

# Bachelor Thesis

## **L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X** -Semester thesis Gian

**Autumn Term 2022**



# Declaration of Originality

I hereby declare that the written work I have submitted entitled

**Your Project Title**

is original work which I alone have authored and which is written in my own words.<sup>1</sup>

**Author(s)**

First name

Last name

**Student supervisor(s)**

First name

Last name

**Committee members(s)**

First name

Last name

**Supervising lecturer**

Marco

Hutter

With the signature I declare that I have been informed regarding normal academic citation rules and that I have read and understood the information on ‘Citation etiquette’ (<https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/main/education/rechtliches-abschluesse/leistungskontrollen/plagiarism-citationetiquette.pdf>). The citation conventions usual to the discipline in question here have been respected.

The above written work may be tested electronically for plagiarism.

---

Place and date

---

Signature

---

<sup>1</sup>Co-authored work: The signatures of all authors are required. Each signature attests to the originality of the entire piece of written work in its final form.

# Intellectual Property Agreement

The student acted under the supervision of Prof. Hutter and contributed to research of his group. Research results of students outside the scope of an employment contract with ETH Zurich belong to the students themselves. The results of the student within the present thesis shall be exploited by ETH Zurich, possibly together with results of other contributors in the same field. To facilitate and to enable a common exploitation of all combined research results, the student hereby assigns his rights to the research results to ETH Zurich. In exchange, the student shall be treated like an employee of ETH Zurich with respect to any income generated due to the research results.

This agreement regulates the rights to the created research results.

## 1. Intellectual Property Rights

1. The student assigns his/her rights to the research results, including inventions and works protected by copyright, but not including his moral rights (Urheberpersönlichkeitsrechte), to ETH Zurich. Herewith, he cedes, in particular, all rights for commercial exploitations of research results to ETH Zurich. He is doing this voluntarily and with full awareness, in order to facilitate the commercial exploitation of the created Research Results. The student's moral rights (Urheberpersönlichkeitsrechte) shall not be affected by this assignment.
2. In exchange, the student will be compensated by ETH Zurich in the case of income through the commercial exploitation of research results. Compensation will be made as if the student was an employee of ETH Zurich and according to the guidelines Richtlinien für die wirtschaftliche Verwertung von Forschungsergebnissen der ETH Zürich.
3. The student agrees to keep all research results confidential. This obligation to confidentiality shall persist until he or she is informed by ETH Zurich that the intellectual property rights to the research results have been protected through patent applications or other adequate measures or that no protection is sought, but not longer than 12 months after the collaborator has signed this agreement.
4. If a patent application is filed for an invention based on the research results, the student will duly provide all necessary signatures. He/she also agrees to be available whenever his aid is necessary in the course of the patent application process, e.g. to respond to questions of patent examiners or the like.

## 2. Settlement of Disagreements

Should disagreements arise out between the parties, the parties will make an effort to settle them between them in good faith. In case of failure of these agreements, Swiss Law shall be applied and the Courts of Zurich shall have exclusive jurisdiction.

---

Place and date

---

Signature

# Contents

<b>Preface</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Symbols</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 Einige wichtige Hinweise zum Arbeiten mit <math>\text{\LaTeX}</math></b>	<b>3</b>
2.1 Gliederungen . . . . .	3
2.2 Referenzen und Verweise . . . . .	3
2.3 Aufzählungen . . . . .	3
2.4 Erstellen einer Tabelle . . . . .	4
2.5 Einbinden einer Grafik . . . . .	5
2.6 Mathematische Formeln . . . . .	5
2.7 Weitere nützliche Befehle . . . . .	6
<b>Bibliography</b>	<b>7</b>
<b>A Irgendwas</b>	<b>7</b>
<b>B Datasheets</b>	<b>9</b>



# Preface

Bla bla ...





# Abstract

Hier kommt der Abstact hin ...



# Symbols

## Symbols

$\phi, \theta, \psi$	roll, pitch and yaw angle
$b$	gyroscope bias
$\Omega_m$	3-axis gyroscope measurement

## Indices

$x$	x axis
$y$	y axis

## Acronyms and Abbreviations

ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
EKF	Extended Kalman Filter
IMU	Inertial Measurement Unit
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UKF	Unscented Kalman Filter



# Chapter 1

## Introduction

Hier kommt die Einleitung



## Chapter 2

# Einige wichtige Hinweise zum Arbeiten mit L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Nachfolgend wird die Codierung einiger oft verwendeten Elemente kurz beschrieben. Das Einbinden von Bildern ist in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X nicht ganz unproblematisch und hängt auch stark vom verwendeten Compiler ab. Typisches Format für Bilder in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X ist EPS<sup>1</sup> oder PDF<sup>2</sup>.

