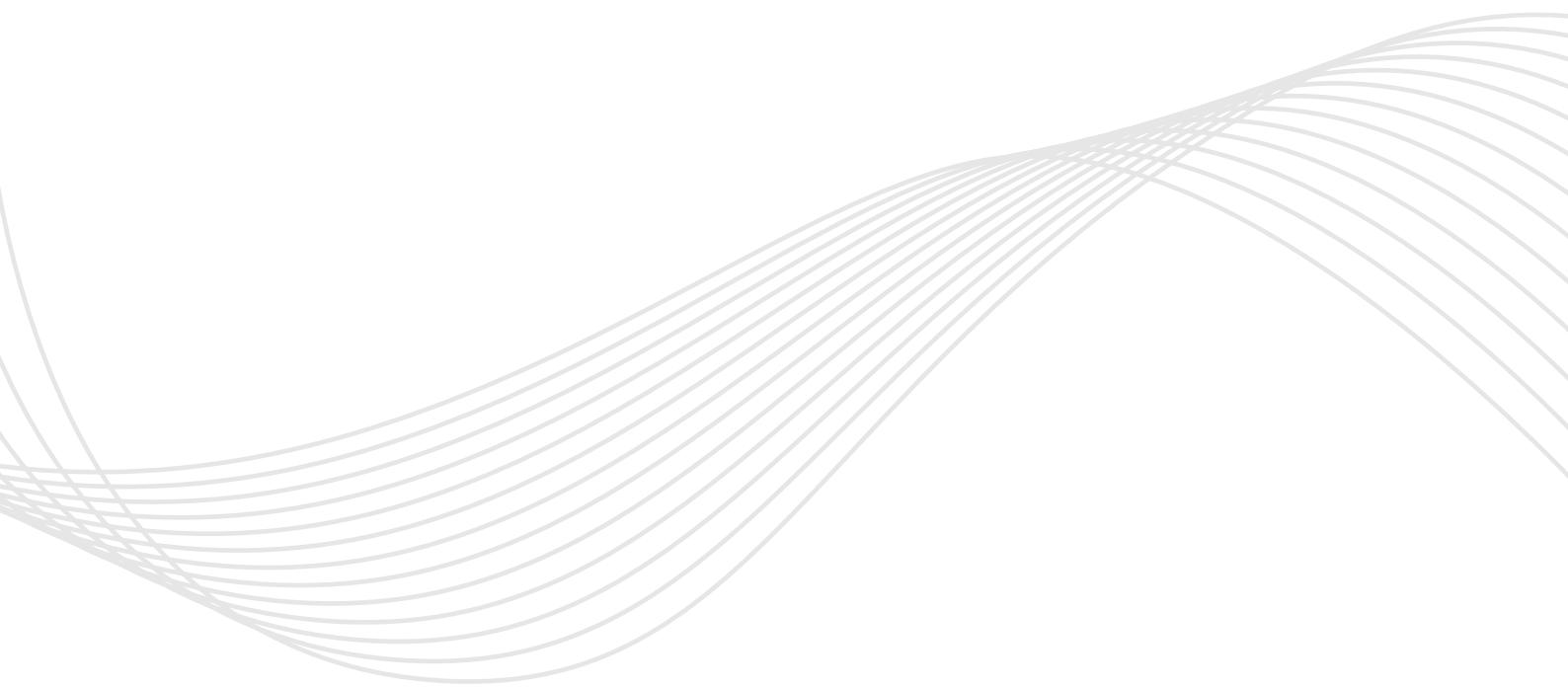
# Tabellenverzeichnis

3.1	Pin Mapping – BLDC-Motor . . . . .	7
3.2	IO397-50k Pin – Terminal Board A: analog I/O [3] . . . . .	13
3.3	IO397-50k Pin Mapping – Terminal Board B: analog I/O [3] .	14
3.4	IO691 Pin Mapping . . . . .	14
4.1	Schaltplan – Funktionskennzeichen (=) . . . . .	17
4.2	Schaltplan – Ortskennzeichen (+) . . . . .	17
4.3	Schaltplan – Betriebsmittelkennzeichen (-) [5] . . . . .	19
4.4	PARKSIDE – Pin Mapping – Distanzsensor . . . . .	21

# Diagrammverzeichnis



# Oszillogrammverzeichnis



# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

Der Hyperloop ist ein innovatives Transportkonzept, das eine ökonomische, klimafreundliche und schnellere Alternative zu herkömmlichen Verkehrsmitteln wie Lastkraftwagen, Zügen und Flugzeugen bietet. Derzeit stehen her-



**Abbildung 1.1:** Hyperloop der Hochschule Emden-Leer

kömmlichen Transportmitteln zwei wesentliche Hindernisse im Weg, um Personen und Güter schnell und emissionsarm zu befördern: Zum einen der hohe Luftwiderstand, der bei hohen Geschwindigkeiten den Energieverbrauch stark erhöht, und zum anderen der Rollwiderstand der Räder, der ebenfalls zu einem höheren Energiebedarf führt.

