



mechatronik

Pferdeführanlage

HTBLA Kaindorf an der Sulm

Grazer Straße 202, A-8430 Kaindorf an der Sulm

**Ausbildungsschwerpunkt Mechatronik und
Automatisierungstechnik**

Lukas Freyler

Stefan Ornik

Fabio Pölzl

Dominik Riegelnegg

Abgabedatum: 05.04.2018

Betreut von:

Dipl.-Ing. Werner Harnisch

Dipl.-Ing. Wolfgang Mader

BEd. Otto Schuller

Dipl.-Ing. Manfred Steiner

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Arnfels, am 05. April 2018

Lukas Freyler

Stefan Ornik

Fabio Pölzl

Dominik Riegellegg

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen bedanken, die uns im Rahmen der Diplomarbeit unterstützt und betreut haben.

Besonders bedanken möchten wir uns bei unseren Betreuern, Dipl.-Ing. Werner Harnisch, Dipl.-Ing. Wolfgang Mader, BEd. Otto Schuller und Dipl.-Ing. Manfred Steiner für die fachliche Unterstützung während dieser Arbeit.

Zusammenfassung

Das Hauptziel der Diplomarbeit ist es, Pferden mehr Bewegung zu ermöglichen. In der freien Natur legen Pferde einige Kilometer am Tag zurück. Dies können die Pferde in den verschiedensten Reitställen nicht behaupten. Die Haltung eines Pferdes bringt viele Kosten mit sich. Da ist meistens nichts mehr für ein neues Trainingsgerät für die Pferde übrig. Als nächstes kommt hinzu, dass manche Personen auch nicht die nötige Zeit haben, um neben der Pferdeführanlage zu stehen und den Betrieb zu überwachen. Nun ergeben sich folgende Punkte, um die Schwierigkeiten für den Besitzer zu minimieren:

Unser Ziel ist eine automatisierte Anlage zu entwickeln, welche einfach über eine Android Applikation zu steuern ist. Da die Anlage auch an heißen Tagen betrieben wird, wurde eine Kühlung für die Pferde auf die Liste mit den Abarbeitungspunkten gesetzt. Die Erfrischung soll mittels einem Sprühregen realisiert werden, damit die Pferde bei heißen Temperaturen eine Abkühlung bekommen können. Der Benutzer muss ein bis vier Pferd/e innerhalb der Anlage positionieren und die Anlage starten. Die Zeit und die Geschwindigkeit der Pferdeführanlage soll er selbst auswählen können. Als letzten Punkt soll es eine Videoübertragung zur Android Applikation geben, damit der Benutzer jederzeit einen Sicherheitsblick auf die Anlage werfen kann, ob alles noch in Ordnung ist.

Was sind nun die wichtigsten Punkte von unserer Anlage?

- Automatisierte Anlage
- Platz für vier Pferde gleichzeitig
- Android Applikation um die Anlage zu steuern
- Videoüberwachung, die in der App abrufbar ist
- Einfache Bedienung
- Geschwindigkeit und Zeit sollen einstellbar sein
- Sprühregen zur Abkühlung der Pferde
- Langlebig

Abstract

The opportunity to kick up the scope of horses is the primary goal of this thesis. Horses are traveling many kilometers a day in the case in living in the wildlife. Horses which are the most time of their life inside the stable are not able to claim this. The keeping of animals also brings many costs with it. For that reason there isn't any money left for a new training device for their horses. The next point of difficulties is, that the keeper of the animals do not have the necessitative time to stand by the horse exerciser and control the system. To rationalize some of the problems the following issueses are need to be pursued:

The aim of the thesis, is to develop an automated system which could be controlled by an Android application easily. Because of the reason, that the horse exerciser is also going to operate during hot days, one point on the processing list is to make a cooling for the horses happen. If the user want to train some horses, he has to place up to four horses inside the horse exerciser. Now he is able to start the system. He should also be able to set the operating time and speed of the horse exerciser. The last point is, because of the reason of an video control, the user could throw a safety view on the system, that everything is alright.

What are the primary goals for the horse exerciser?

- automated unit
- capacity for four horses simultaneously
- Android application to control the system
- video control which is available inside the app
- easy handling
- light drizzle to cool down the horses
- durable

Gender Erklärung

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

Über dieses Dokument

Diese Arbeit wurde in L^AT_EX verfasst. Diese Art der Dokumentation bietet gegenüber den normalen Textverarbeitungen gewisse Vorteile hinsichtlich der Formatierung und des Einbindens von Grafiken. Auch Formeln können sehr einfach und effizient angegeben werden.

Projektteam

Lukas Freyler



mechatronik

Aufgabenbereich:

LATEX

Betreuer:

Dipl.-Ing. Manfred Steiner

Stefan Ornik



mechatronik

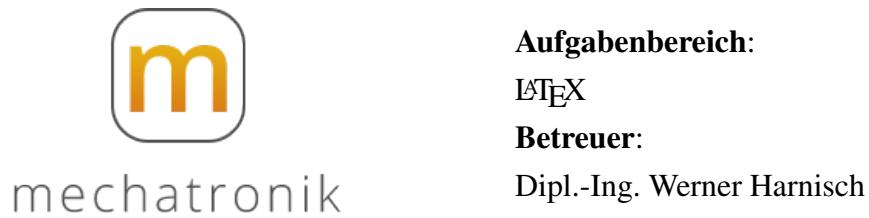
Aufgabenbereich:

LATEX

Betreuer:

Dipl.-Ing. Wolfgang Mader

Fabio Pölzl



Aufgabenbereich:

L^AT_EX

Betreuer:

Dipl.-Ing. Werner Harnisch

Dominik Riegelegg



Aufgabenbereich:

L^AT_EX

Betreuer:

BEd. Otto Schuller

Inhaltsverzeichnis

1 Elektronik und Sicherheit	1
1.1 Abstract Electronic	1
1.2 Zusammenfassung Elektronik	1
1.3 Aufgabenbereich	2
1.4 Vorarbeit	3
1.4.1 Motor	3
1.4.2 Ansteuerung Elektromotor	3
1.4.3 Wasserversorgung Sprühregen	3
1.4.4 Verarbeitung der Daten	3
1.4.5 Pferde Sicherheit	3
1.5 Antriebstechnik Grundlagen[1]	4
1.5.1 Aufbau	4
1.5.2 Anforderungen	4
1.6 Elektromotor	5
1.6.1 Grundprinzip	5
1.6.2 Motorarten	5
1.6.2.1 Gleichstrommotor	5
1.6.2.2 Drehstrommotor	6
1.6.2.3 Asynchronmotor	7
1.6.2.4 Synchronmotor	7
1.6.3 Motorauswahl	8
1.6.3.1 Festlegung des Motors	8
1.6.3.2 Motoranforderungen	9
1.6.3.3 Auswahlverfahren	10
1.6.3.4 Getriebemotor	11
1.6.4 Motor für Testaufbauten	12
1.7 Frequenzumrichter	13
1.7.1 Allgemein	13
1.7.2 Aufbau Frequenzumrichter	13
1.7.3 Finden eines Frequenzumrichters	13
1.7.4 Datenblatt Frequenzumrichter	14
1.7.4.1 Datenblatt Inhalt	15
1.7.4.2 Relevante Informationen	15

