

Diplomarbeit

Elektromotoren im Unterricht

Verständnis und arbeiten mit Gleichstrommotoren

erstellt von

Leonhard Erharder
(Matteo Juen)



HTBLuVA
Innsbruck Anichstrasse

Betreuer:
Philipp Wischounig

2020/21

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die wörtlich oder inhaltlich den angegebenen Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Diplomarbeit eingereicht.

Innsbruck, am xx.xx.2021

Verfasser:

Leonhard Erharder

Projektteam

Leonhard Erharder

Adresse

PLZ Ort

Tel: -

E-Mail: leerharder@tsn.at

Betreuer

Philipp Wischounig

Adresse

PLZ Ort

Tel: -

E-Mail: phil-
ipp.wischounig@htlinn.ac.at

Danksagung

Ich danke meinem Betreuer, Herrn *Philipp Wischounig* für die, Angesichts der widrigen Umstände, herrausragende Betreuung der Arbeit.

Weiters danke ich Herrn *Lukas Fenz* für Seine Expertise im Gebiet der Elektronik, sowie den Herren *Joshua Winkler* und *Nicolaus B. Rossi* für Ihre Hilfsbereitschaft bei der Verschriftlichung der Arbeit.

Zuletzt danke ich meiner Familie für die mentale Unterstützung, sowie der Bereitstellung von für die Durchführung nötigen Werkzeugen.

Gendererklärung

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

Abstract

Insert English abstract here

...

Zusammenfassung

Zusammenfassung einfügen

Inhaltsverzeichnis

I. Intro	11
1. Hintergrund	12
1.1. Allgemein	12
1.2. Ziel der Arbeit	12
2. Situation	13
2.1. Allgemein	13
2.2. Einfluss von COVID	13
2.3. Projektteam	13
3. Verlauf der Arbeit	14
 II. Theoretische Grundlagen	 15
4. Elektromotoren	16
4.1. Gleichstrommaschinen	16
4.1.1. Permanentterregte Gleichstrommaschine	16
4.1.2. Fremderregte Gleichstrommaschine	16
4.1.3. Reihenschluss Gleichstrommaschine	16
4.1.4. Nebenschluss Gleichstrommaschine	16
4.2. Drehstrommaschinen	16
4.2.1. Asynchronmaschine	16
4.2.2. Synchronmaschine	16
 III. Arbeitsmittel	 17
5. Allgemein	18
6. Arbeitsbereich	19
6.1. Anforderungen an den Arbeitsbereich	19
6.2. Design	21
6.3. Auswahl der Komponenten	21
6.3.1. Labor Spannungsversorgung	21
6.3.2. Lötkolben	21
6.3.3. Beleuchtung	21
6.4. Endprodukt	22
7. Werkstätte	23
7.1. Allgemein	23

Inhaltsverzeichnis

7.2. Verwendete Maschinen	23
8. Bauteile	24
8.1. Allgemein	24
8.1.1. Benötigte Bauteile	24
8.1.2. Auswahl der Bauteile	24
9. Software	25
9.0.1. Allgemein	25
9.0.2. Verwendete Software	25
IV. Vorzeigemodell	26
10. Gleichstrommaschine	27
10.1. Anleitung	27
10.2. Demonstrations-Vorschläge	27
V. Versuchsaufbau	28
11. Allgemein	29
12. Anforderungen	30
12.0.1. Allgemein	30
12.0.2. Drehzahlmessung	30
12.0.3. Drehmomentmessung	30
12.0.4. Bremsen des Motors	30
13. Versionen	31
13.0.1. Allgemein	31
13.0.2. Provisorischer Aufbau	31
13.0.3. Laborfertiger Aufbau	31
14. Finalisierung	32
14.0.1. Allgemein	32
14.0.2. Gegenkupplung	32
14.0.3. Drehzahlmessung	32
VI. Laboruebung	33
15. Allgemein	34
16. Anforderungen	35
17. Laborübung	36
18. Musterlösung	44

Inhaltsverzeichnis

VII. Rückblick	45
19. Allgemein	46
20. Aufgabenteilung	47
21. Kommunikation	48
VIII Appendix	49
Zeitaufwand	50
Literaturverzeichnis	51
Abbildungsverzeichnis	52
Code-Snippet-Verzeichnis	53

Teil I.