## 2.1 Gliederungen

Ein Text kann mit den Befehlen `\chapter{.}`, `\section{.}`, `\subsection{.}` und `\subsubsection{.}` gegliedert werden.

## 2.2 Referenzen und Verweise

Literaturreferenzen werden mit dem Befehl `\citep{.}` und `\citet{.}` erzeugt. Beispiele: ein Buch [? ], ein Buch und ein Journal Paper [? ? ], ein Konferenz Paper mit Erwähnung des Autors: ? ].

Zur Erzeugung von Fussnoten wird der Befehl `\footnote{.}` verwendet. Auch hier ein Beispiel<sup>3</sup>.

Querverweise im Text werden mit `\label{.}` verankert und mit `\cref{.}` erzeugt. Beispiel einer Referenz auf das zweite Kapitel: chapter 2.

## 2.3 Aufzählungen

Folgendes Beispiel einer Aufzählung ohne Numerierung,

- Punkt 1
- Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{itemize}
  \item Punkt 1
  \item Punkt 2
\end{itemize}
```

---

<sup>1</sup>Encapsulated Postscript

<sup>2</sup>Portable Document Format

<sup>3</sup>Bla bla.

Folgendes Beispiel einer Aufzählung mit Numerierung,

1. Punkt 1
2. Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{enumerate}
  \item Punkt 1
  \item Punkt 2
\end{enumerate}
```

Folgendes Beispiel einer Auflistung,

- P1** Punkt 1
- P2** Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{description}
  \item[P1] Punkt 1
  \item[P2] Punkt 2
\end{description}
```

## 2.4 Erstellen einer Tabelle

Ein Beispiel einer Tabelle:

Table 2.1: Daten der Fahrzyklen ECE, EUDC, NEFZ.

Kennzahl	Einheit	ECE	EUDC	NEFZ
Dauer	s	780	400	1180
Distanz	km	4.052	6.955	11.007
Durchschnittsgeschwindigkeit	km/h	18.7	62.6	33.6
Leerlaufanteil	%	36	10	27

Die Tabelle wurde erzeugt mit:

```
\begin{table}[h]
\begin{center}
\caption{Daten der Fahrzyklen ECE, EUDC, NEFZ.}\vspace{1ex}
\label{tab:tabnefz}
\begin{tabular}{ll|ccc}
\hline
Kennzahl & Einheit & ECE & EUDC & NEFZ \\ \hline
Dauer & s & 780 & 400 & 1180 \\
Distanz & km & 4.052 & 6.955 & 11.007 \\
Durchschnittsgeschwindigkeit & km/h & 18.7 & 62.6 & 33.6 \\
Leerlaufanteil & \% & 36 & 10 & 27 \\
\hline
\end{tabular}
\end{center}
\end{table}
```



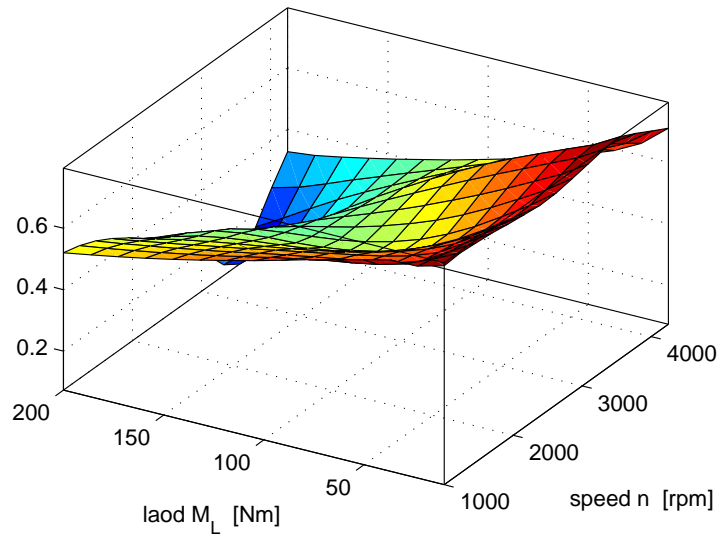


Figure 2.1: Ein Bild

## 2.5 Einbinden einer Grafik

Das Einbinden von Graphiken kann wie folgt bewerkstelligt werden:

