

# Diplomarbeit

Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt Salzburg  
Abteilung für Elektrotechnik

## Entwicklung eines emissionsfreien Sportmotorrades

### **Entwicklung der Zentralsteuerung / Projektleitung**

Martin Kronberger 5AHET Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner

### **Entwicklung des Antriebssystems**

Jakob Lackner 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. MBA Adolf Reinhart

### **Entwicklung des Akkusystems**

Simon Kern 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter

### **Entwicklung der mechanischen Komponenten**

Tobias Schmeisser 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Peter Lindmoser

Höhere Technische Bundeslehr-  
und Versuchsanstalt Salzburg

Itzlinger Hauptstraße 30

A-5022 Salzburg

[www.htl-salzburg.ac.at](http://www.htl-salzburg.ac.at)





# Eidesstaatliche Erklärung

Wir erklären an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht haben. Wir versichern, dass wir dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt haben.

# Gendererklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

---

Martin Kronberger

---

Ort, Datum

---

Jakob Lackner

---

Ort, Datum

---

Simon Kern

---

Ort, Datum

---

Tobias Schmeisser

---

Ort, Datum



# Vorwort

In immer mehr Großstätten werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren verboten. Viele Motorräder und Autos können nicht mehr produziert werden, da sie die immer strenger werdenden Abgasnormen nicht mehr einhalten können und das Thema der Klimaerwärmung wird immer präsenter und immer mehr Menschen versuchen ihren „carbon footprint“ zu verkleinern.

Doch leider gibt es für Motorradfahrer zumeist keine wirklichen alternativen, um für ihr Hobby auf eine emissionsfreie Alternative umzusteigen. Denn zumeist ist das Preis-Leistungsverhältnis, oder auch das Produkt selbst, nicht sehr einladend. Daher ist unser Ziel die Entwicklung in diesem Bereich voranzutreiben und dadurch den Markt zu vergrößern, wodurch immer mehr und bessere Produkte angeboten werden können.



# Danksagung

TEXT DANKSAGUNG





# DIPLOMARBEIT

## DOKUMENTATION

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

# DIPLOMA THESIS

## DOCUMENTATION

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |



# Erklärung

Die unterfertigten Kandidaten haben gemäß §34 (3) SchUG in Verbindung mit §22 (1) Zi. 3 lit. b der Verordnung über die abschließenden Prüfungen in den berufsbildenden mittleren und höheren Schulen, BGBl. II Nr. 70 vom 24.02.2000 (Prüfungsordnung BMHS), die Ausarbeitung einer Diplomarbeit mit der umseitig angeführten Aufgabenstellung gewählt. Die Kandidaten nehmen zur Kenntnis, dass die Diplomarbeit in eigenständiger Weise und außerhalb des Unterrichtes zu bearbeiten und anzufertigen ist, wobei Ergebnisse des Unterrichtes mit einbezogen werden können. Die Abgabe der vollständigen Diplomarbeit hat bis spätestens

03.04.2020

beim zuständigen Betreuer zu erfolgen. Die Kandidaten nehmen weiters zur Kenntnis, dass gemäß §9 (6) der Prüfungsordnung BMHS nur der Schulleiter bis spätestens Ende des vorletzten Semesters den Abbruch einer Diplomarbeit anordnen kann, wenn diese aus nicht beim Prüfungskandidaten / bei den Prüfungskandidaten gelegenen Gründen nicht fertiggestellt werden kann.

| Kandidaten / Kandidatinnen | Unterschrift |
|----------------------------|--------------|
| Martin Kronberger          |              |
| Jakob Lackner              |              |
| Simon Kern                 |              |
| Tobias Schmeisser          |              |

---

Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter  
Prüfer

---

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner  
Prüfer

---

Prof. Dipl.-Ing. MBA Adolf Reinhart  
Prüfer

---

Lindmoser, Prof. Dipl.-Ing. Peter  
Prüfer

---

Prof. Dipl.-Ing. (FH) Roland Holzer  
Abteilungsmitglied

---

Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Landertshamer  
Direktor

# Inhaltsverzeichnis

|            |                                                                        |          |
|------------|------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>I</b>   | <b>Einführung</b>                                                      | <b>2</b> |
| 1          | Projektteam . . . . .                                                  | 2        |
| 2          | Projektbetreuer . . . . .                                              | 3        |
| 3          | Aufgabeneinteilung . . . . .                                           | 3        |
| <b>II</b>  | <b>Einleitung</b>                                                      | <b>5</b> |
| 1          | Motivation . . . . .                                                   | 5        |
| 2          | Zielsetzung . . . . .                                                  | 5        |
| 3          | Topologie des Gesamtsystems . . . . .                                  | 5        |
| 4          | Leitfaden . . . . .                                                    | 5        |
| <b>III</b> | <b>Stand der Technik</b>                                               | <b>6</b> |
| 1          | Synchronmaschine mit Dauermagneterregung . . . . .                     | 6        |
| 1.1        | Auswertung der Antriebswelle . . . . .                                 | 6        |
| 2          | Curtis Controller . . . . .                                            | 6        |
| 2.1        | Allgemeines . . . . .                                                  | 6        |
| 2.2        | Feldorientierte Regelung . . . . .                                     | 6        |
| 3          | Leonard-Umformer . . . . .                                             | 6        |
| 3.1        | Allgemeines . . . . .                                                  | 6        |
| 3.2        | . . . . .                                                              | 6        |
| 4          | KPI-Regler . . . . .                                                   | 6        |
| 4.1        | Allgemeines . . . . .                                                  | 6        |
| 4.2        | . . . . .                                                              | 6        |
| <b>IV</b>  | <b>Mechanische Umsetzung</b>                                           | <b>7</b> |
| 1          | Section . . . . .                                                      | 7        |
| <b>V</b>   | <b>Human-Computer Interaction System</b>                               | <b>8</b> |
| <b>VI</b>  | <b>Antriebsstrang</b>                                                  | <b>9</b> |
| 1          | Übersicht . . . . .                                                    | 9        |
| 1.1        | Grundfunktionen des Systems . . . . .                                  | 9        |
| 2          | Hardwareaufbau des Antriebssystems . . . . .                           | 10       |
| 2.1        | Mechanische Umsetzung . . . . .                                        | 11       |
| 2.2        | Der Laststromkreis . . . . .                                           | 12       |
| 2.2.1      | Elektrische Energieübertragung . . . . .                               | 13       |
| 2.2.2      | Leitungsschutzorgane . . . . .                                         | 14       |
| 2.3        | Der Steuerstromkreis . . . . .                                         | 15       |
| 2.3.1      | Übersicht Ein- und Ausgänge . . . . .                                  | 15       |
| 2.3.2      | Digitale Eingänge (Digital Inputs) . . . . .                           | 16       |
| 2.3.3      | Analoge Eingänge (Analog Inputs) . . . . .                             | 16       |
| 2.3.4      | Gas- und Bremseneingänge (Throttle and Brake Inputs) . . . . .         | 17       |
| 2.3.5      | Positionsrückmeldung vom Encoder (Position-feedback Input) . . . . .   | 17       |
| 2.3.6      | Prozessorversorgung und Spulenrücklauf (KSI and Coil Return) . . . . . | 18       |
| 2.3.7      | Analoge Ausgänge (Analog Outputs) . . . . .                            | 18       |