1.7.4.3	Verbindungsmaiko Cn002 - Regelung über die Klemmen	16
1.8	Pferderegen	18
1.8.1	Ventil	18
1.8.1.1	Arbeitsventil	18
1.8.1.2	Funktionstestung Ventil	18
1.8.2	Umpolung	19
1.8.2.1	Funktionsweise	19
1.8.2.2	Motortreiber Auswahl	20
1.8.3	Motortreiber Ansteuerung	21
1.8.4	Wasserversorgung	22
1.8.4.1	PE-Rohr	22
1.8.4.2	Ventilübergang	23
1.8.4.3	Sprühnebel Erzeugung	24
1.8.5	Rohrverlegung	25
1.9	Geschwindigkeitsmessung	26
1.9.1	Drehgeber	26
1.9.1.1	Inkrementalgeber	26
1.9.1.2	Absolutwertgeber	27
1.9.1.3	Resolver	27
1.9.1.4	Auswahl Drehgeber	28
1.9.1.5	AB-Inkrementalgeber Auswertung	28
1.10	Kommunikationsschnittstelle	31
1.10.1	Steuerung des Frequenzumrichters	32
1.10.2	Kommunikation zu Raspberry	32
1.10.3	Kommunikation zu Arduino Nano	32
1.10.1	Arbeitsdurchführung	32
1.11	Gesamtsteuerung	34
1.11.1	Kostenübersicht	34
1.12	Sicherheit der Pferde und Anlage	35
1.12.1	Allgemeine Sicherheitsfragen	35
1.12.2	Tierschutzgesetz und Anlagenschutz	35
1.12.3	Blitzschutz	36
1.12.4	Winterschutz	36
1.12.5	Not-Stop/ Not-Halt	36
1.12.6	Pferdesicherheit	37
1.13	Diskussion	38
1.13.1	Verbesserungsvorschläge	38
1.13.1.1	Motor	38
1.13.1.2	Raspberry Pi für Kommunikation	38
1.13.2	Persönliche Rückschlüsse	38

A Zeitaufzeichnung	41
B Persönlicher Anhang 1	43
C Literaturverzeichnis	45
D Abkürzungsverzeichnis	47
E Abbildungsverzeichnis	49
F Tabellenverzeichnis	51
G Listings	53

1 Elektronik und Sicherheit

1.1 Abstract Electronic

Because of the electronic part, the horse exerciser should be able to rotate. [?] The actuator of the engine is realised by a frequency converter, which gets the signals from the GPIO-Pins on the Raspberry-Pi. How fast the horse exerciser will move, depends on the commands, that he receives over the Ethernet from the webserver. The horses will get a refreshment on hot summer days by the use of the electric water valve. Due to the fact that the system will be used to exercise animals, one of the most important points is the safety of the horses.

1.2 Zusammenfassung Elektronik

Der Elektronikteil soll dazu dienen, die Pferdeführanlage in den gewünschten Geschwindigkeiten zu drehen, welche über die App für die Pferde gewählt wurden. Die Ansteuerung des Motors kann mit einem Frequenzumrichter (FU) realisiert werden, welcher die Signale von einem gewünschten Kommunikationssystem bekommt. Des Weiteren bekommt die Steuereinheit über Ethernet die Befehle, wie schnell sich die Anlage drehen darf und wie lange. Mittels eines elektrischen Wasserventsils, wird den Pferden an heißen Sommertagen eine Erfrischung ermöglicht. Da mit der Anlage Tiere trainiert werden sollen, ist der wichtigste Nebenpunkt die Sicherheit der Pferde und natürlich von der Anlage selbst.

1.3 Aufgabenbereich

Mein Aufgabenbereich bei der Diplomarbeit „Pferdeführanlage“, ist die Planung für die Elektronik. Wie bereits bei der Hauptaufgabenstellung (1.1.?) erwähnt, soll sich die Anlage mit verschiedenen Geschwindigkeiten und Variationen drehen. Neben der Steuerung der Anlage, muss man auch auf die Sicherheit der Pferde achten.

Mein Aufgabenbereich bei der Diplomarbeit sind:

- Auswahl des Motors
- Ansteuerung des Motors
- Auswahl der Sensoren
- Auswahl eines Ventils
- Kommunikation zu Web-Server
- Schutz des Pferdes und der Anlage

1.4 Vorarbeit

Um die Suche ein wenig einzugrenzen, wurden persönliche Vorgaben festgelegt. Diese Vorgaben konnten durch Erfahrung oder Gespräche erstellt werden.

1.4.1 Motor

Prinzipiell könnte man die Anlage auch rein mechanisch Ansteuern. Mit der Hilfe von Wind, Wasser oder Öl, diese sind aber wetter- und ortsbedingt, im letzten Fall noch eine zusätzliche Umweltbelastung. Da in Mitteleuropa fast jeder Haushalt eine Stromanbindung hat, wurde der Fokus auf die Elektromotoren gerichtet.

1.4.2 Ansteuerung Elektromotor

Um einen Motor gezielt und einfach steuern zu können, wird in den meisten Fällen auf einen Frequenzumrichter zurückgegriffen. Alternative dazu wäre ein Motorstarter. Mit diesen lassen sich aber nicht so einfach die Geschwindigkeiten steuern.

1.4.3 Wasserversorgung Sprühregen

Für die Wasserversorgung wird ein 1 Zoll Wasseranschluss benötigt. Dieser ist normaler Weise bei jedem Haus vorhanden. Sollte dies nicht der Fall sein, ist es auch möglich eine Zuleitung mit geringeren Durchmesser nehmen.

1.4.4 Verarbeitung der Daten

Da sowohl das Senden von elektrischen Signalen, als auch die Kommunikation über ein Netzwerk realisiert werden soll, sollte ein System verwendet werden, welches beides direkt verarbeiten kann.

1.4.5 Pferde Sicherheit

Man darf bei der Anlage nicht auf die allgemeine Sicherheit vergessen. Überall können Fehler auftreten. Bei einem Fehler muss man wissen, wie man die Pferde, Menschen und auch die Anlage schützt. Dazu gehören allgemeine Fehler, NOT-AUS und NOT-STOPP.