Intro

1. Hintergrund

1.1. Allgemein

Unterrichtsmittel zum Thema Elektromotoren, wenn auch vorhanden, sind oftmals nicht in erforderlicher Diversität vorhanden. Weiters sind diese, falls vorhanden, teils nicht in nötigem Maße dokumentiert und verstauben aufgrund dessen in ihren Regalen. Besonders das komplexe und umfangreiche Thema der Elektromotoren bereitet Schülern meist Probleme. Hier kann ein konkretes Modell zur Visualisierung der Funktionsweise helfen, um Verständnis zu erlangen.

1.2. Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es also, die Diversität in welcher diese Modelle zur Verfügung stehen zu erhöhen, sowie bereits vorhandene Modelle ausführlicher zu dokumentieren, um jene für den unterrichtenden Pädagogen attraktiver zu machen. Dies zielt auf die Wirkung ab, den Lernprozess der Schüler effektiver zu gestalten und ein tiefergehendes Verständnis des Themas zu erreichen.

2. Situation

2.1. Allgemein

Die Situation in welcher diese Arbeit durchgeführt wurde, erforderte ein hohes Maß an Flexibilität. Diverse Umgebungsfaktoren beeinflussten die Art der Durchführung, sowie die Struktur und den zeitlichen Verlauf der Arbeit massiv.

2.2. Einfluss von COVID

Als einer der größten Einflüsse, wenn nicht als größter Einfluss, auf den allgemeinen Populus in den Jahren 2020 und 2021 spielte COVID-19, auch als Coronavirus oder SARS-CoV-2 bekannt, eine massive Rolle in der Umgebungssituation dieser Arbeit. Besonders aufgrund der teils sehr physischen Natur der Arbeit, war dies einer der treibenden Faktoren welche die Form und den Verlauf der Arbeit beeinflusste.

Unter anderem entstand die Nötigkeit der Schaffung eines persönlichen Arbeitsbereiches, wie unter dem Punkt *Arbeitsbereich* in Teil 3 detaillierter ausgeführt.

COVID-19 hatte jedoch einen vernachlässigbaren Einfluss auf den zeitlichen Verlauf der Arbeits. Es erhöhte sich beinahe ausschließlich der mit dem Projekt verbundene Arbeitsaufwand.

Dies ist jedoch nur der Fall, da in persönlichem Umfeld beinahe alle, für die Durchführung benötigten Ressourcen vorhanden waren. Näheres zu diesem Punkt unter dem Punkt *Werkstätte* in Teil 3.

2.3. Projektteam

Der für den zeitlichen Verlauf der Arbeit kritischere Punkt entstand durch das Projektteam. Wie unter dem Punkt *Projektteam* bereits erkenntlich, wurde diese Arbeit in Einzelarbeit durchgeführt, abgeschlossen und verschriftlicht.

Anfänglich war die Durchführung jedoch als Zweiergruppe geplant. Aufgrund gesundheitlicher Probleme des Partners änderte sich dies unerwartet.

Folglich musste um ein sinnvolles Ergebnis zu erreichen die Struktur und Aufgabenteilung der Arbeit verändert werden. Auch der ursprünglich geplante Zeitplan war nicht mehr verwertbar.

Näheres zur möglichen Vermeidung dieser Situation findet sich in Teil 7 *Rückblick*.

3. Verlauf der Arbeit

Die Arbeit verlief, bis auf den Verlust des Projektpartners, zwischenfallslos.
Es konnte im Zuge dieser eine sinnvolle Endlösung produziert werden.

Teil II.