Der Hyperloop löst diese Probleme, indem er Güter und Personen in einem Fahrzeug, das sich in einer Vakuumröhre bewegt, wie in Abbildung 1.1 dargestellt ist, zudem wird das Fahrzeug, wie bei Magnetschwebebahntechnik angehoben, somit lassen sich Roll- und Luftwiderstand fast vollkommen aufheben.

Angesichts der globalen Bemühungen zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und zur Bekämpfung des Klimawandels könnte Hyperloop eine umweltfreundlichere Alternative zu Autos und Flugzeugen bieten.

### 1.1.1 Institute of Hyperloop Technology

Die Hochschule Emden/Leer hat im Jahr 2021 das Institut für Hyperloop-Technologie (IHT) gegründet, um aktiv an der Forschung zu dieser zukunftsweisenden Technologie teilzunehmen.

Im Rahmen dieser Forschung wurde an der Hochschule Emden eine Teststrecke mit einer Länge von 26 Metern errichtet (siehe Abbildung 1.1). Auf dieser Strecke soll das Fahrzeug (POD) unter realistischen Bedingungen getestet und weiterentwickelt werden. Die Teststrecke besteht aus einem Schinensystem und einem Linarmotor. Der Linarmotor wird für die Magnetschwebebahntechnik verwendet.

Darüber hinaus engagiert sich das IHT in verschiedenen Projekten, darunter das »European Hyperloop Technology Center – EuHyTeC«, das europäische Hyperloop-Initiativen vernetzt und gemeinsam die nächste Generation des Transports entwickelt.

## 1.2 Aufgabenstellung

To-do

- Ablauforientiert erklären. Also erst die Bestellung, dann der Schaltplan und dann die Simulation mit Simulink.
- Aufgabenstellung in der Vergangenheit formulieren.
- Den Leser in der Doku struktur Einführen. Am enden in 1.x

Die Motivation für dieses Projekt liegt in der Entwicklung eines Hyperloop-Fahrzeugs, das mit einer Batterie und einem Motor betrieben wird. Für die Steuerung des Fahrzeugs wurde ein echtzeitfähiges Steuerungssystem der Firma Speedgoat vorgeben, welches in Abschnitt ?? vertieft wird.

Im Rahmen des Projekts wird ein Fahrzeug (Pod) für den Hyperloop mit einer Bordspannung von 48 V konzipiert. Ziel ist es, die Machbarkeit dieser Spannung zu überprüfen und umzusetzen. Dazu gehören die Planung und Simulierung, die Integration der erforderlichen Sensorik sowie die Beschaffung der notwendigen Bauteile. Die Logik- und Signalverarbeitung wird mithilfe von Simulink auf dem echtzeitfähigen Speedgoat-System durchgeführt. Die Steuerung erfolgt über Simulink, ein Modul von MATLAB, und umfasst die Erfassung von Position und Beschleunigung des Fahrzeuges. Der Motor wird über ein zusätzliches Steuergerät angesteuert. Die Steuerung soll als Automatensteuerung umgesetzt werden. Die Verdrahtung des Pods wird entsprechend der Bordspannung von 48 V ausgelegt. Hierfür wird mit der Software QElectroTech ein Schaltplan erstellt. Alle erforderlichen Bauteile für die Umsetzung der Bordspannung, die Verdrahtung und die Sensorik müssen beschafft werden. Textergebnisse und in Betriebnahme entfallen.