|                                 |                                                                                  |           |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.8                           | Digitale und Pulsweitenmodulierbare Ausgänge (Digital and PWM Outputs) . . . . . | 19        |
| 2.3.9                           | Spannungsversorgungs-Ausgänge (Power Supply Outputs) . . . . .                   | 19        |
| 2.3.10                          | Kommunikations-Ports . . . . .                                                   | 20        |
| 3                               | Softwareaufbau des Antriebssystems . . . . .                                     | 21        |
| 3.1                             | Steuerung der Ein- und Ausgänge (I/O Assingment) . . . . .                       | 21        |
| 3.1.1                           | Funktionen . . . . .                                                             | 21        |
| 3.1.2                           | Zuweisung . . . . .                                                              | 21        |
| 3.2                             | Drehmomentsteuerung (Torquecontrol) . . . . .                                    | 22        |
| 3.2.1                           | Parameter . . . . .                                                              | 22        |
| 3.2.2                           | Eco- und Sportmodus (Speed-Mode-Select) . . . . .                                | 24        |
| 3.3                             | Vehicle-Control-Language (VCL) Programmierung . . . . .                          | 25        |
| 3.3.1                           | Grundfunktion . . . . .                                                          | 25        |
| 3.3.2                           | Kommunikation (CAN-Bus) . . . . .                                                | 25        |
| 4                               | Inbetriebnahme . . . . .                                                         | 26        |
| 4.1                             | Leonard-Versuchsaufbau . . . . .                                                 | 26        |
| 4.2                             | Bleiakku-Versuchsaufbau . . . . .                                                | 27        |
| <b>VII Akku und Ladekonzept</b> |                                                                                  | <b>28</b> |
| 1                               | Section . . . . .                                                                | 28        |
| <b>VIII Endergebnis</b>         |                                                                                  | <b>29</b> |
| 1                               | Section . . . . .                                                                | 29        |
| <b>A Arbeitsnachweis</b>        |                                                                                  | <b>30</b> |
| 1                               | Zeitplan . . . . .                                                               | 30        |
| 2                               | Kosten . . . . .                                                                 | 30        |
| <b>B Programmier-Code</b>       |                                                                                  | <b>31</b> |
| <b>C CAD-Zeichnungen</b>        |                                                                                  | <b>32</b> |
| <b>D Schaltpläne</b>            |                                                                                  | <b>33</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>     |                                                                                  | <b>33</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>    |                                                                                  | <b>33</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>      |                                                                                  | <b>34</b> |
| <b>Codeverzeichnis</b>          |                                                                                  | <b>35</b> |

# Kapitel I

## Einführung

### 1 Projektteam



Martin Kronberger



Jakob Lackner



Simon Kern



Schmeisser Tobias



## 2 Projektbetreuer

**Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter**

unterstützte Jakob Lackner bei der Entwicklung des Akku- und Ladesystems

**Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner**

unterstützte Martin Kronberger bei der Entwicklung des Human-Computer Interaction Systems

**Prof. Dipl.-Ing. MBA Adolf Reinhart**

unterstützte Jakob Lackner bei der Entwicklung des Antriebssystems

**Lindmoser, Prof. Dipl.-Ing. Peter**

unterstützte Tobias Schmeisser bei der Entwicklung der mechanischen Komponenten

## 3 Aufgabeneinteilung

**Martin Kronberger**

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Erstellen der Einreichdokumente
- Entwickeln der Hardware des Human-Computer Interaction Systems
- Entwickeln der Software des Human-Computer Interaction Systems
- Planung und Umsetzung der elektrischen Installation
- Verfassen der Dokumentation

**Jakob Lackner**

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung des Antriebssystems
- Entwicklung der Software des Motorsteuergerätes
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

**Simon Kern**

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung des Akkusystems
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

**Tobias Schmeisser**

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung der mechanischen Komponenten
- Entwicklung der Getriebemechanik
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