Theoretische Grundlagen

4. Elektromotoren

Elektromotoren sind heutzutage in beinahe allen Bereichen des Lebens aufzufinden. Ihre größten Unterschiede zu konventionellen Verbrennungsmotoren sind:

- höherer Wirkungsgrad
- meistens geringere Wartungs- sowie Produktionskosten
- leiser als Verbrennungsmotoren

In den folgenden individuellen Betrachtungen der gängigsten Arten werden diese als "Maschinen" bezeichnet. Der Hintergrund hierfür ist, dass diese entweder mit geringfügigen oder ganz ohne Veränderungen als Generatoren betrieben werden können.

Da die Funktion als Generator im Zuge dieser Arbeit nicht von Bedeutung ist, wird nachfolgend nur die Funktion als Motor eingehend erläutert.

4.1. Gleichstrommaschinen

4.1.1. Permanenterregte Gleichstrommaschine

4.1.2. Fremderregte Gleichstrommaschine

4.1.3. Reihenschluss Gleichstrommaschine

4.1.4. Nebenschluss Gleichstrommaschine

4.2. Drehstrommaschinen

4.2.1. Asynchronmaschine

4.2.2. Synchronmaschine

Teil III.

Arbeitsmittel

5. Allgemein

6. Arbeitsbereich

Wie unter Punkt *Situation* bereits erwähnt wurde für die Durchführung ein Arbeitsbereich geschaffen. Die Entscheidung hierfür basierte auf der Einschätzung, dass die Gestaltung eines lokalen Arbeitsbereiches zeiteffizienter als der Weg in die Lehranstalt sei, da dieser durch Entfall von Präsenzunterricht nicht allfällig war.

Als Standort für diesen Arbeitsbereich boten sich zwei Möglichkeiten besonders an.

- Eine gemeinschaftlich genutzte Werkstätte ca. zwei Kilometer vom Wohnort entfernt
- Eine Erweiterung des Arbeitsbereiches, welcher bereits in das eigene Zimmer integriert war.

Schlussendlich fiel die Entscheidung auf die zweite Option, vor allem aufgrund der Renovierung, welche die erste Möglichkeit, frühestens zwei Wochen nach dem Treffen dieser Entscheidung, zu einer validen Option gemacht hätte.

Die für die Gestaltung anfallenden Kosten konnten gering gehalten werden, sowie dadurch gerechtfertigt, dass dieser Arbeitsbereich auch nach Abschluss der Arbeit noch Nutzung erfahren wird.

Insgesamt beliefen sich die Kosten für die Einrichtung des Bereiches auf etwa **300€**.

6.1. Anforderungen an den Arbeitsbereich

Um für die Arbeit nutzbar zu sein, musste der Arbeitsbereich diverse Anforderungen erfüllen, sowie bestimmte Werkzeuge vorhanden sein. Die Anforderungen wurden teils auch von den nötigen Arbeitsmitteln bestimmt.