## 1.3 Aufbau der Projektdokumentation

## Kapitel 2

# Konzept

Wie in Abbildung 2.1 dargestellt, werden die Baugruppen des Pods an verschiedenen Stellen miteinander verbunden. Dabei übernimmt die Steuereinheit (+SE1) eine zentrale Rolle. Mit der echtzeitfähigen Steuerung von Speedgoat werden alle digitalen und analogen Ein- und Ausgangssignale gesteuert, einschließlich der Distanzmessung und der G-Kraft-Messungen. Die Distanzmessung ist für die Positionsermittlung notwendig, während die G-Kraft-Messung für Forschungszwecke genutzt werden soll. Die Steuereinheit (+SE1) wird von der Batterieeinheit (+BE2) mit Energie versorgt.

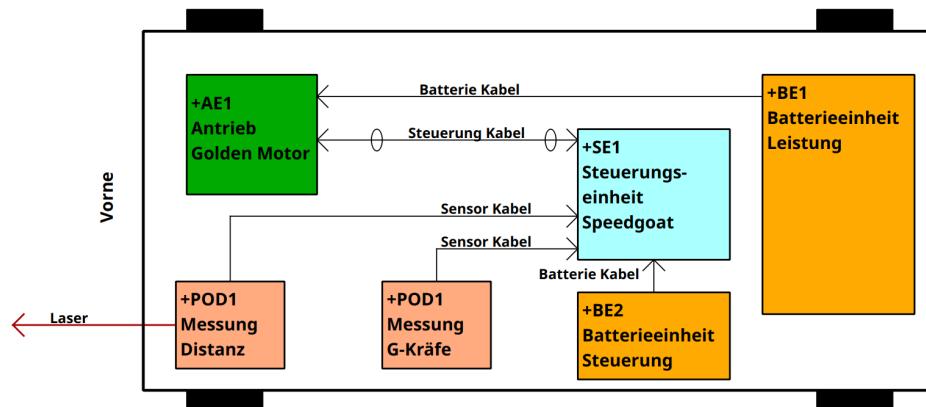


Abbildung 2.1: Konzept – Aufbauplan des Pods

Der Antrieb (+AE1) erfolgt über einen BLDC-Motor. Dieser wird mittels eines zusätzlichen Steuergeräts, einem Vector-Controller (FOC: Field Oriented Control), angesteuert. Für die Energieversorgung des Antriebs wird eine Leistungsbatterie (+BE1) verwendet.

## Kapitel 3

# Stand der Technik

### To-do

- Bilder neu machen aus dem Schaltplan.
- Vector Controller, Funktionsweise nur kurz erklären und mehr auf die Anschlüsse eingehen.
- PIN-Mapping als Tabelle erstellen, für den Motor und den Vector Controller.
- QElectroTeck.
- PIN-Mapping als Tabelle erstellen, für den Motor und den Vector Controller.
- Auf die PDF verweisen.

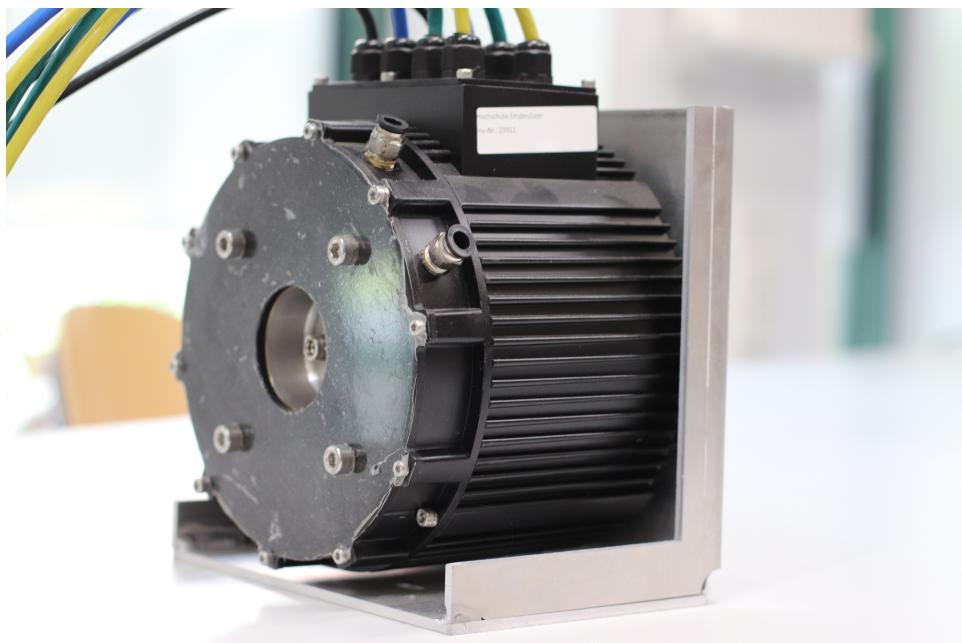
In dem folgenden Abschnitt werden die verwendeten Bauteile, welche in Kapitel 2 dargestellt worden sind, näher beschrieben.