# Kapitel II

## Einleitung

- 1 Motivation
- 2 Zielsetzung
- 3 Topologie des Gesamtsystems
- 4 Leitfaden

# Kapitel III

## Stand der Technik

### 1 Synchronmaschine mit Dauermagneterregung

#### 1.1 Auswertung der Antriebswelle

### 2 Curtis Controller

#### 2.1 Allgemeines

#### 2.2 Feldorientierte Regelung

### 3 Leonard-Umformer

#### 3.1 Allgemeines

#### 3.2

### 4 KPI-Regler

#### 4.1 Allgemeines

#### 4.2

## Kapitel IV

# Mechanische Umsetzung

### 1 Section

## Kapitel V

# Human-Computer Interaction System

# Kapitel VI

## Antriebsstrang

### 1 Übersicht

Die Hauptaufgabe des Antriebssystems ist die Umwandlung der, von dem Akkumulator zur Verfügung gestellten, elektrischen Energie in die kinetische Antriebsenergie. Diese tritt zuerst kreisförmig am Motor auf und wird zunächst über das Direkt-Getriebe umgeformt bzw. auf die passende Drehzahl gebracht, anschließend wird die kreisförmige kinetische Energie mithilfe des Hinterrades auf die Straße übertragen und das ganze Motorrad beschleunigt. Neben dem Antrieb des Motorrads hat die Motorsteuerung noch weitere Bedeutung als Steuereinheit, diese fungiert als Bindemittel zwischen dem Human-Computer Interacting System und den elektrischen Anforderungen an das Gesamtsystem.

#### 1.1 Grundfunktionen des Systems

Die geplanten Funktionen des Antriebssystems lassen sich grob in zwei Grundfunktionen einteilen:

- **Der Antrieb**

Translation ist eine Grundfunktion eines jeden Verkehrsmittels.

Durch die Umwandlung der elektrischen Energie in kinetische Energie erfährt das gesamte System eine Beschleunigung in Fahrtrichtung.

- **Die Steuereinheit**

Steuerung und Kommunikation mit anderen Betriebsmitteln.

Realisiert durch In- und Outputs, Datenübertragung mithilfe des CAN-Buses.

Um auf die einzelnen Details des Antriebssystems besser eingehen zu können, unterscheiden wir zwischen dem Hardwareaufbau und dem Softwareaufbau des Antriebssystems.

## 2 Hardwareaufbau des Antriebssystems

Der grundsätzliche Hardwareaufbau des Antriebssystems lässt sich in zwei galvanisch getrennte Stromkreise und der mechanischen Umsetzung unterscheiden:

- **Mechanische Umsetzung (Kraftübertragung und Montage)**

Umfasst das Getriebe und die Befestigung aller Komponenten am Rahmen.

- **Der Laststromkreis**

Beinhaltet die Verbindung des Motorcontrollers mit dem Motor und dem Akkumulator.

- **Der Steuerstromkreis**

Beinhaltet alle elektrischen Verbindungen, welche mithilfe des 35-poligen Niederleistungs-Steckers mit dem Motorcontroller verbunden sind.



## 2.1 Mechanische Umsetzung

Die Fertigung des Getriebes und die Montage der einzelnen Betriebsmittel wurde vollständig von Tobias Schmeisser übernommen.

## 2.2 Der Laststromkreis

Der Laststromkreis befasst sich mit allen leistungsführenden Betriebsmitteln des Antriebssystems. Hierbei unterscheiden wir zwischen zwei Grundfunktionen:

- **Elektrische Energieübertragung**

Umfasst die elektrische Verbindung von Motor, Motorcontroller und Akkumulator. Realisiert durch einfache Leitungen, um Leistungen übertragen zu können.

- **Schutz der Komponenten vor Beschädigungen (Leitungsschutzorgane)**

Beinhaltet eine Schmelzsicherung zum Schutz vor Überströmen und ein Hochleistungs-Relais, um im Fehlerfall den Kreis öffnen zu können und damit eine galvanische Trennung des Antriebs und der Energieversorgung gewährleisten zu können.

Abbildung VI.1: Grundaufbau des Laststromkreises

### 2.2.1 Elektrische Energieübertragung

Um die benötigte elektrische Energie übertragen zu können, müssen die Leitungen an den Leistungsverbrauch des Verbrauchers (Motor) angepasst werden. Bei einer zu hohen Stromaufnahme (Überlast) des Motors kann es zu einer übermäßigen Erwärmung der Leitungen bis hin zu dauerhaften Beschädigungen, wie durchschmorren der Isolierung oder sogar einen Leitungsbrand, führen. Um dies verhindern zu können, müssen die Leitungen an die Stromaufnahme des Motors angepasst werden. Das heißt, der zulässige Dauerstrom der Leitungen muss den maximalen Dauerstrom des Motors bzw. den maximalen Dauerstrom, welcher durch den Akkumulator zur Verfügung gestellt werden kann, übersteigen.

#### Berechnung:

In diesem Abschnitt befassen wir uns zunächst mit der Berechnung aller Ströme, die wir zur Auswahl der richtigen Leitungen benötigen. Bei der Auswahl von Leitungen muss man grundsätzlich den Querschnitt und die Länge der Leitung an die benötigte Stromaufnahme des Motors anpassen.

Anzahl der Zellen die parallel Verschalten werden: 40

$$I_{Zmax} = 14 \text{ A}$$

$$I_{max} = 40 \cdot I_{Zmax} = 40 \cdot 14 \text{ A} = 560 \text{ A}$$

#### Auswahl:

text

#### Fazit:

text

### 2.2.2 Leitungsschutzorgane

Die Aufgabe der Leitungsschutzorgane ist es, bei unerwarteten Überströmen oder in einem Fehlerfall den Laststromkreis zu öffnen und damit den Motor bzw. Motorcontroller und den Akkumulator galvanisch zu trennen, um mögliche Beschädigungen an den Komponenten oder an den Leitungen verhindern zu können. Da jedoch ungewünschte Fehlauslösungen zum sofortigen Stillstand des Motorrads führen und eventuell sogar benötigte Wartungen (Wechsel der durchgebrannten Schmelzsicherung) nach sich ziehen, müssen diese Leitungsschutzorgane sehr sorgfältig ausgewählt werden. Eine Überdimensionierung ist ebenso unerwünscht, denn dies hat nicht nur höhere Anschaffungskosten zur Folge. Bei Überdimensionierung der Schmelzsicherung, löst diese zu spät aus und hat damit nur mehr eine sehr geringe bis gar keine Schutzfunktion mehr.