1.5 Antriebstechnik Grundlagen[1]

1.5.1 Aufbau

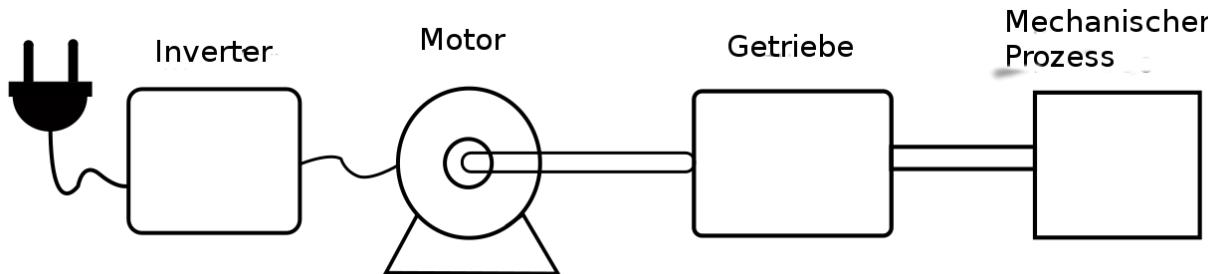


Abbildung 1.1: Aufbau Antriebstechnik

Der Inverter wandelt die vorhandene elektrische Energie, in die gewünschte elektrische Ausgangsgröße um. Diese wird so gewählt, dass der Motor direkt damit betrieben werden kann. Dieser kann durch einer Welle den gewünschten mechanischen Prozess betreiben. Falls man die Drehzahl nicht elektrisch verändern will, benötigt man zusätzlich ein Getriebe. Das Getriebe kann aber auch nur als Verbindung dienen und mittels Keilriemen oder ähnlichem realisiert werden.

Daraus ergibt sich folgender Ablauf wie aus der Abbildung 1.1 ersichtlich:

Versorgungsspannung → Inverter → Motor → (Getriebe) → Mechanischer Prozess

1.5.2 Anforderungen

Ein Antriebssystem sollte gewissen Anforderungen entsprechen, um vermarktbare zu sein. Folgende Auflistung zeigt die wichtigsten Punkte:

- Stabile Steuerung der Geschwindigkeit
- Verbundene Mechanik mit hoher Genauigkeit ansteuern
- Stabile Kraftanwendung

1.6 Elektromotor

1.6.1 Grundprinzip

Die Kraft, welche den Elektromotor in Bewegung versetzt, nennt sich Lorentzkraft. Befindet sich ein stromdurchflossener elektrischer Leiter in einem Magnetfeld, so wirkt auf diesen Leiter eine Kraft. Die Wirkungsrichtung hängt von der Stromflussrichtung im Leiter ab. Um sich die Vorstellung zu erleichtern, wird in den meisten Fällen die "Linke-Hand-Regel" verwendet.

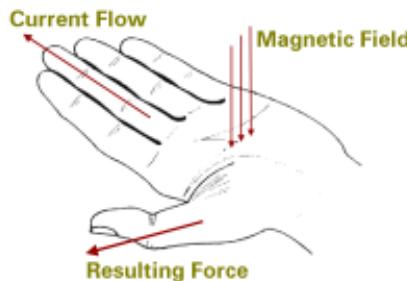


Abbildung 1.2: Link-Hand-Regel

Die Lorentzkraft wird mit folgender Formel festgelegt:

$$F = B * I * l \quad (1.1)$$

F = Lorentzkraft, B = magnetische Flussdichte,
 I = Stromstärke, l = Länge des Leiters im Magnetfeld

Aus der Formel 1.1 lässt sich entnehmen, dass die Lorentzkraft von der magnetischen Flussdichte, Stromstärke und Länge des Leiters abhängt.

Diese Kraft erzeugt bei einer Lagerung von der Spule, ein Moment, welches das gewünschte System drehen lässt.

1.6.2 Motorarten

Es gibt viele verschiedene Motorarten und Typen. Um eine kleine Übersicht zu ermöglichen werden nachfolgend die wichtigsten Grundmotore aufgelistet und ein wenig näher beschrieben.

1.6.2.1 Gleichstrommotor

Der Rotor wird gelagert und mehrfach mit Draht umwickelt. Der Rotor bekommt über Kohlebüsten am Kollektor eine Stromübertragung. Daraufhin bekommt der Rotor erneuten Schwung mit. Wenn der Motor größer sein muss, kann der Stator in mehrere Pole aufgeteilt werden. Der Stromfluss wird dadurch stabiler. Aufgrund der Kohlebüsten, muss der Gleichstrommotor nach einer gewissen Laufzeit gewartet werden.

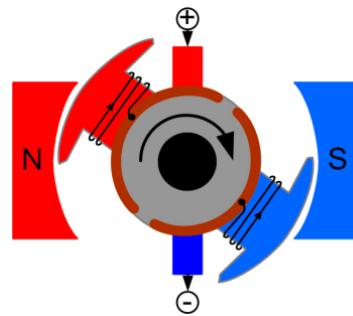


Abbildung 1.3: Aufbau Gleichstrommaschine

Die Abbildung 1.3 zeigt den einfachen Aufbau von einer Gleichstrommaschine. Er ist bei einfachen Anwendungen sehr beliebt, da sich die Drehzahl durch Veränderung der Versorgungsspannung ändert.

Anwendungsbereiche:

- Scheibenwischermotoren
- Fensterheber
- Handstaubsauger

1.6.2.2 Drehstrommotor

Drehmaschinen arbeiten durch eine Variation im Statorfeld. Der Rotor wird auch hier durch einen Magneten realisiert. Der Rotor versucht sich immer nach dem entsprechenden Magnetpol zu richten. Die Spannungen beim Drehstrom sind um 120 Grad versetzt, deshalb variieren die magnetischen Pole regelmäßig. Aus diesem Grund beginnt sich der Rotor zu drehen. Drehstrommotoren lassen sich leichter kühlen als Gleichstrommotoren.

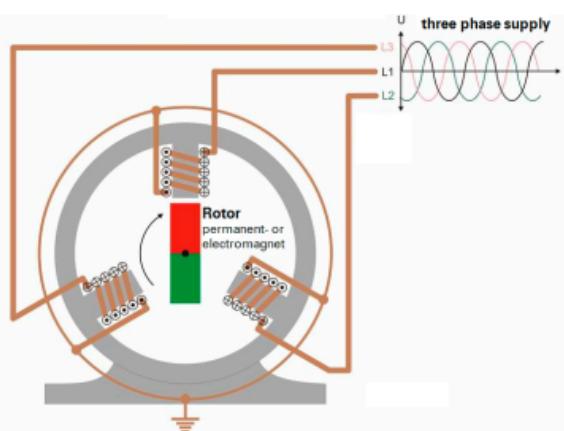


Abbildung 1.4: Aufbau Drehfeldmaschine

Bei den Drehfeldmaschinen gibt es zwei verschiedene Aufbauarten: Asynchron- und Synchronmaschine.