### 3.1 Antrieb – Golden Motor

Golden Motor bietet eine Gesamtlösung bestehend aus einem BLDC-Motor und einem Vektor-Controller an. Der Motor wird dabei mit dem Controller verbunden, der eine Schnittstelle mit allen notwendigen Steuer- und Kontrollsignalen bereitstellt, um den Motor anzutreiben. Die Anschlüsse sowie die grundlegende Funktionsweise werden in den Abschnitten 3.1.1 und 3.1.2 näher erläutert.

### 3.1.1 BLDC Motor

Der in Abbildung 3.1 dargestellte BLDC-Motor verfügt über eine Leistung von 10 kW und kann optional durch eine Ölkühlung gekühlt werden, was jedoch für das Fahrzeug derzeit nicht relevant ist. Die Drehzahl ist variabel und kann zwischen 2.000 und 6.000 U/min eingestellt werden, mittels dem Vector Controller der in Abschnitt 3.1.2 erklärt wird. Das Nenndrehmoment beträgt 26 Nm, während das maximale Drehmoment bei 85 Nm liegt. Der Wirkungsgrad des Motors beträgt 91 %.



**Abbildung 3.1:** Golden Motor – 10 KW BLDC Motor Liquid Cooled

Die Anschlüsse des Motors sind in Tabelle 3.1 aufgelistet. Der Motor verfügt über zwei Hall-Sensor-Kabel, die jeweils drei Hall-Sensoren sowie einen Temperatursensor enthalten. Zusätzlich sind ein GND- und ein +5V-Versorgungsanschluss in den Hall-Sensor-Kabeln integriert. Die Spulen des Motors werden über sechs separate Kabel angeschlossen: U, V und W.

**Tabelle 3.1:** Pin Mapping – BLDC-Motor

<b>Anschluss</b>	<b>Funktionalität</b>	<b>Farbe</b>
<b>Anschluss Adern Motor</b>		
U1	Spule 1	Gelb
V1	Spule 2	Grün
W1	Spule 3	Blau
U2	Spule 1	Gelb
V2	Spule 2	Grün
W2	Spule 3	Blau
<b>Motor Hall Kabel 1</b>		
Hall A	Hall Sensor	Gelb
Hall B	Hall Sensor	Grün
Hall C	Hall Sensor	Blau
Temp	Temperatur Sensor	Weiß
+5V	Spannungsversorgung	Rot
GND	Masse	Schwarz
<b>Motor Hall Kabel 2</b>		
Hall A	Hall Sensor	Gelb
Hall B	Hall Sensor	Grün
Hall C	Hall Sensor	Blau
Temp	Temperatur Sensor	Weiß
+5V	Spannungsversorgung	Rot
GND	Masse	Schwarz

### Funktionsweise

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[1].

#### 3.1.2 Vector Controller

Der Vector Controller verwendet die Motorsteuerungstechnologie feldorientierte Regelung (Field-Oriented Control - FOC), dass bedeutet das der Controller mittels den Hallsensoren, einem Rückgekoppelten Regelkreis bildet

und somit die Lage des Polrades ermittelt.

[2]

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 3.2:** Golden Motor – VECTOR 500 Motor Controller

## 3.2 Echtzeitfähige Steuerung – Speedgoat

To-do

- PIN-Mapping 3.3 überprüfen.
- I/O Module 691 zuende Erklären.