#### **Berechnung:**

In diesem Abschnitt befassen wir uns zunächst mit der Berechnung aller Ströme, die wir zur Auswahl der richtigen Leitungen benötigen. Bei der Auswahl von Leitungen muss man grundsätzlich den Querschnitt und die Länge der Leitung an die benötigte Stromaufnahme des Motors anpassen.

#### **Auswahl:**

text

#### **Fazit:**

text

## 2.3 Der Steuerstromkreis

### 2.3.1 Übersicht Ein- und Ausgänge

Der Steuerstromkreis befasst sich mit allen elektrischen Verbindungen, welche über den 35-poligen Niederleistungs-Stecker mit dem Motorcontroller verbunden sind. Hierbei unterscheiden wir grundsätzlich zwischen drei verschiedenen Ports, welche nochmals unterkategorisiert werden können:

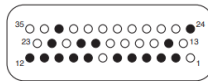
- **Eingänge (Inputs)**
  - Digitale Eingänge (Digital Inputs)
  - Analoge Eingänge (Analog Inputs)
  - Gas- und Bremseneingänge (Throttle and Brake Inputs)
  - Positionsrückmeldung vom Encoder (Position-feedback Input)
  - Prozessorversorgung und Spulenrücklauf (KSI and Coil Return)
- **Ausgänge (Outputs)**
  - Analoge Ausgänge (Analog Outputs)
  - Digitale und Pulsweitenmodulierbare Ausgänge (Digital and PWM Outputs)
  - Spannungsversorgungs-Ausgänge (Power Supply Outputs)
- **Kommunikation (Communication)**
  - CAN-Bus (CAN-Port)
  - Serielle Schnittstelle (Serial-Port)

Der Motorcontroller verfügt über viele Pins, welche über mehrere Funktionen verfügen, es muss jedoch eine dieser Funktionen ausgewählt werden. Pin 6 zum Beispiel wird eigentlich als digitaler und phasenmodulierbarer Ausgang verwendet, bei richtiger Konfiguration kann dieser jedoch auch als digitaler Input verwendet werden. Weiteres kann frei konfiguriert werden, ob man mit diesem Ausgang zum Beispiel das Hochleistungs-Relais oder einen Spannungswandler ansteuern möchte. Um den passenden Pin für eine Anwendung auswählen zu können, muss man jedoch die elektrischen Eigenschaften der Pins genauer unter die Lupe nehmen. Oftmals haben auch die Pins der selben Unterkategorie verschiedene Funktionen, Eingangsimpedanzen oder Toleranzen.

Abbildung VI.2: Grundaufbau des Steuerstromkreises

### 2.3.2 Digitale Eingänge (Digital Inputs)

Es gibt insgesamt 16 Pins, die als digitale Eingänge genutzt werden können, jedoch werden sieben Pins davon eigentlich als Ausgänge konfiguriert.



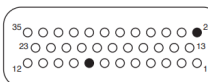
DIGITAL INPUT SPECIFICATIONS

| Name          | Pin | Logic Thresholds                                          | Input impedance*                                                                                                                               | Voltage range†           | ESD Tolerance             |
|---------------|-----|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Switch 1      | 24  | Rising edge=<br>4.4V max<br><br>Falling edge=<br>1.5V min | 24-36V models:<br>7.0 kΩ, 7.2 kΩ<br>36-48V models:<br>10.8 kΩ, 11.2 kΩ<br>48-80V models:<br>25.2 kΩ, 27.3 kΩ<br>72-96V models:<br>n/a, 29.4 kΩ | -10V to<br>(MaxV + 10 V) | ± 8 kV<br>(direct strike) |
| Switch 2      | 8   |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Switch 3      | 9   |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Switch 4      | 10  |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Switch 5      | 11  |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Switch 6      | 12  |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Switch 7      | 22  |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Switch 8      | 33  |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Switch 16     | 14  |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Digital Out 6 | 19  |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Digital Out 7 | 20  |                                                           | 150 kΩ to<br>300 kΩ                                                                                                                            | -5V to<br>(MaxV + 10 V)  |                           |
| Driver 1      | 6   |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Driver 2      | 5   |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Driver 3      | 4   |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Driver 4      | 3   |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |
| Prop Driver   | 2   |                                                           |                                                                                                                                                |                          |                           |

Abbildung VI.3: Digital Input Specifications

### 2.3.3 Analoge Eingänge (Analog Inputs)

Es gibt insgesamt zwei Pins die als analoge Eingänge verwendet werden können. Ein Pin davon wird jedoch im Normalfall für den Motortemperatur-Sensor verwendet. Die Eingänge, die für das Gas- und Bremspotentiometer verwendet werden, sind in dieser Kategorie nicht aufgelistet, obwohl diese ebenfalls als analoge Eingänge genutzt werden. Diese Pins sind jedoch speziell für die Gas- und Bremssteuerung konfiguriert und sollten im Normalfall auch dafür hergenommen werden.