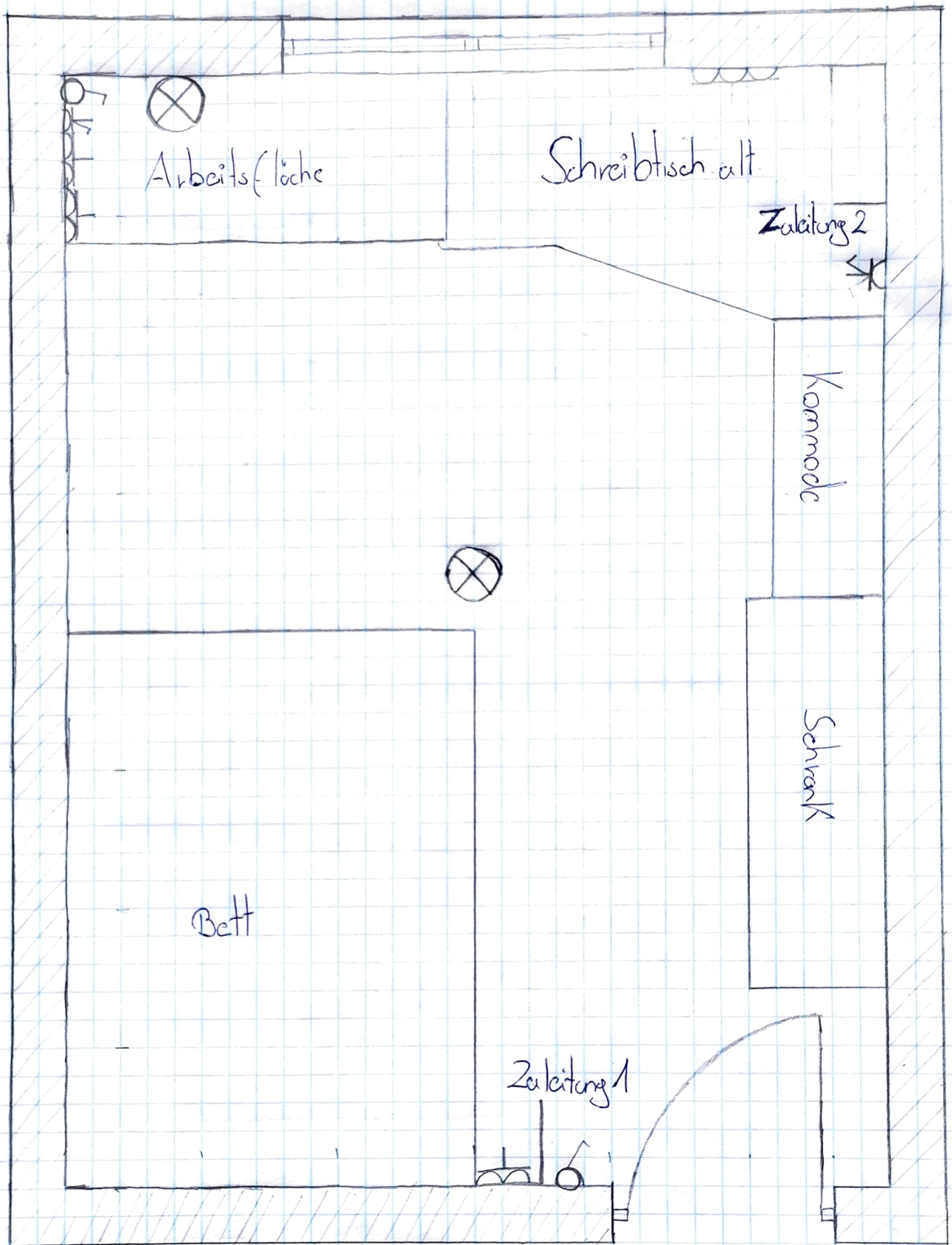
Arbeitsmittel/Werkzeuge:

- Lötkolben inkl. Zubehör
- Labor-Spannungsversorgung inkl. Bananenstecker
- Messschieber
- Arduino und Kit
- sowie grundlegende Werkzeuge wie Zangen, Schraubenzieher, Schraubstock usw.

Anforderungen:

- Feuerfeste Unterlage
- Beleuchtung des Arbeitsbereiches
- Steckdosen

Design Arbeitsbereich



6.2. Design

Als wichtigste Grundlage für einen funktionellen Arbeitsbereich wurde eine Verbindung zum Stromnetz angesehen. Hierfür wurde der vorhergehende Installationsplan gezeichnet (siehe vorherige Seite).

Die Einrichtung des Stromnetzes war auch eine der herausforderndsten Aufgaben, da ursprünglich nur Zuleitung 1 existierte und aus ästhetischen Gründen von einer Verlegung auf Putz abzusehen war. Die Lösung hierzu war ein Durchbruch aus dem Nebenzimmer, da in diesem eine Steckdose gegenüberliegend von Zuleitung 2 im Installationsplan vorhanden war.