1.6.2.3 Asynchronmotor

Ein Asynchronmotor hat einen Kurzschlussläufer. Bei einem Kurzschlussläufer werden die Leiter, wie der Name erraten lässt, im Rotor kurzgeschlossen. Wenn der Rotor dem elektrischen Feld des Stators ausgesetzt wird, bekommen die kurzgeschlossenen Leiter eine Spannung, die einen Stromfluss verursachen. Im Rotor befindet sich jetzt ebenfalls ein eigenes Magnetfeld. Nun wirken die Magnetfelder entgegen und somit verursachen die Kräfte eine Drehbewegung.

Anwendungsbereiche:

- Pumpen
- Kompressoren
- Ventilatoren

1.6.2.4 Synchronmotor

Bei einer Synchronmaschine ist der Rotor entweder als Permanent- oder Elektromagnet realisiert. Dadurch hat der Rotor bereits ein eigenständiges Magnetfeld. Der Rotor kann sich deshalb selbstständig auf das Magnetfeld im Stator ausrichten. Der Rotor kann nun, je nach Änderung des Magnetfeldes im Stator, direkt mitlaufen. Ein Synchronmotor ist für höchste dynamische Bewegungskriterien geeignet.

Anwendungsbereiche:

- Roboter
- CNC-Anwendungen
- Positionierantriebe

1.6.3 Motorauswahl

Antriebssystem (Motor und Regelgerät)	Permanent erregter Gleichstrommotor	Permanent erregter Synchronmotor	Standardisierter Asynchronmotor	Geschalteter Reluktanzmotor
Leistungsbereich	1 W bis 1 kW	1 W bis 10 kW	1.5 kW bis 630 kW	10 W bis 300 kW
Preis Motor	teuer	teuer	günstig	günstig
Preis Elektronik	günstig bis mittel	mittel bis teuer	günstig bis mittel	mittel
Robustheit	mittel	gut	sehr gut	sehr gut
Regelgüte	sehr gut	gut	mittel bis gut	gut
Standardisierung	gering	gering	hoch	keine
Wirkungsgrad	schlecht bis gut	mittel bis sehr gut	schlecht bis gut	mittel bis gut

Abbildung 1.5: Tabelle Übersicht Elektromotor

Die Tabelle 1.5 gibt einen Überblick, in welchen Bereich man seinen gesuchten Motor finden kann. Um weiter den gewünschten Motor auswählen zu können, benötigt man die Daten, was überhaupt bewegt werden soll und wie.

1.6.3.1 Festlegung des Motors

Aufgrund der mehreren Vorteile, ging der Fokus auf den Bereich der Asynchronmotoren. Man kann sie sehr oft am Markt in verschiedensten Ausführungen finden. Dadurch ist auch ein sehr gutes Preis/Leistung-Verhältnis gegeben.

Folgende Auflistung zeigt noch einmal die konkreten Vor- und Nachteile von einem Asynchronmotor:

Vorteile:

- Günstig
- Hohe Standardisierung
- Robust und Wartungsarm
- Einfacher Aufbau
- ermöglicht eine stabile Drehzahl

Nachteile:

- schwerer regelbar
- Nicht gut positionierbar, im Gegensatz zu Synchronmotoren

1.6.3.2 Motoranforderungen

Die folgende Werte können in den Kapiteln ??.?, ?.? und ?.? gefunden werden. Der Laufradius der Pferdeführanlage beträgt ungefähr 9,75 Meter. Bei diesem Radius kann man die Pferde nicht galoppieren lassen. Für eine geeignete Geschwindigkeit wurde ein realistischer Wert gefunden. Unsere Konstruktion dreht sich, mit maximal $5,3 \text{ min}^{-1}$.

Vom Konstrukteur der Anlage bekomme ich zusätzlich folgende Angaben, die der Antrieb erfüllen soll:

- Trägheitmoment $I = 30273,53 \text{ kgm}^2$
- Beschleunigung $\alpha = 0,0947 \text{ 1/s}^2$
- Geschwindigkeit $\omega = 0,5 \text{ 1/s}$

Durch diese Angaben lässt sich ein geeigneter Motor unter folgender Berechnung finden:

$M_A = \text{Drehmoment der Anlage}$

$P_A = \text{Leistung der Anlage}$

$M_M = \text{Drehmoment des Motors}$

$P_M = \text{Leistung des Motors}$

$\eta_{GM} = \text{Wirkungsgrad von Motor und Übersetzung} = 0,81$

$$M_A = I * \alpha = 30273,53 \text{ kgm}^2 * 0,0947 \frac{1}{\text{s}^2} = 2866,9 \text{ Nm} \quad (1.2)$$

$$P_A = M_A * \omega = 2866,9 \text{ Nm} * 0,5 \frac{1}{\text{s}} = 1433,45 \text{ W} \quad (1.3)$$

Beide Formeln welche oberhalb verwendet wurden, sind grundlegende Formeln in der Mechanik. Daraus konnte das benötigte Drehmoment und die benötigte Leistung der Anlage berechnet werden. Systeme haben in der Realität aber Verluste. Diese werden mit dem Wirkungsgrad festgelegt. Wenn man diesen vernachlässigt, könnte der gesuchte Antrieb überfordert sein und dadurch die Anlage nicht bewegen. Dadurch muss man folgende Rechnung durchführen:

$$\eta_{GM} = \frac{P_A}{P_M} \rightarrow P_M = \frac{P_A}{\eta_{GM}} = \frac{1433,45 \text{ W}}{0,81} = 1769,69 \text{ W} \quad (1.4)$$

1.6.3.3 Auswahlverfahren

Aufgrund der Anforderungen fiel die Entscheidung auf die Gruppe der Asynchronmotoren. Da die Anlage mit sehr geringer Drehzahl fährt, besteht die Möglichkeit ein externes Getriebe oder direkt auf einen Getriebemotor zurückzugreifen. Am Häufigsten findet man bei uns eine 230V Steckdose. Drehstromsteckdosen sind meist nur an den Orten platziert, wo sie von Anfang an benötigt werden. Um den Besitzer keine Umbauarbeiten aufzulegen liegt der Fokus bei einem 230V Anschluss. Wenn man den Motor mit Drehstrom betreiben will, ändert sich der Nennstrom des Motors. Ansonsten funktioniert die Ansteuerung gleich.