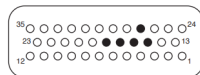
ANALOG INPUT SPECIFICATIONS

| Signal Name | Pin | Operating Voltage         | Input impedance*                                                                                                                                   | Protected Voltage         | ESD Tolerance             |
|-------------|-----|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Analog 1    | 24  | 0 to 10V<br>in 1024 steps | 24-36 V models:<br>6.9 kΩ, 7.1 kΩ<br>36-48 V models:<br>10.5 kΩ, 11.0 kΩ<br>48-80 V models:<br>23.8 kΩ, 28.1 kΩ<br>72-96 V models:<br>n/a, 28.1 kΩ | -10 V to<br>(MaxV + 10 V) | ± 8 kV<br>(direct strike) |
| Analog 2    | 8   |                           |                                                                                                                                                    |                           |                           |

Abbildung VI.4: Analog Input Specifications

### 2.3.4 Gas- und Bremseingänge (Throttle and Brake Inputs)

Die zwei Gas- oder Bremssteuerungs-Eingänge können unabhängig von einander programmiert werden. Sie sind optimiert für die Anwendung mittels Spannungssteuerung, 2-Draht Widerstandssteuerung oder 3-Draht Widerstandssteuerung. Bei der Spannungssteuerung benötigt man die Pins Pot Wiper und I/O Ground, bei der 2-Draht Widerstandssteuerung Pot Wiper und Pot Low und bei der 3-Draht Widerstandssteuerung Pot High, Pot Wiper und Pot Low. In unserem Fall benutzen wir beide Steuerungs-Eingänge für die 3-Draht Widerstandssteuerung, da der Gasdrehgriff über eine Drahtbruchererkennung verfügt. Das heißt, der Gasdrehgriff hat insgesamt zwei unabhängige 3-Draht Potentiometer-Ausgänge, welche beide für den Gaseingang benutzt werden.



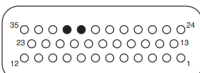
THROTTLE INPUT SPECIFICATIONS

| Signal Name        | Pin | Operating Voltage                           | Input Impedance | S/Sink Current                   | Protected Voltage       | ESD Tolerance          |
|--------------------|-----|---------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Throttle Pot High  | 15  | 0 V (shorted to Pot Low) 5 V (open circuit) | N/A             | 1 mA nominal (source)            | −0.5 V to (MaxV + 10 V) | ± 8 kV (direct strike) |
| Pot2 High          | 27  |                                             |                 |                                  |                         |                        |
| Throttle Pot Wiper | 16  | 0 to 6.25 V                                 | 100 kΩ min      | 0.76 mA nominal (source, 2-wire) | −1 V to (MaxV + 10 V)   |                        |
| Pot2 Wiper         | 17  |                                             |                 |                                  |                         |                        |
| Pot Low            | 18  | 0 to 0.25 V                                 | 20 Ω nom.       | Faults if above 15 mA (sink)     |                         |                        |

Abbildung VI.5: Throttle Input Specifications

### 2.3.5 Positionsrückmeldung vom Encoder (Position-feedback Input)

Diese zwei Pins sind intern dafür konfiguriert, die aktuelle Position der Motorwelle einzulesen, um eine optimale feldorientierte Ansteuerung des Motors durchführen zu können. Dabei gibt es die Möglichkeiten über einen Quadratur-Encoder oder einen Sin/Cos-Encoder. Da in dem Ashwoods-Motor ein Sin/Cos-Sensor verbaut ist, wurde dies vorab bei dem Motorcontroller eingestellt.



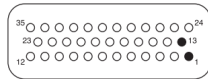
SIN/COS SENSOR INPUT SPECIFICATIONS

| Signal Name         | Pin | Operating Voltage | Input Impedance                                       | Max. Frequency | Protected Voltage     | ESD Tolerance          |
|---------------------|-----|-------------------|-------------------------------------------------------|----------------|-----------------------|------------------------|
| Position Feedback A | 31  | 0 to 5 V          | 150 kΩ for voltages ≤ 5 V<br>75 kΩ for voltages > 5 V | 500 Hz         | -5 V to (MaxV + 10 V) | ± 8 kV (direct strike) |
| Position Feedback B | 32  |                   |                                                       |                |                       |                        |

Abbildung VI.6: Sin/Cos Sensor Input Specifications

### 2.3.6 Prozessorversorgung und Spulenrücklauf (KSI and Coil Return)

Der KSI-Eingang stellt die elektrische Versorgung aller Niederleistungs-Schaltkreise zur Verfügung. Dies beinhaltet ebenfalls die Versorgung aller Ausgänge und die Kondensator-Vorlade-Funktion, welche dazu dient, die Kondensatoren vorzuladen, um hohe Einschaltströme zu verhindern. Der Spulenrücklauf ist speziell für den Rücklauf der pulsweitenmodulierbaren Ausgänge konfiguriert worden, um ein übermäßiges Schaltrauschen zu verhindern.



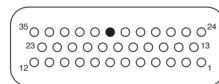
KSI and COIL RETURN INPUT SPECIFICATIONS

| Signal Name | Pin | Operating Voltage                       | Input Current         | Protected Voltage                  | ESD Tolerance                      |
|-------------|-----|-----------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| KSI         | 1   | Between under- and overvoltage cutbacks | 13 A max * continuous | $\pm (\text{MaxV} + 10 \text{ V})$ | $\pm 8 \text{ kV}$ (direct strike) |
| Coil Return | 13  |                                         | 10 A or 12 A max **   | (KSI - 0.3 V) to (MaxV + 10 V)     |                                    |

Abbildung VI.7: KSI and Coil Return Input Specifications

### 2.3.7 Analoge Ausgänge (Analog Outputs)

Der analoge Ausgang kann ein Spannungssignal von 0 bis 10V ausgeben. Dieser Ausgang ist für die Ausgabe über Anzeigeinstrumente, wie zum Beispiel eine Anzeige über den aktuellen Ladestand des Akkumulators, vorgesehen.