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

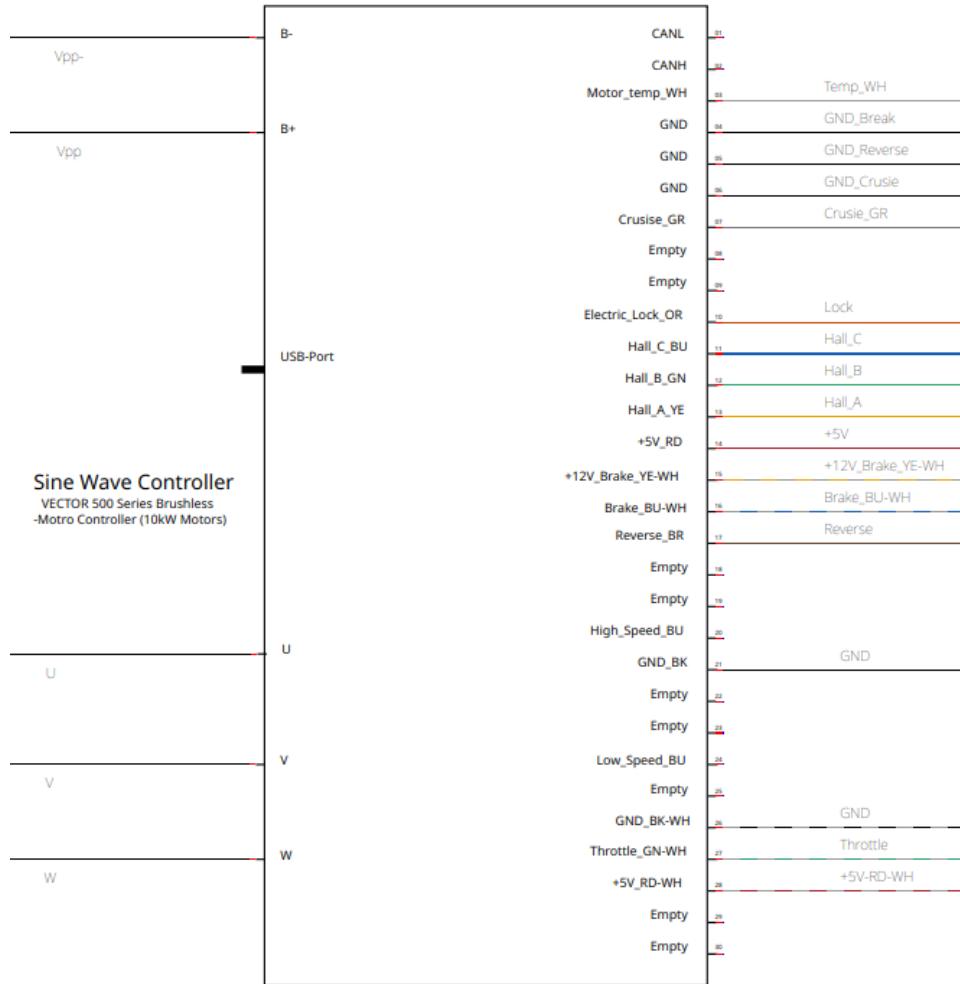


Abbildung 3.3: Golden Motor – Zeichnung: Vector Controller

toren 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.

### 3.2.1 Verbaute Module

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



Abbildung 3.4: Speedgoat – Baseline Real-Time Target Machine

ben werden.



Abbildung 3.5: Speedgoat – I/O Module 397 [3]

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 unterstützt eine 16-Bit-Auflösung, softwareseitig auswählbare Spannungen und ist ideal für geschlossene Regelkreise und Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulationen mit MATLAB und Simulink [3].



Abbildung 3.6: Speedgoat – I/O Module 691 [4]

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 [4].

### 3.2.2 Pin Mapping der Module

Das Modul IO397-50k kann über ein Sensor-Aktor-Kabel von Phoenix Contact extern angeschlossen werden, wie in Abbildung 3.7 dargestellt. Zusätzlich wird das Modul IO691 mittels eines 9-Pin D-Sub-Steckers (männlich) angeschlossen.

#### Pin Mapping – IO397-50k

Terminal Board A ist für die Verarbeitung analoger Signale ausgelegt, sowohl für Eingänge als auch für Ausgänge. Die Tabelle 3.2 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 in Bezug auf eine physikalische Größe zuständig, wobei die positiven und negativen Leitungen (jeweils '+' und '-') getrennt geführt werden, um eine differenzielle Signalverarbeitung zu ermöglichen. Die Ausgänge sind an einem digitale-zu-analoge-Wandler (DAC) angeschlossen, die analoge Signale für den Antrieb von Geräten bereitstellen. Zusätzlich sind mehrere Ground- und Spannungsanschlüsse vorhanden, um eine stabile Stromversorgung zu gewährleisten.