Die weitere Verlegung erfolgte auf Putz, allerdings unterhalb der beiden Tischplatten.

Für den Lötkolben wurde eine schaltbare Steckdose installiert, sowie ein Lichtschalter für die Beleuchtung des Arbeitsplatzes.

6.3. Auswahl der Komponenten

Da beinahe keine Komponenten zugekauft werden mussten, und bei einigen Zukaufteilen keine Auswahl möglich war, musste nur bei drei Komponenten eine Entscheidung getroffen werden. Allgemein spielten bei Wahl der Komponenten Preis und Lieferdatum die größte Rolle. Dies rührt daher, dass beinahe in allen Fällen Modifikationen geplant waren, um eine bessere Integration in den Arbeitsbereich zu erreichen.

6.3.1. Labor Spannungsversorgung

Hier wurde das billigste Modell gewählt, welches alle Vorraussetzungen in ausreichendem Rahmen erfüllte. Es handelt sich um eine Spannungsversorgung mit einem Funktionsbereich bis etwa 300 Watt (30 Volt und 10 Ampere), was für die vorliegenden Experimente als ausreichend erachtet wurde.

6.3.2. Lötkolben

Hier waren eine austauschbare Spitze, sowie einstellbare Temperatur die gewünschten Eigenschaften. Die Entscheidung fiel auf ein Modell mit verstellbarer Temperatur zwischen 180 und 300 °C sowie zugehörigen Ersatzspitzen.

6.3.3. Beleuchtung

Bei Wahl der Beleuchtung spielte vor allem die Beweglichkeit des Leuchtkopfes eine Rolle. Weiters musste diese geeignet sein um mit 230 Volt betrieben zu werden, da anstatt eines Steckers eine direkte geschaltene Verbindung zum Stromnetz geplant war.

6.4. Endprodukt

Das Endprodukt erreicht die Voraussetzungen in allen gewünschten Punkten.

7. Werkstätte

7.1. Allgemein

Zur Realisierung aller Versionen des Versuchsaufbaues waren diverse Werkzeuge nötig. Diese nur für die Dauer des Projektes zu beschaffen ist finanziell nicht vertretbar.

Somit ist also die Nutzung einer Werkstätte nötig um die Arbeit durchzuführen.

Dies war kein Problem, da eine Werkstätte mit allen benötigten Werkzeugen und Maschinen am Wohnort vorhanden war.

7.2. Verwendete Maschinen

Zur Anfertigung des Versuchsaufbaues wurden folgende Maschinen benötigt:

- Bohrmaschine
- Schweißgerät
- Winkelschleifer

8. Bauteile

8.1. Allgemein

8.1.1. Benötigte Bauteile

8.1.2. Auswahl der Bauteile

9. Software

9.0.1. Allgemein

9.0.2. Verwendete Software

Teil IV.

Vorzeigemodell

10. Gleichstrommaschine

10.1. Anleitung

10.2. Demonstrations-Vorschläge

Teil V.

Versuchsaufbau

11. Allgemein

12. Anforderungen

12.0.1. Allgemein

12.0.2. Drehzahlmessung

12.0.3. Drehmomentmessung

12.0.4. Bremsen des Motors

13. Versionen

13.0.1. Allgemein

13.0.2. Provisorischer Aufbau

13.0.3. Laborfertiger Aufbau

14. Finalisierung

14.0.1. Allgemein

14.0.2. Gegenkupplung

14.0.3. Drehzahlmessung

Teil VI.