Nun musste ein Asynchronmotor mit einer Leistung von mindestens 1770 Watt gefunden werden. Bei der Suche nach einen geeigneten Motor kamen folgende zwei Motoren in die engere Auswahl:

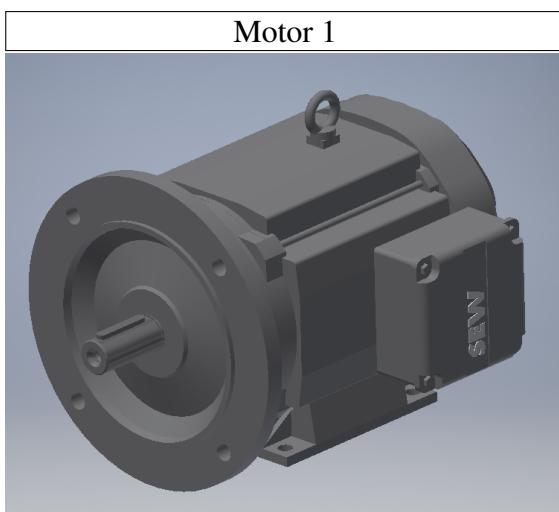


Abbildung 1.6: SEW-Motor

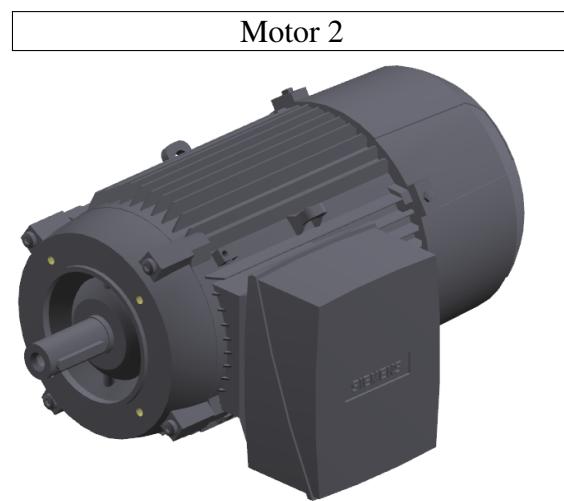


Abbildung 1.7: Siemens-Motor

- Motorspannung: 230/400V
- Motorstrom: 8,3/4,75A
- Motorleistung: 2,2 kW
- Drehzahl: 1450 min^{-1}
- Flanschdurchmesser: 250mm
- Effizienzklasse: IE3
- Motorschutzart: IP55
- Nettogewicht: 26,9kg

- Motorspannung: 230/400V
- Motorstrom: 6,6/3,75A
- Motorleistung: 1,77 kW
- Drehzahl: 1465 min^{-1}
- Flanschdurchmesser: -
- Effizienzklasse: IE3
- Motorschutzart: IP56
- Nettogewicht: 40kg

In diesem Vergleich würde der Motor von SEW bevorzugt werden.

Da der Motor eine Drehzahl von umgerechnet $24,16\text{s}^{-1}$ hat, muss man die Drehzahl reduzieren. Um dies zu ermöglichen, muss man eine Übersetzung ermöglichen. Dafür gibt es mehrere Varianten. Nachfolgend werden drei Varianten aufgelistet:

- Motor mit externen Getriebe

- Getriebemotor
- Riemscheibe

Bei einem Getriebemotor wird das Getriebe direkt vom Hersteller auf den Motor ausgelegt. Bei einen externen Getriebe muss man zusätzlich darauf achten, ob der Motor mit dem Getriebe verbunden werden kann beziehungsweise darf. Um den zusätzlichen Arbeitsaufwand gering zu halten und bei Komplikationen auf den jeweiligen Hersteller zurückgreifen kann, wird für die Pferdeführanlage ein Getriebemotor verwendet.

1.6.3.4 Getriebemotor

Ein Getriebemotor besteht aus einem Motor und einem Getriebe, welche direkt in einer gemeinsamen Einheit miteinander verbunden sind. Das Getriebe soll sowohl Drehzahl als auch Drehmoment des Motors wandeln. Diese Wandlung kann mittels Drehzahlverhältnis ermittelt werden. Bei Getriebemotoren muss man das Drehmoment von Motor und Getriebe beachten. Primär gilt die Last die auf das Getriebe wirkt. Wie auch bei allen anderen Motoren gibt es auch bei den Getriebemotoren viele weitere Modelle. Zum Beispiel Servo-Getriebemotore und Verstellbare-Getriebemotore. Für unsere Anlage wurde folgender Getriebemotor gefunden:

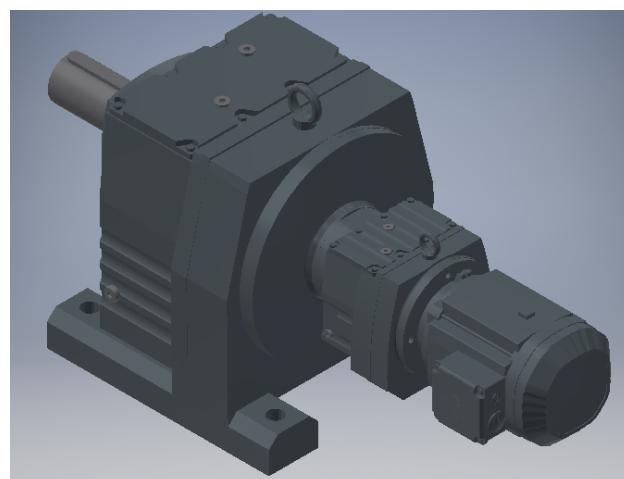


Abbildung 1.8: SEW-Getriebemotor

Der Getriebemotor hat folgende Kenndaten:

- Motorspannung: 230/400V
- Motorstrom: 8,3/4,75A
- Motorleistung: 2,2 kW
- Motordrehzahl: 1450 min^{-1}
- Abtriebsdrehzahl: $6,5 \text{ min}^{-1}$

- Abtriebsdrehmoment: 2980 Nm
- Übersetzung i: 223,00
- Effizienzklasse: IE3
- Motorschutzart: IP56
- Nettogewicht: 341kg

Wenn man diesen Motor mit den Motoranforderungen vergleicht, werden folgende Anforderungen, durch den Getriebemotor, erfüllt:

- Mindestens Drehmoment: 2866,9 Nm; Tatsächliches Drehmoment: 2980 Nm
- Mindestleistung: 1769,69W; Tatsächliche Leistung: 2200W

Der einzige Punkt der noch offen ist, ist die Abtriebsdrehzahl bei 50 Hertz Netzfrequenz. Um auf die gewünschte Drehzahl zu kommen, gibt es zwei Varianten. Entweder man sorgt über Riemscheiben für die restliche Übersetzung oder man konfiguriert den Frequenzumrichter mit einer maximalen Frequenz, die auf den Motor wirken darf.

Da man sowieso die Ausgangswelle mit der Anlage verbinden muss, werden Riemscheiben verwendet.