Abbildung 3.7: Speedgoat – Ansicht der Modulanschlüsse

Terminal Board B hingegen bietet eine flexible Konfiguration für digitale Ein- und Ausgänge. Die Tabelle 3.3 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 3.2:** IO397-50k Pin – Terminal Board A: analog I/O [3]

<b>Pin</b>	<b>Funktionalität</b>	<b>Type</b>
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****3.3 Abstandsmessung****3.4 Speicher**

**Tabelle 3.3:** IO397-50k Pin Mapping – Terminal Board B: analog I/O [3]

Pin	Funktionalität	Type
1b	0 V	
2b	5 V	
3b	CAP	IN
4b	CAP	IN
5b	CAP	IN
6b	CAP	IN
7b	CAP	IN
8b	CAP	IN
9b	CAP – Trigger	IN
10b	QAE – A	OUT
11b	QAE – A	OUT
12b	QAE – C/Index	OUT
13b	DIO	IN/OUT
14b	DIO	IN/OUT
15b	DIO	IN/OUT
16b	Interrupt input	IN
17b	GND	

**Tabelle 3.4:** 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 3.8: Pepperl+Fuchs – Distanzsensor



Abbildung 3.9: DeepC Power – Lithium Batterie 50Ah | 51,2V | 2560Wh

## Kapitel 4

# Implementierung

### 4.1 Auswahl der Bauteile

Für das Projekt wurden die echtzeitfähige Steuerung, die Batterie, der Motor und die zugehörige Steuerung vorgegeben. Alle weiteren Bauteile mussten bestellt werden.

### 4.2 Schaltplan

To-do

- Funktion (=Anlage) und Ortskennzeichen (+Ort) definieren.  
Funktionales Engineering.
- Bauteilkennzeichnung (BMK) festlegen.
- Aderfarben und Querschnitt definieren.
- Ausgewählte Bauteile in die Schaltung integrieren.
- Nicht vorhandene Bauteile selbst erstellen.
  - Bauteile sortiert hinzufügen: Spannungsversorgung, Steuerung (Eingang, dann Ausgang), Lastkreis und Sonderfunktionen.

Zu Beginn der Erstellung des Schaltplans sollten die Funktions- und Ortskennzeichen, sowie die Beschriftung der Bauteile und Leitungen festgelegt werden. Die Verdrahtung erfordert die Zuordnung von Aderfarben, die den jeweiligen Potenzialen entsprechen.

### 4.2.1 Betriebsmittelbezeichnung

Ein Betriebsmittel besteht aus verschiedenen Kennzeichen: dem Funktionskennzeichen (=), dem Ortskennzeichen (+) und dem Betriebsmittelkennzeichen (-). Früher wurde das Funktionskennzeichen als „Anlage“ bezeichnet. In der neuen DIN EN IEC 81346-2 [5] wurde diese Bezeichnung jedoch auf „Funktion“ geändert.

Das Funktionskennzeichen beschreibt eine bestimmte Funktion im Schaltplan, wie beispielsweise die Spannungsversorgung oder die Steuerung (siehe Tabelle 4.1).

**Tabelle 4.1:** Schaltplan – Funktionskennzeichen (=)

Abkürzung	Bezeichnung
SV	Spannungsversorgung
ES	Eingänge Steuerung
AS	Ausgänge Steuerung
KO	Kommunikation
AT	Antrieb
NA	Not-Aus

Das Ortskennzeichen gibt an, an welchem Ort ein Bauteil installiert ist. Beispielsweise gibt es im Pod eine Steuereinheit und eine Batterieeinheit. Im Schaltplan wird dadurch deutlich, welche Verbindungen zwischen verschiedenen Orten bestehen. Das Ortskennzeichen erleichtert zudem die Wartung und Installation des Systems.

**Tabelle 4.2:** Schaltplan – Ortskennzeichen (+)

Abkürzung	Bezeichnung
POD	Fahrzeug
BE	Batterieeinheit
SE	Steuereinheit
AE	Antriebseinheit

Das Betriebsmittelkennzeichen bezeichnet das spezifische Bauteil. Die genaue Zuordnung der Bezeichnungen ist in der DIN EN IEC 81346-2 geregelt. Die für das Projekt relevanten Betriebsmittelkennzeichen sind in Tabelle 4.3 aufgeführt.

Bei einer vollständigen Betriebsmittelbezeichnung sieht das Kennzeichen des Betriebsmittels wie folgt aus: =SA+KE-KE101, Bei der .