```
\begin{figure}
  \centering
  \includegraphics[width=0.75\textwidth]{images/k_surf.pdf}
  \caption{Ein Bild.}
  \label{fig:k_surf}
\end{figure}
```

oder bei zwei Bildern nebeneinander mit:

```
\begin{figure}
  \begin{minipage}[t]{0.48\textwidth}
    \includegraphics[width = \textwidth]{images/cycle_we.pdf}
  \end{minipage}
  \hfill
  \begin{minipage}[t]{0.48\textwidth}
    \includegraphics[width = \textwidth]{images/cycle_ml.pdf}
  \end{minipage}
  \caption{Zwei Bilder nebeneinander.}
  \label{pics:cycle}
\end{figure}
```

## 2.6 Mathematische Formeln

Einfache mathematische Formeln werden mit der equation-Umgebung erzeugt:

$$p_{me0f}(T_e, \omega_e) = k_1(T_e) \cdot (k_2 + k_3 S^2 \omega_e^2) \cdot \Pi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{k_4}{B}}. \quad (2.1)$$

Der Code dazu lautet:

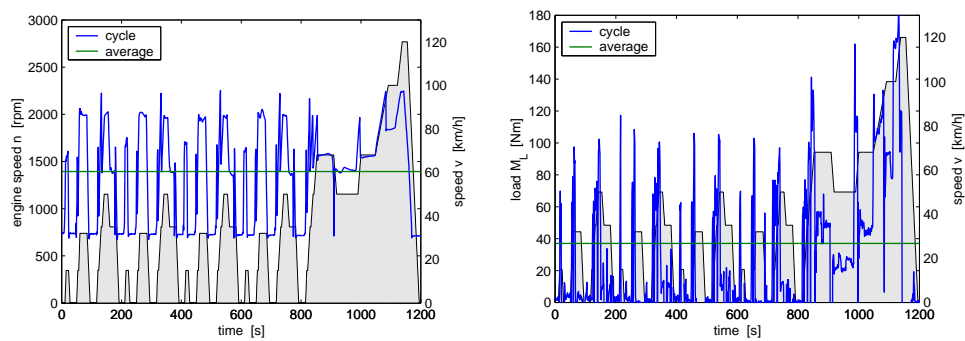


Figure 2.2: Zwei Bilder nebeneinander