Um die jeweiligen Durchmesser der Riemscheibe zu ermitteln, muss man das benötigte Übersetzungsverhältnis ermitteln.

$$i = \frac{n_{Antrieb}}{n_{Abtrieb}} \rightarrow i = \frac{6,5\text{min}^{-1}}{4,77\text{min}^{-1}} = 1,362 \quad (1.5)$$

Um den gewünschten Durchmesser zu finden muss man einen Durchmesser annehmen und den Anderen berechnen:

$$i = \frac{d_{Abtrieb}}{d_{Antrieb}} \rightarrow d_{Abtrieb} = i * d_{Antrieb} = 1,362 * 15\text{cm} = 20,4\text{cm} \quad (1.6)$$

Nun kann der Motor unter voller Netzfrequenz betrieben und seine gesamte Leistung genutzt werden.

1.6.4 Motor für Testaufbauten

Da das wirkliche Trägheitsmoment zu Beginn der Konstruktion noch nicht feststand, musste schon vorzeitig auf eine Motorart entschieden werden. In der Vorrecherche wurde bei schon bestehenden Anlagen immer ein Asynchronmotor gefunden. Deshalb fiel der Fokus schon vorab auf die Asynchronmotoren.

1.7 Frequenzumrichter

1.7.1 Allgemein

Der FU dient zur Steuerung des Asynchronmotors. Dieser regelt das Verhältnis zwischen Motorspannung und Frequenz, daher kann die Drehzahl je nach Last variieren. Der FU selbst überprüft prinzipiell nicht die Position des Rotors. Dies muss meistens mit einem anderen Gerät realisiert werden. Wenn man den Motor ohne Umrichter angeschlossen wird, würde der Motor mit einer einzigen festen Motordrehzahl drehen.

1.7.2 Aufbau Frequenzumrichter

Ein FU besteht vereinfacht aus folgenden Bestandteilen:

- Brückengleichrichter
- Gleichspannung zwischenkreis
- Wechselrichter

Der Gleichrichter wandelt eine Wechselspannung in eine Gleichspannung. Diese Gleichspannung wird im Gleichspannung zwischenkreis in Kondensatoren gespeichert. Diese Spannung wird dann vom Wechselrichter weiter verwendet und wieder in eine Wechselspannung umgewandelt.

1.7.3 Finden eines Frequenzumrichters

Wie auch beim Motor, muss der FU auf das System abgestimmt sein. In diesen Fall muss der FU auf den Getriebemotor angepasst werden. FU können durch folgende Daten ausgewählt werden:

- Bemessungsleistung
- Ausgangstrom
- Phasenzahl

Bezüglich Bemessungsleistung und Ausgangstrom, sollten die Daten vom Getriebemotor übernommen werden. Da der FU direkt mit dem Getriebemotor verbunden ist, kann man diese, aufgrund der geringen Verlustleistung, vernachlässigen. Aufgrund der Werte aus dem Kapitel 1.6.3.4 wurden folgende zwei FU gefunden:

Frequenzumrichter 1



Abbildung 1.9: SEW-MCLTEB0022-2A3-4-30

- Nennleistung: 2,2kW
- Nennstromspannung: 3x230V
- Ausgangsnennstrom: 10,5A
- Schutzart: IP66
- Preis: 626€

Frequenzumrichter 2



Abbildung 1.10: Siemens-6SL3210-5BE22-2CV0

- Nennleistung: 2,2kW
- Nennstromspannung: 3x230V
- Ausgangsnennstrom: 5,6A
- Schutzart: IP20
- Preis: 382,72€

Die genannten Frequenzumrichter erfüllen beide die Anforderungen, um den Motor ansteuern zu können. Aufgrund des niedrigeren Preises wird der Frequenzumrichter 2, von der Firma Siemens, gewählt.

1.7.4 Datenblatt Frequenzumrichter

Um den FU korrekt verwenden zu können und etwaige Komplikationen zu vermeiden, sollte man auf die Informationen beziehungsweise Anweisungen im Datenblatt des Herstellers beachten. In diesem lassen sich unter anderem auch folgende Kapitel finden:

- Sicherheitshinweise
- Mechanische Installation
- Elektrische Installation
- Inbetriebnahme
- Parameterliste

1.7.4.1 Datenblatt Inhalt

Sämtliche Informationen lassen sich aus dem Datenblatt entnehmen. Wie schon oben aufgezählt, geht es als erstes darum, sich mit dem FU vertraut zu machen. Im Kapitel, Sicherheitshinweise, werden etwaige Risiken und Betriebsinformationen hingewiesen. Im Kapitel, Mechanische Installation, wird festgelegt, wie der FU montiert werden soll. Das Kapitel, elektrische Installation, dient dazu, den FU richtig zu verkabeln und bittet eine kurze Übersicht für welche Funktion die jeweilige Klemme am Umrichter dient. Im Abschnitt, Inbetriebnahmen, lassen sich die grundlegenden Bedienungsschritte und die Konfiguration am FU finden. In der Parameterliste sind alle Parameter, die der FU kennt, detailliert aufgelistet.

1.7.4.2 Relevante Informationen

Der FU hat die Aufgabe den Motor der Pferdeführanlage zu steuern. In dieser Aufgabe enthalten sind folgende Anforderungen:

- Motor Ein- beziehungsweise Ausschalten
- Drehrichtung ändern
- Verschiedene Drehzahlen ermöglichen
- Fehlerbestätigung

Aufgrund dieser Vorgaben wurde ein Verbindungsmakro, im Datenblatt für den V20 von Siemens, gefunden. Ein Verbindungsmakro ist eine von Hersteller vorgegebene Variante, wie man den FU verwenden könnte. Sollte man kein geeignetes Verbindungsmakro finden oder keines verwenden wollen, muss man sich aus den einzelnen Parametern im Kapitel Parameterliste sein gewünschtes Programm selbst zusammenstoppeln.

Als erstes sollte man aber den Frequenzumrichter auf den Motor abstimmen. Die jeweiligen Parameter lassen sich aus dem Datenblatt entnehmen.