ANALOG OUTPUT SPECIFICATIONS

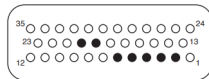
| Signal Name | Pin | Output Voltage | Output Current | Protected Voltage     | ESD Tolerance                      |
|-------------|-----|----------------|----------------|-----------------------|------------------------------------|
| Analog Out  | 30  | 0 to 10 V      | 10 mA          | -1 V to (MaxV + 10 V) | $\pm 8 \text{ kV}$ (direct strike) |

Abbildung VI.8: Analog Output Specifications



### 2.3.8 Digitale und Pulsweitenmodulierbare Ausgänge (Digital and PWM Outputs)

Es gibt insgesamt 7 digitale Ausgänge, wovon jedoch nur 5 für eine Pulsweitenmodulation konfiguriert werden können. Diese Ausgänge sind für induktive Lasten, wie zum Beispiel den Hauptschütz oder eine elektromagnetische Bremse, vorgesehen. Rein ohmsche Lasten können ebenfalls gesteuert werden, jedoch darf der zulässige Spitzenstrom nicht überschritten werden. Der Proportional-Driver kann bei richtiger Konfiguration auch für die Anzeige eines Tachometers hergenommen werden. Diese Gruppe kann ebenfalls als digitaler Eingang benutzt werden.



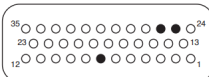
DIGITAL and PWM OUTPUT SPECIFICATIONS

| Name          | Pin | PWM                  | PV Current                   | Frequency        | Output Current | Protected Voltage       | ESD Tolerance          |
|---------------|-----|----------------------|------------------------------|------------------|----------------|-------------------------|------------------------|
| Driver 1      | 6   | 0 to 100% Duty Cycle | N/A                          | 120 to 1000 Hz * | 2A Max         | -0.5 V to (MaxV + 10 V) | ± 8 kV (direct strike) |
| Driver 2      | 5   |                      |                              |                  | 3A Max         |                         |                        |
| Driver 3      | 4   |                      |                              |                  | 2A Max         |                         |                        |
| Driver 4      | 3   |                      |                              |                  |                |                         |                        |
| Prop Driver   | 2   |                      | 0 to 2A in 607 nominal steps | 18 kHz           |                |                         |                        |
| Digital Out 6 | 19  | On / Off             | N/A                          | N/A              | 1A Max         |                         |                        |
| Digital Out 7 | 20  |                      |                              |                  |                |                         |                        |

Abbildung VI.9: Digital and PWM Output Specifications

### 2.3.9 Spannungsversorgungs-Ausgänge (Power Supply Outputs)

Um kleine Schaltkreise, wie zum Beispiel einen LED-Indikator oder die Positionsrückmeldung vom Encoder, mit Spannung versorgen zu können, gibt es zwei dafür vorgesehene Spannungsversorgungs-Ausgänge mit einem Pin für 5V und 12V. Für diese Anwendungen gibt es ebenfalls noch einen Rücklauf, der als I/O Ground definiert wurde.



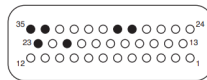
POWER SUPPLY OUTPUT SPECIFICATIONS

| Signal Name | Pin | Output Voltage | Output Current                                                                 | Protected Voltage     | ESD Tolerance          |
|-------------|-----|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| +12 V Out   | 25  | 11.5 to 14.5 V | 100 mA max for +12 Out<br>100 mA max for +5 Out<br>200 mA max (combined total) | -1 V to (MaxV + 10 V) | ± 8 kV (direct strike) |
| +5 V Out    | 26  | 5 V ±10%       |                                                                                |                       |                        |
| I/O Ground  | 7   | n/a            |                                                                                | not protected         |                        |

Abbildung VI.10: Power Supply Output Specifications

### 2.3.10 Kommunikations-Ports

Für die Kommunikation mit anderen Betriebsmitteln stellt uns der Motorcontroller zwei Möglichkeiten zur Verfügung, den CAN-Bus und die serielle Schnittstelle. Da sich unser Projektteam auf die Nutzung des CAN-Buses geeinigt hat, wird die serielle Schnittstelle nicht verwendet. Die zwei Pins CAN Term High und CAN Term Low werden ebenfalls nicht benötigt, denn diese dienen nur dazu, den CAN-Bus vorübergehend funktionsunfähig zu schalten. Programmtechnisch gibt es drei Möglichkeiten vom Motorcontroller zur Konfiguration des CAN-Buses, dies wird jedoch im Punkt Software genauer erklärt.



COMMUNICATIONS PORT SPECIFICATIONS

| Signal Name | Pin | Supported Protocol / Devices                                              | Data Range                           | Protected Voltage                  | ESD Tolerance          |
|-------------|-----|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| CAN H       | 23  | CANopen, other 11-bit or 29-bit identifier protocols                      | up to 1 Mbit/s                       | −0.5 V to (MaxV + 10 V)            | ± 8 kV (direct strike) |
| CAN L       | 35  |                                                                           |                                      |                                    |                        |
| CAN Term H  | 21  |                                                                           |                                      | (no connection to external wiring) |                        |
| CAN Term L  | 34  |                                                                           |                                      |                                    |                        |
| Serial TX   | 28  | Curtis 840 Display, 1313 Handhelp Programmer, 1314 PC Programming Station | as required, 9.6 kbit/s to 56 kbit/s | −0.3 V to 12 V                     |                        |
| Serial RX   | 29  |                                                                           |                                      |                                    |                        |

Abbildung VI.11: Communications Port Specifications

### 3 Softwareaufbau des Antriebssystems

Der Softwareaufbau des Antriebssystems kann grob in 3 Grundfunktionen unterteilt werden:

- **Steuerung der Ein- und Ausgänge (I/O Assignment)**  
Umfasst alle Parameter und die vornehmbaren Konfigurationsmöglichkeiten.
- **Drehmomentsteuerung (Torquecontrol)**  
Beinhaltet alle Parametereinstellungen, welche für die Drehmomentsteuerung ausschlaggebend sind.
- **Vehicle-Control-Language (VCL) Programmierung**  
Umfasst das gesamte Programm, welches mit der Vehicle-Control-Language realisiert wurde. Ein Großteil dieses Programms beschäftigt sich hierbei mit der Kommunikation mit dem Raspberry PI.