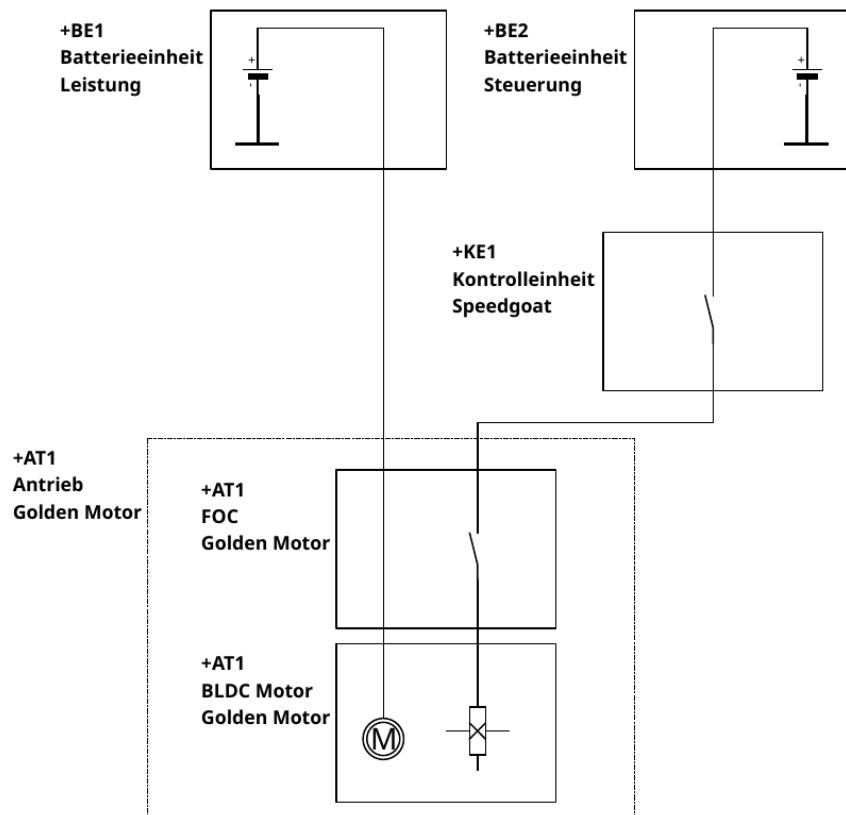


Abbildung 4.1: Schaltplan – Aufbauplan

### 4.2.2 Bauteilerstellung

In der Software QElectroTech, kann dies in der Bauteilsammlung getan werden.

**Tabelle 4.3:** Schaltplan – Betriebsmittelkennzeichen (-) [5]

Abkürzung	Klassenname	Allgemeine Bedeutung
FC	Überstromschutzobjekt	Sicherung
GB	Erzeugungsobjekt für elektrische Energie durch chemische Energie	Batterie
KE	Elektrische Signale verarbeitendes Objekt	Steuerung
MA	Elektromagnetisches Rotationsantriebsobjekt	Motor
QA	Stromsteuerungsobjekt	Relais
RL	Bewegungsbegrenzungsobjekt	Bremse
SF	Gesichtsinteraktionsobjekt	Schalter
TB	Stromkonvertierungsobjekt	Transformator
WD	Niederspannungsenergie Leitobjekt	Leitung/Kabel
XD	Niederspannungs-Verbindungsobjekt	Klemme, Stecker oder Buchse

## 4.3 Distanzmessung

To-do

- + Anschlüsse herauszufinden vier anschlüsse gefunden.
- + Was für Aufgaben haben die Anschlüsse?  
Was für ein Kommunikationsprotokol hat der Sensor?  
Asynchron und seriell mit Baudrate 115200. (Ozilloskop)
- mit einem ESP32 die Sensordaten lesen.
- Nachrichten Dekodierung (Controller MCU)
  - Ox24 Start (Nachricht start)
  - 0x26 Stopp (Nachricht ende)
  - 24 30 30 33 32 36 30 30 32 39 26 (Stopp signal)
  - 24 30 30 30 33 32 36 30 31 33 30 26 (Laser an)
  - 24 30 30 30 32 32 31 32 33 26 (Messen)

Der Sensor von Pepperl+Fuchs wurde ursprünglich für die Distanzmessung angeschafft. Da dieser Sensor jedoch sehr teuer ist und wir nicht das Risiko eines möglichen Schadens im Vakuum eingehen wollten, wurde nach einer kostengünstigen Alternative gesucht.