1.7.4.3 Verbindungsmaiko Cn002 - Regelung über die Klemmen

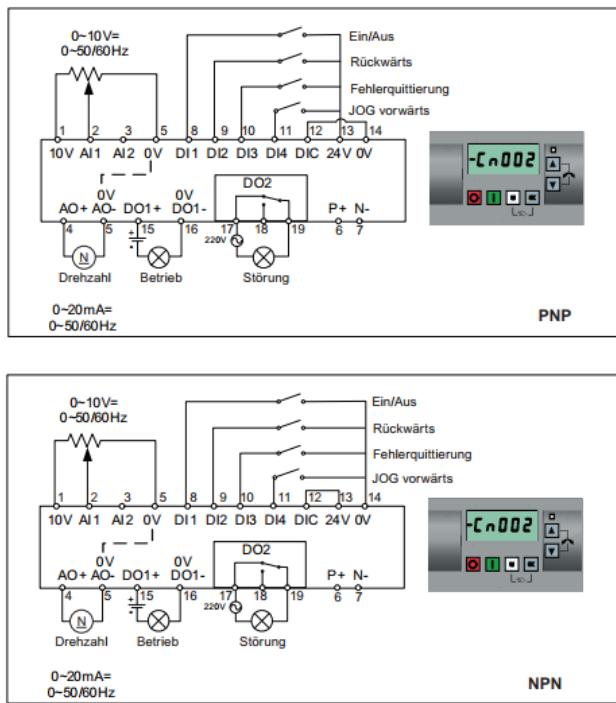


Abbildung 1.11: Beschaltung vom Verbindungsmaiko Cn002

Parameter	Beschreibung	Werkseinstellung	Standard für Cn002	Bemerkungen
P0700[0]	Auswahl der Befehlsquelle	1	2	Klemme als Befehlsquelle
P1000[0]	Auswahl der Frequenz	1	2	Analog als Drehzahlsollwert
P0701[0]	Funktion des Digitaleingangs 1	0	1	ON/OFF
P0702[0]	Funktion des Digitaleingangs 2	0	12	Rückwärts
P0703[0]	Funktion des Digitaleingangs 3	9	9	Fehlerquittierung
P0704[0]	Funktion des Digitaleingangs 4	15	10	TIPPEN vorwärts
P0771[0]	Cl: Analogausgang	21	21	Tatsächliche Frequenz
P0731[0]	Bl: Funktion des Digitalausgangs 1	52,3	52,2	Umrichter in Betrieb
P0732[0]	Bl: Funktion des Digitalausgangs 2	52,7	52,3	Umrichterfehler aktiv

Abbildung 1.12: Parameter für Verbindungsmaiko Cn002

Aus der Abbildung 1.11 kann man entnehmen, dass alle gewünschten Anforderungen aus dem Kapitel 1.7.4.2 erfüllt werden. Des weiteren sieht man darauf, wie die jeweiligen Ein- und Ausgänge verdrahtet werden müssen, um mit dem FU wie gewünscht arbeiten zu können. Man kann zwei verschiedene Varianten erkennen. Als erstes wird die PNP- und unterhalb die NPN-Variante gezeigt. Wenn man die PNP-Variante wählt wird die Bezugsklemme niedrig und sollte man die NPN-Variante wählen wird die Bezugsklemme hoch. Das heißt, der jeweilige digitale Eingang erkennt, wenn bei der PNP Variante ein 24V-Signal anliegt. In der Abbildung 1.12 werden die jeweiligen Parameter in einer Tabelle angezeigt. Wenn man auf dem Frequenzumrichter ein Verbindungsmaiko auswählt, sind diese Parameter bereits fertig vorgegeben. Wenn jemanden langweilig ist, könnte man die Parameter auch suchen und jeden Wert manuell zuordnen. Bei der Anlage wird

ein 24V-Signal bevorzugt, da bei einem Spannungsverlust die Anlage automatisch stehen bleiben würde.

Da nun ein Verbindungsmakro gefunden wurde benötigt man nun folgende Anzahl an Drähten, um mit dem FU kommunizieren zu können:

- 4x Eingang Digital
- 2x Eingang Analog
- 1x Gemeinsame Bezugsmasse

Sobald einer der digitalen ein Spannungssignal von 24V bekommt, wird die jeweilige Funktion ausgeführt.

Der Frequenzumrichter kann letztendlich nur konfiguriert werden. Die Steuerung und die Programmlogik wird von einem externen Gerät durchgeführt.

1.8 Pferderegen

Die Wasserversorgung soll dazu dienen, dem Pferd an heißen Sommertagen eine Erfrischung zu ermöglichen. Dafür wird ein Wasseranschluss benötigt. Es gäbe in erster Linie zwei Möglichkeiten, den Wasserfluss zu ermöglichen: Entweder man öffnet manuell einen Wasserhahn, welcher direkt bis zu den Sprühdüsen verbunden ist oder man setzt dazwischen ein Magnetventil ein, welches über die App gesteuert werden kann.

Prinzipiell ist es Geschmackssache wie man dies realisieren möchte. In beiden Fällen muss man irgendwo einen Wasserhahn beziehungsweise ein Hauptventil haben, um überhaupt Wasser fließen lassen zu können. Mit der Steuerung über die App wird es dem Benutzer ermöglicht, das Hauptventil dauerhaft geöffnet zu lassen. Nur im Winter sollten Vorkehrungsmaßnahmen, siehe 1.12.4, getroffen werden.

1.8.1 Ventil

Die Aufgabe des Ventils ist einfach: Startet der Benutzer in der App den Sprühregen, gibt das Ventil den Flussweg frei. Man spricht von einem sogenannten Sperrventil.

1.8.1.1 Arbeitsventil

Auf der Suche nach geeigneten Ventilen für die Bewässerung, ergaben die Suchen meist Ergebnisse für Gartenbewässerungssysteme. In diesen Bereich ganz stark vertreten ist das Unternehmen Gardena. Doch es wurde auch eine Alternative vom Unternehmen Rainbird gefunden.

Prinzipiell wollen beide Unternehmen, dass man auch das Steuerwerk vom jeweiligen Unternehmen kauft. Deshalb findet man kaum technische Datenblätter dazu und wenn ja, dann dienen diese meist nur der groben Übersicht. Bezüglich des Preises gibt es einen geringen Unterschied von nicht einmal 2 Euro. Bei den Ventilen von Pipelife konnte herausgefunden werden, dass es sich um ein 9V-Impulsventil handelt. Wie die Steuerung diesbezüglich aussieht, konnte nicht eruiert werden. Aufgrund dieser Informationen, fiel die Entscheidung auf das 9V-Impulsventil vom Unternehmen Pipelife.

1.8.1.2 Funktionstestung Ventil

Um zu überprüfen wie das Ventil wirklich funktioniert, wurde ein Testaufbau gemacht. Dabei wurde mit einem Netzgerät eine Spannung von 9V erzeugt. Damit das Ventil funktioniert, muss ein Wasserdruck vorhanden sein. Aus dem Test wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- 1.) Das Ventil benötigt zum Betätigen einen Strom von ungefähr 1,72A.
- 2.) Sobald ein positiver Stromimpuls kommt, öffnet sich das Ventil.
- 3.) Das Ventil schließt erst bei fallender Flanke des negativen Impulses.

Ventil 1



Abbildung 1.13: Gardena 1251-20

Ventil 2



Abbildung 1.14: BW-MV1-9V

- Betriebsspannung: 9V
- Art: ?
- Preis: 68,99€

- Spannung: 9V
- Art: Impulsventil
- Preis: 70€

1.8.2 Umpolung

Aufgrund der oben erworbenen Erkenntnisse, muss bei der Anlage ein Spannungswechsel erfolgen. Dies wird in der Regel mit einer sogenannten H-Brücke realisiert. Die vereinfachte Version lässt sich aus der Abbildung entnehmen.