#### 3.1 Steuerung der Ein- und Ausgänge (I/O Assingment)

##### 3.1.1 Funktionen

##### 3.1.2 Zuweisung

## 3.2 Drehmomentsteuerung (Torquecontrol)

Die Drehmomentsteuerung wird mithilfe von 12 unterschiedlichen Parametern beschrieben. Generell können diese Parameter eher als Feineinstellungen angesehen werden, da der grundsätzliche Vorgang immer der gleiche bleibt. Mit diesen Parametern werden jedoch die maximale Geschwindigkeit, die Reaktionszeit und die Aggressivität des Motors genau definiert, um das gewünschte Beschleunigungsmuster erhalten zu können.

### 3.2.1 Parameter, Geschwindigkeitsbegrenzer-Parameter (Speed-Limiter)

Anhand dieser Parameter lassen sich zwei Hauptgruppen definieren:

Max Speed  
Kp  
Ki  
Kd

- **Reaktions-Parameter (Response)**

Accel Rate  
Accel Release Rate  
Brake Rate  
Brake Release Rate  
Neutral Braking  
Neutral Taper Speed  
Forward Full Restraint Speed  
Back Full Restraint Speed

| Parameter | Einstellungsbereich | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Max Speed | 500-8000 U/min      | Definiert die maximale Geschwindigkeit in U/min, welche mittels der Drehmomentsteuerung angesteuert werden kann. (Unabhängig von der Gasdrehgriff-Stellung)                                                                                                                                                                                                                                     |
| Kp        | 0 – 100 %           | Legt fest, wie aggressiv der Drehzahlregler versucht, die Motordrehzahl auf die maximale Drehzahl zu begrenzen. Größere Werte sorgen für eine genauere Kontrolle, können jedoch zu Schwankungen führen. Bei einem zu niedrigen Kp kann die maximal Geschwindigkeit den Parameter Max Speed überschreiten.                                                                                       |
| Ki        | 5 – 100 %           | Mit diesem Parameter kann die Integralregelung genauer beschrieben werden, welche die Drehzahlbegrenzung unterschiedlich stark beeinflusst, abhängig von der aktuellen Regelabweichung. Größere Werte ermöglichen eine schnellere Regelung, können jedoch zu Schwankungen führen. Bei zu niedrigen Werten kann es lange dauern, bis sich der Motor bei einer Überdrehzahl dem Max Speed nähert. |
| Kd        | 0 – 100 %           | Beschreibt die Dämpfung, wenn sich das Fahrzeug der Höchstgeschwindigkeit nähert, dadurch werden Überschwingungen verringert. Bei einem zu hohen Kd kann es lange dauern, bis die Höchstgeschwindigkeit erreicht wird. Wenn Kd zu niedrig eingestellt ist, kann die Höchstgeschwindigkeit überschritten werden, insbesondere beim bergab Fahren.                                                |

Tabelle VI.1: Geschwindigkeitsbegrenzer-Parameter

| Parameter                    |  | Einstellungsbereich | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------|--|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Accel Rate                   |  | 0.1 - 30.0 s        | Legt fest, wie lange es dauert, bis das Motordrehmoment bei Vollgas auf das Maximum angestiegen ist. Größere Werte bedeuten eine langsamere Reaktion.                                                                                                                       |
| Accel Release Rate           |  | 0.1 - 2.0 s         | Legt fest, wie schnell die Verzögerung des Fahrzeugs bei einem loslassen des Gasdrehgriffs eingeleitet wird. Bei einem geringen Wert wird der Übergang abrupt eingeleitet. Ist der Wert zu hoch eingestellt, fährt das Fahrzeug für kurze Zeit weiter.                      |
| Brake Rate                   |  | 0.1 - 5.0 s         | Legt fest, wie lange es dauert, bis das Bremsmoment bei einem startenden Bremsvorgang oder einem Fahrtrichtungswechsel aufgebaut wird. Größere Werte bedeuten einen schonenderen Bremsvorgang.                                                                              |
| Brake Release Rate           |  | 0.1 - 2.0 s         | Beschreibt, wie schnell sich das Bremsmoment löst, wenn das Fahrzeug vom Bremsvorgang zum Fahrbetrieb wechselt. Bei zu hohen Werten wird der Bremsvorgang noch kurzzeitig fortgeführt.                                                                                      |
| Neutral Braking              |  | 0 – 100 %           | Der neutrale Bremsvorgang tritt auf, wenn der Gasdrehgriff losgelassen wird oder keine Fahrtrichtung gewählt wurde. Der neutrale Bremsparameter ist von 0 bis 100% des maximalen Rekuperationsstromes einstellbar.                                                          |
| Neutral Taper Speed          |  | 200 - 6000 U/min    | Legt die Motordrehzahl fest, an welcher der neutrale Bremsstrom rückgespeist wird, wenn der Gasdrehgriff losgelassen wird. Bei einem zu geringen Wert kann es zu Schwankungen kommen.                                                                                       |
| Forward Full Restraint Speed |  | 100 – 32000 U/min   | Legt den Geschwindigkeitspunkt fest, an dem der volle Rekuperationsstrom rückgespeist wird, um das Vorwärtsrollen des Fahrzeugs zu verhindern. Kann auch als Parameter für die Rückhaltstärke angesehen werden. Bei einem zu geringen Wert kann es zu Schwankungen kommen.  |
| Back Full Restraint Speed    |  | 100 – 32000 U/min   | Legt den Geschwindigkeitspunkt fest, an dem der volle Rekuperationsstrom rückgespeist wird, um das Rückwärtsrollen des Fahrzeugs zu verhindern. Kann auch als Parameter für die Rückhaltstärke angesehen werden. Bei einem zu geringen Wert kann es zu Schwankungen kommen. |