Laboruebung

15. Allgemein

16. Anforderungen

17. Laborübung

Laborübung zu Gleichstrommotoren

Erhardter Leonhard

Version 1.3

Letzte Änderung:

07.03.2021

5AHWII – 2020/21

HTBLVA Innsbruck

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort	3
a. Ziel der Übung:	3
b. Voraussetzungen:.....	3
c. Ergebnisse:.....	3
2. Teil 1.....	4
a. Aufgabenstellung	4
b. Theoretische Grundlagen.....	4
i. MAXON DC Motor (231852)	4
ii. Wägezelle	4
iii. Wägezellenverstärker HX711.....	5
c. Hinweise und Hilfestellung zur Bearbeitung.....	5
d. Laborbericht	5
3. Teil 2	6
a. Aufgabenstellung	6
b. Theoretische Grundlagen.....	6
i. IR-Sensor (TCRT5000)	6
ii. Motorkennlinie.....	6
c. Hinweise und Hilfestellung zur Bearbeitung.....	7
d. Laborbericht	7

1. Vorwort

a. Ziel der Übung:

Ziel der Laborübung ist es einen Gleichstrommotor mittels des bereitgestellten Versuchsaufbau:

- Anzusteuern
- Zu Bremsen
- Dessen Drehzahl zu messen
- Dessen Drehmoment zu messen

Sowie aus den Messwerten eine Motorkennlinie zu bilden und diese:

- Zu zeichnen
- Zu interpretieren

b. Voraussetzungen:

Grundlagen zur Durchführung dieser Laborübung sind:

- PC/Laptop mit Internetzugang
- Arduino, sowie Arduino IDE
- Tabellenkalkulationsprogramm (Excel)
- Textbearbeitungsprogramm zur Dokumentation

c. Ergebnisse:

Nach Abschluss der Laborübung soll der Schüler:

- Gleichstrommotoren verstehen
- Den Versuchsaufbau nachvollziehen
- Die verwendeten Bauteile verstehen und ansteuern
- Sowie das erlernte auf andere Themen übertragen und anwenden können

2. Teil 1

a. Aufgabenstellung

Der erste Teil der Laborübung beschäftigt sich mit der Drehmomentmessung am Gleichstrommotor.

Diese erfolgt mittels einer Vollbrücken Wäge-Zelle und eines HX-711 Verstärkerbausteins. Die Ausmessung der Daten erfolgt durch einen Arduino.

Benötigte aufgabenspezifische Arbeitsmittel sind:

- Vollbrückenwägezelle (5kg)
- HX711
- Objekt mit bekanntem Gewicht zur Kalibrierung

b. Theoretische Grundlagen

i. MAXON DC Motor (231852)

Der Gleichstrommotor mit der Kennnummer 231852 wird von MAXON produziert und ist von den Abmessungen beinahe baugleich mit der Motorserie 273752. Es handelt sich um einen permanenten Motor mit Graphitbürsten.



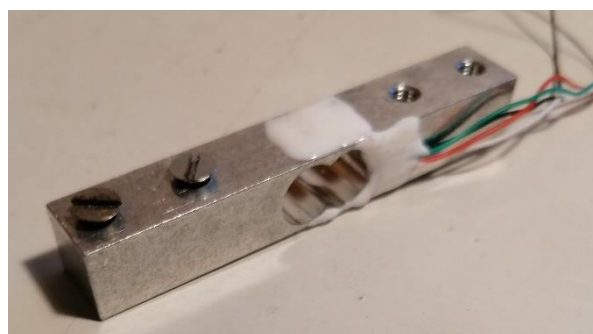
Genauere Informationen über den exakten Motor sind nicht erhältlich, da es sich hierbei um eine individuelle Anfertigung handelt.

Für die Dauer der durchzuführenden Versuche und Messungen ist dieser mit 20 Volt zu betreiben.

ii. Wägezelle

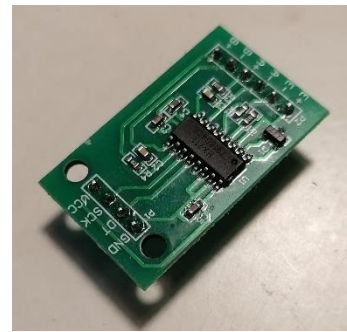
Hierbei handelt es sich um einen Doppelbiegebalken-Federkörper mit einem maximalen Gewicht von 5kg.