```
\begin{equation}
p_{me0f}(T_e, \omega_e) \setminus = \setminus k_1(T_e) \setminus \cdot (k_2 + k_3 S^2
\omega_e^2) \setminus \cdot \Pi_{max} \setminus \cdot \sqrt{\frac{k_4}{B}} \setminus , .
\end{equation}
```

Mathematische Ausdrücke im Text werden mit `$formel$` erzeugt (z.B.:  $a^2 + b^2 = c^2$ ). Vektoren und Matrizen werden mit den Befehlen `\vec{.}` und `\mat{.}` erzeugt (z.B.  $\mathbf{v}$ ,  $\mathbf{M}$ ).

## 2.7 Weitere nützliche Befehle

Hervorhebungen im Text sehen so aus: *hervorgehoben*. Erzeugt werden sie mit dem `\epmh{.}` Befehl.

Einheiten werden mit den Befehlen `\unit[1]{m}` (z.B. 1 m) und `\unitfrac[1]{m}{s}` (z.B. 1 m/s) gesetzt.

# Appendix A

## Irgendwas

Bla bla ...



# Appendix B

## Datasheets

## maxon EC-max



## Part Numbers

## Comments

**Cont**

In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.  
= Thermal limit.

**Short term operation**  
The motor may be briefly overloaded (recurring).

**Assigned power rating**

Overview on page 20 - 25

**maxon Modular System** Overview on page 20 - 25

**Planetary Gearhead**  
 Ø32 mm  
 8.0 Nm  
 Page 266

**Koaldrive**  
 Ø32 mm  
 1.0 - 4.5 Nm  
 Page 268

**Planetary Gearhead**  
 Ø42 mm  
 3 - 15 Nm  
 Page 271

**Encoder MR**  
 500/1000 CPT,  
 3 channels  
 Page 302

**Encoder HEDL 5540**  
 500 CPT,  
 3 channels  
 Page 308

**Brake AB 20**  
 24 VDC  
 0.1 Nm  
 Page 346

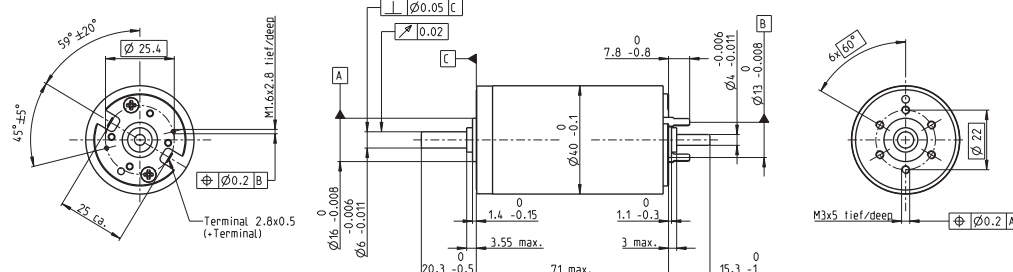
**Recommended Electronics:**  
 ESCON 36/3 EC Page 320  
 ESCON 50/5, Module 50/5 321  
 ESCON 70/10 321  
 DECS 50/5 324  
 DEC Module 24/2 325  
 DEC Module 50/5 325  
 EPOS2 24/5, 50/5 331  
 EPOS2 P 24/5 334  
 EPOS3 70/10 EtherCAT 337

**Notes** 24

# RE 40 Ø40 mm, Precious Metal Brushes, 25 Watt

NEW

maxon DC motor



M 1:2

■ Stock program  
 □ Standard program  
 ▨ Special program (on request)

## Part Numbers

Motor Data		448588	448589	448590	448591	448592
<b>Values at nominal voltage</b>						
1 Nominal voltage	V	9	18	24	42	48
2 No load speed	rpm	2850	2850	2780	2920	2690
3 No load current	mA	49.7	24.8	18.1	11	8.62
4 Nominal speed	rpm	2610	2600	2480	2640	2410
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	87.8	87.8	88.2	87.6	87.6
6 Nominal current (max. continuous current)	A	2.96	1.48	1.09	0.65	0.524
7 Stall torque	mNm	873	956	794	895	818
8 Starting current	A	29	15.9	9.66	6.53	4.81
9 Max. efficiency	%	92	92	92	92	92
<b>Characteristics</b>						
10 Terminal resistance	Ω	0.311	1.14	2.49	6.43	9.97
11 Terminal inductance	mH	0.0624	0.33	0.613	1.7	2.62
12 Torque constant	mNm/A	30.2	60.3	82.2	137	170
13 Speed constant	rpm/V	317	158	116	69.7	56.2
14 Speed / torque gradient	rpm/mNm	3.27	2.98	3.51	3.27	3.3
15 Mechanical time constant	ms	4.85	4.29	4.36	4.14	4.13
16 Rotor inertia	gcm <sup>2</sup>	142	137	119	121	120

## Specifications

<b>Thermal data</b>	
17 Thermal resistance housing-ambient	4.65 K/W
18 Thermal resistance winding-housing	1.93 K/W
19 Thermal time constant winding	41.5 s
20 Thermal time constant motor	809 s
21 Ambient temperature	-20...+85°C
22 Max. permissible winding temperature	+100°C

<b>Mechanical data (ball bearings)</b>	
23 Max. permissible speed	3330 rpm
24 Axial play	0.05 - 0.15 mm
25 Radial play	0.025 mm
26 Max. axial load (dynamic)	5.6 N
27 Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	110 N
28 Max. radial loading, 5 mm from flange	1200 N
	28 N

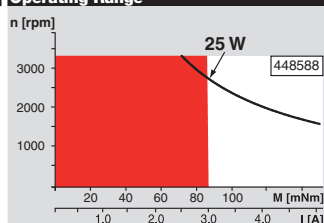
<b>Other specifications</b>	
29 Number of pole pairs	1
30 Number of commutator segments	13
31 Weight of motor	480 g

Values listed in the table are nominal.  
Explanation of the figures on page 71.

### Option

Preloaded ball bearings

## Operating Range



## Comments

- Continuous operation**  
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.  
= Thermal limit.
- Short term operation**  
The motor may be briefly overloaded (recurring).
- Assigned power rating**

## maxon Modular System

Overview on page 20 - 25