Die Idee bestand darin, ein Entfernungsmessergerät von PARKSIDE zu verwenden und den Sensor aus dem Gerät zu entfernen. Die Messwerte werden anschließend mit einer MCU decodiert.

#### 4.3.1 Verbindung

Der Sensor ist über ein Flachbandkabel mit der Hauptplatine verbunden, wie in Abbildung 4.2 zu sehen ist. Auf der Hauptplatine befinden sich vier ungenutzte Lötstellen. Mithilfe eines Oszilloskops haben wir diese Lötstellen analysiert und festgestellt, dass Leitung eins eine Spannung von 3,3 V führt und Leitung vier als GND dient. Die Leitungen zwei und drei übertragen digitale Signale und fungieren als Datenleitungen.

Wenn zwei Leitungen für die Datenübertragung vorhanden sind, kann die Kommunikation bei einer zweiadrigten Verbindung entweder synchron oder asynchron erfolgen. Ist die Kommunikation synchron, dient eine der Leitungen als Takteleitung (Clock). Andernfalls, bei einer asynchronen Kommunikation, ist eine Leitung der Sender (TX) und die andere der Empfänger (RX). Dies ermöglicht eine Vollduplex-Übertragung. Der Sensor kommuniziert mit einem Bussystem.

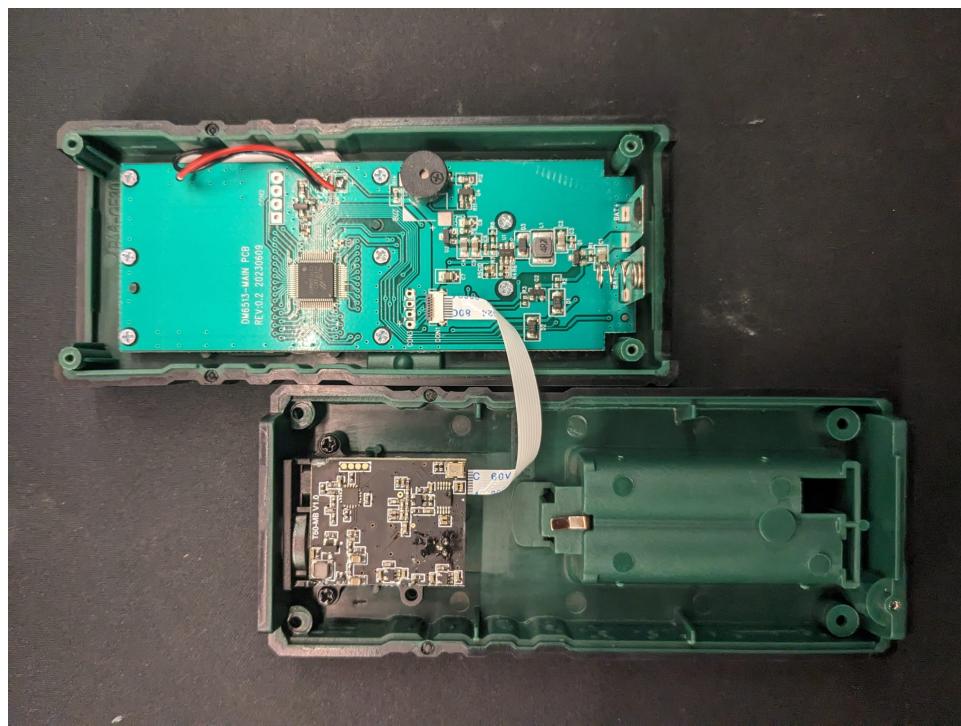


Abbildung 4.2: PARKSIDE – Distanzsensor – Innenaufbau

**Tabelle 4.4:** PARKSIDE – Pin Mapping – Distanzsensor

Pin	Farbe	Funktion
1	Rot	3V3
2	Weiß	RX (receiver)
3	Gelb	TX (transmitter)
4	Schwarz	GND

## 4.4 Steuerung

To-do

.

## Kapitel 5

# Konklusion

To-do

- Endeschnittstellen für die weiterführung des Projekts.
- Lastenheft ???
- weiterführung mit Testsenarien.

## Kapitel 6

## Anhang

# Literatur

- [1] 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>.
- [2] Dierk Schröder. 2. Aufl. Heidelberg: Springer, 2000.
- [3] 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>.
- [4] 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>.
- [5] DIN EN IEC 81346-2 *Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte – Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung – Teil 2*. Norm. 2020.