Bei leichter Verformung verändert sich der Widerstand der im Balken verbauten DMS (Dehnungsmessstreifen), und hierdurch entsteht eine Spannungsdifferenz im mV Bereich zwischen den beiden Ausgängen.



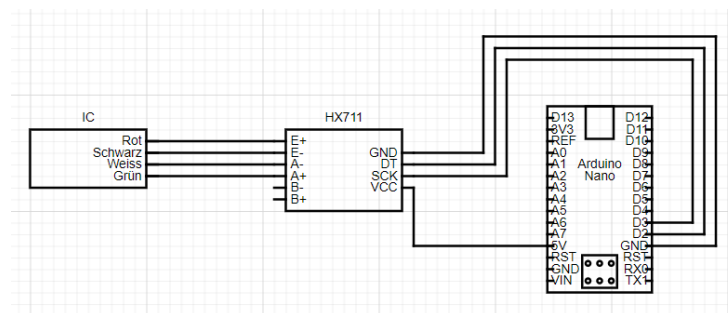
iii. Wägezellenverstärker HX711

Der Wägezellenverstärker, in unserem Fall HX711, dient dazu das Ausgangssignal in mV der Wägezelle mit hoher Präzision auf einen für uns brauchbaren Spannungsbereich aufzuspannen.



c. Hinweise und Hilfestellung zur Bearbeitung

Die Verkabelung der Wägezelle erfolgt wie folgt:



Weiters ist es sinnvoll die Nummer der verwendeten Bauteile zu notieren, um die Kalibrierung der Wägezelle nur einmalig durchführen zu müssen.

d. Laborbericht

In der Dokumentation der Laborübung ist zu behandeln:

- Einsatzbereich der verwendeten Gleichstrommotoren sowie Vor- und Nachteile.
- Warum kann mit 20V gearbeitet werden, obwohl die nominale Spannung niedriger ist?
- Schreibt ein Programm mit welchem die Wägezelle kalibriert werden kann.
- Folgend schreibt ein Programm welcher die kalibrierte Wägezelle nutzt, um die Kraft auf das Ende der Zelle zu messen.
- Dokumentiert diesen Code.
- Testet die Wägezelle mit euch bekannten Gewichten:
 - Wie akkurat sind die Messungen?
 - Gibt es Abweichungen?
 - Wenn Ja. Was könnte der Grund dafür sein?

3. Teil 2

a. Aufgabenstellung

Der zweite Teil der Laborübung beschäftigt sich mit der Drehzahlmessung des Gleichstrommotors.

Dafür wird ein IR-Sensor verwendet.

Im Anschluss soll dies mit der Drehmomentmessung des letzten Teils kombiniert werden, um eine Ausgabe beim Bremsen des Elektromotors zu ermöglichen.

Mit den ermittelten Daten soll schlussendlich die Motorkennlinie gezeichnet werden.

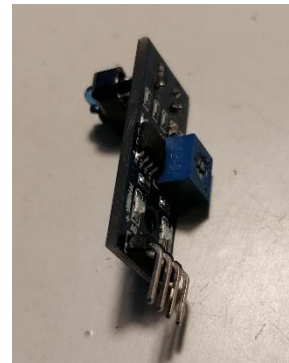
b. Theoretische Grundlagen

i. IR-Sensor (TCRT5000)

Hierbei handelt es sich um einen Infrarotsensor welchem es anhand des reflektierten Lichts möglich ist zu bestimmen wie weit ein Objekt entfernt ist. Dies ist allerdings nicht sehr zuverlässig, da verschiedene Oberflächenfarben als auch Beschaffenheiten diesen Wert stark beeinflussen.

Die für unseren Zweck sinnvollere Funktion ist der binäre Ausgang welcher, basierend auf der Einstellung des Potentiometers auf der Platine, entweder 1 oder 0 als Ausgang liefert.