Tabelle VI.2: Reaktions-Parameter

### 3.2.2 Eco- und Sportmodus (Speed-Mode-Select)

### **3.3 Vehicle-Control-Language (VCL) Programmierung**

#### **3.3.1 Grundfunktion**

#### **3.3.2 Kommunikation (CAN-Bus)**

## 4 Inbetriebnahme

### 4.1 Leonard-Versuchsaufbau

#### Grundidee:

Der Bau des Li-Ionen-Akkumulators hat sich leider sehr verzögert. Um effektiv an der Inbetriebnahme des Antriebssystems weiterarbeiten zu können, musste vorübergehend eine alternative Spannungsversorgung gefunden werden. Da der Motor und die Motorsteuerung jedoch eine bipolare Spannungsquelle benötigen, um ordnungsgemäß in Betrieb genommen werden zu können, erwies sich dies vorerst schwieriger als Gedacht. Die Beschaffung eines bipolaren Netzteils erwies sich als zu Kosten- und Zeitintensiv, weshalb mein Betreuungslehrer Herr Professor Reinhart vorschlug, die bipolare Spannungsquelle mittels einem Leonard-Umformer zu realisieren.

#### Fazit:

Der erste Schritt bei der Inbetriebnahme des Motors ist der Testlauf (Commissionierung) zur Ausmessung und Einstellung der Motorparameter. Bei der Durchführung dieses Testlaufs stoppte die Motorsteuerung jedoch immer wieder nach kurzer Zeit. Auch viele weitere Versuche bei geänderten Testparametern oder zusätzlichen parallelgeschalteten Kondensatoren brachten keine weiteren Erkenntnisse. Aufgrund des schwankenden Spannungspegels während den gescheiterten Test-Durchläufen nahmen wir genauere Messungen mittels einem Oszilloskop vor, um mögliche Fehlerursachen herausfinden zu können. Bei der Untersuchung des Gleichspannungs-Eingangs konnten wir feststellen, dass in einem Zeitbereich von circa 20ms eine unerwartet hohe Unterhöhung und Überhöhung der Spannung auftrat, welche einer Schwingung ähnelte. Aufgrund dessen konnten wir rückschließen, dass unsere Leonard-Spannungsquelle zu träge für die Motorsteuerung ist. Außerdem entstand aus den hohen Induktivitäten des Motors und den langen Leitungen kombiniert mit den großen Kondensatoren der Motorsteuerung eine Art Schwingkreis, welcher den Trägheitseffekt zusätzlich verstärkte.

Abbildung VI.12: Leonardumformer Versuchsaufbau

Abbildung VI.13: Leonardumformer Spannungsüberschwingung



## 4.2 Bleiakku-Versuchsaufbau

### Grundidee:

Der Leonard-Versuchsaufbau hat aufgrund der Trägheit der Spannungsquelle nicht funktioniert. Übrig blieb deshalb nur die Realisierung der Spannungsquelle mithilfe eines Ersatz-Akkumulators. Zufälligerweise konnten wir im Projektraum vier Bleiakкумуляtoren ausfindig machen, welche wir nun seriell zu einer 48V-Spannungsquelle verschalten wollten. Die Bleiakkus waren zwar teils angeschlagen bzw. sehr tief entladen, mittels einem intelligenten Ladegerät konnten aber 3 von 4 Akkus wieder erfolgreich aufgeladen werden. Mit einer von mir Zuhause mitgebrachten Autobatterie und zusätzlichen Starterkabeln konnten letztendlich aber die 48V-Spannungsquelle realisiert werden.

### Fazit:

Der Aufbau mit den Bleiakкумуляtoren hat vorübergehend ganz gut funktioniert. Ein Problem stellten vorerst aber die großen Einschaltströme dar, welche bei der Schließung des Stromkreises zu Lichtbögen führten. Um Beschädigungen an den Kondensatoren zu verhindern, konnte dieses Problem jedoch mithilfe von einem Vorladen der Kondensatoren mithilfe eines 48V Netzgerätes behoben werden.

### Erste Inbetriebnahme:

Der Teslauf zur Einstellung der Motorparameter hat mithilfe der Bleiakкумуляtoren beim ersten Versuch erfolgreich funktioniert. Der Motor konnte nach weiteren Konfigurationen letztendlich auch eine bestimmte Drehzahl abhängig von einem Spannungssignal anfahren.

Abbildung VI.14: Bleiakku

# Kapitel VII

# Akku und Ladekonzept

## 1 Section

# Kapitel VIII

## Endergebnis

### 1 Section

## Anhang A

# Arbeitsnachweis

1 Zeitplan

2 Kosten

## Anhang B

# Programmier-Code

# Anhang C

## CAD-Zeichnungen

## Anhang D

# Schaltpläne

# Abbildungsverzeichnis

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| VI.1 Grundaufbau des Laststromkreises . . . . .         | 12 |
| VI.2 Grundaufbau des Steuerstromkreises . . . . .       | 15 |
| VI.3 Digital Input Specifications . . . . .             | 16 |
| VI.4 Analog Input Specifications . . . . .              | 16 |
| VI.5 Throttle Input Specifications . . . . .            | 17 |
| VI.6 Sin/Cos Sensor Input Specifications . . . . .      | 17 |
| VI.7 KSI and Coil Return Input Specifications . . . . . | 18 |
| VI.8 Analog Output Specifications . . . . .             | 18 |
| VI.9 Digital and PWM Output Specifications . . . . .    | 19 |
| VI.10 Power Supply Output Specifications . . . . .      | 19 |
| VI.11 Communications Port Specifications . . . . .      | 20 |
| VI.12 Leonardumformer Versuchsaufbau . . . . .          | 26 |
| VI.13 Leonardumformer Spannungsüberschwingung . . . . . | 26 |
| VI.14 Bleiakku . . . . .                                | 27 |



# Tabellenverzeichnis

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| VI.1 Geschwindigkeitsbegrenzer-Parameter . . . . . | 23 |
| VI.2 Reaktions-Parameter . . . . .                 | 24 |

# Listings