Durch das Potentiometer kann eingestellt werden bei welchem Anteil an zurückreflektiertem Licht dieser Eingang 1 ist.



ii. Motorkennlinie

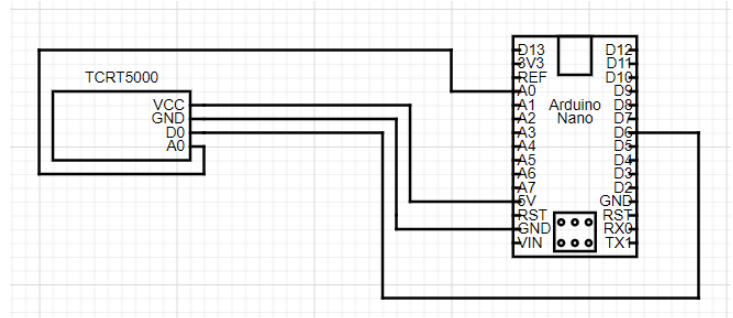
Eine Motorkennlinie beschreibt den Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehzahl des Motors.

c. Hinweise und Hilfestellung zur Bearbeitung

Der Anschluss des IR-Sensors erfolgt wie auf dem Plan zu sehen.

Die Länge des Stabes von der Mitte des Motors bis zur Wägezelle beträgt 10 cm.

Die Messwerte in der Outline können mit einem Tabulator [„\t“] getrennt werden, um das Einfügen in eine Tabelle zu erleichtern.



d. Laborbericht

In der Dokumentation der Laborübung ist zu behandeln:

- Schreibt ein Programm mit welchem die Drehzahl des Motors gemessen werden kann.
- Kombiniert jenes mit dem Programm zum Messen des Drehmoments, welches im vorherigen Teil behandelt wurde.
- Führt eine Messung bei Bremsen des Motors durch.
- Stellt mit den gewonnenen Daten die Motorkennlinie dar und interpretiert diese.
- Kam es bei der Durchführung der Messung zu Fehlern? Wenn ja:
 - Welche? Wie könnte man diese vermeiden.

18. Musterlösung

Teil VII.

Rückblick

19. Allgemein

20. Aufgabenteilung

21. Kommunikation

Teil VIII.

Appendix

Zeitaufwand

Literaturverzeichnis

- [1] D. Binosi, J. Collins, C. Kaufhold, and L. Theussl. JaxoDraw: A Graphical user interface for drawing Feynman diagrams. Version 2.0 release notes. *Computer Physics Communications*, 180:1709–1715, 2009.
- [2] D. Binosi and L. Theussl. JaxoDraw: A Graphical user interface for drawing Feynman diagrams. *Computer Physics Communications*, 161:76–86, 2004.
- [3] Joshua Ellis. TikZ-Feynman: Feynman diagrams with TikZ. 2016.
- [4] R. P. Feynman. Space-time approach to quantum electrodynamics. *Phys. Rev.*, 76:769–789, Sep 1949.
- [5] Yifan Hu. Efficient, high-quality force-directed graph drawing. *Mathematica Journal*, 10(1):37–71, 2005.
- [6] Thorsten Ohl. Drawing Feynman diagrams with LaTeX and Metafont. *Computer Physics Communications*, 90:340–354, 1995.
- [7] Eades Peter and Sugiyama Kozo. How to draw a directed graph. *Journal of Information Processing*, 13(4):424–437, 1991.
- [8] Jannis Pohlmann. *Configurable graph drawing algorithms for the TikZ graphics description language*. PhD thesis, Institute of Theoretical Computer Science, Universität zu Lübeck, Lübeck, Germany, 2011.
- [9] Till Tantau. The TikZ and PGF packages, 2015.
- [10] J.A.M. Vermaseren. Axodraw. *Computer Physics Communications*, 83(1):45 – 58, 1994.

Abbildungsverzeichnis

List of Codes