1.8.2.1 Funktionsweise

Solange alle Transistoren nicht durchgeschaltet sind, befindet sich der Motor in Ruhezustand. Um das Ventil zu aktivieren, müssen Transistor 1 und Transistor 2 betätigt werden. Daraufhin bekommt das Magnetventil den benötigten Impuls um zu öffnen. Wenn man das Ventil wieder deaktivieren will, müssen die Transistoren 1 und 4 geöffnet werden und danach die Transistoren 2 und 3 geschlossen werden. Nach einer kurzen Verzögerung müssen die Transistoren 2 und 3 wieder geöffnet werden, um das Ventil wieder zu schließen.

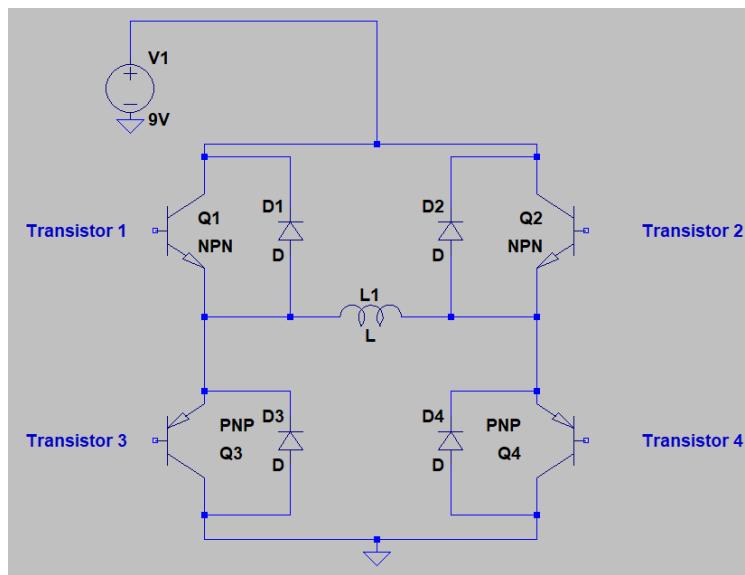


Abbildung 1.15: Vereinfachte H-Brücke

1.8.2.2 Motortreiber Auswahl

Auf der Suche nach einer Alternative beziehungsweise einer besseren Variante, wurde die Bausteine VNH2SP30 und der L298 gefunden. Dieser ist ein Motortreiber welcher die H-Brücke bereits integriert hat. Nun gibt es zwei Varianten die Ansteuerung zu realisieren:

Variante 1



Abbildung 1.16: Single-Chip-VNH2SP30

Variante 2



Abbildung 1.17: L298

- Fertige Beschaltung: Ja
- Preis: 2,31€

- Fertige Beschaltung: Nein
- Preis: 3,79€

Aufgrund der fertigen Beschaltung und den niedrigeren Preis, wird für die Steuerung des Ventils, der VNH2SP30 den L298 vorgezogen.

1.8.3 Motortreiber Ansteuerung

Der Motortreiber VNH2SP30 hat folgende Pinbelegung:

- Power Supply / Spannungsversorgung / 5V
- Ground / Masse / GND
- Enable for motor / Motorfreigabe / CS
- Clockwise / Im Uhrzeigersinn / INA
- Counterclockwise / Gegen den Uhrzeigersinn / INB
- PWM for motor / PWM-Signal für Motor / PMW

Nachfolgend befindet sich ein Beispiel, wie man das Ventil prinzipiell betätigen könnte.

```

1 void setup() {
2   pinMode(A0, OUTPUT); //enable 1 // Festlegen der Pinfunktion
3   pinMode(7, OUTPUT); //clockwise 1 // Festlegen der Pinfunktion
4   pinMode(8, OUTPUT); //counter clockwise 1 // Festlegen der
    Pinfunktion
5   pinMode(5, OUTPUT); //100% PWM 1 // Festlegen der Pinfunktion
6   digitalWrite(A0, HIGH); // enable
7 }
8 void loop() {
9   // Positiver Impuls
10  digitalWrite(7, HIGH); // clockwise
11  digitalWrite(8, LOW); // counter clockwise
12  digitalWrite(5, HIGH); // 100% PWM
13  delay(5000); // wait for a second
14  // Negativer Impuls
15  digitalWrite(7, LOW); // clockwise
16  digitalWrite(8, HIGH); // counter clockwise
17  digitalWrite(5, HIGH); // 100% PWM
18  // Flanke fallen lassen
19  digitalWrite(7, LOW); // clockwise
20  digitalWrite(8, LOW); // counter clockwise
21  digitalWrite(5, HIGH); // 100% PWM
22  delay(5000); // wait for a second
23 }
```

In diesen Programmablauf würde das Ventil ständig wechseln, zwischen den Zuständen offen und geschlossen. Das PWM-Signal wird mit 100 Prozent, da das Ventil nur geöffnet oder geschlossen

sein kann. Halb offen gibt es nicht. Die einfachste Variante ist, die Versorgungsspannung des Motortreibers direkt mit dem PWM-Pin zu verbinden.

Für die Realisierung in der Anlage gibt es zwei Möglichkeiten: ein Software- beziehungsweise ein Hardwareevent muss eintreten, damit das Ventil sich öffnen oder schließen soll. Da die Anlage über die App gesteuert werden soll, muss die Abfrage über Softwareevent erfolgen. Dies wird mittels Interrupt gelöst. Ein Interrupt ist eine Unterbrechung im Programm. Dieser beendet kurzzeitig das Programm, führt die Interrupt Service Routine (ISR), und setzt danach an der zuvor unterbrochenen Stelle fort.

In der ISR, bekommt eine globale Variable den jeweiligen gewünschten Zustand, ob die Pferdekühlung aktiviert werden soll oder nicht. Im Hauptprogramm wird die globale in der lokalen Variable geschrieben. Mittels einer Doppelverzweigung wird als erstes entschieden, ob das Ventil geöffnet werden soll. Die nächste Abfrage überprüft, wie lange der Sprühregen aktiviert ist. Sollte er längere Zeit aktiviert muss dieser automatisch deaktiviert werden, da das Wasser nicht mehr in der Erde versickern könnte.

1.8.4 Wasserversorgung

Um überhaupt die Anlage mit Wasser versorgen zu können, muss ein Wasseranschluss vorhanden sein. Von dort muss das Wasser zum Ventil zugeführt werden und anschließend aufgeteilt werden. Welchen Durchmesser der Wasseranschluss hat. Diese sind im Normalfall in Zoll angeben und haben entweder 1/2, 3/4 oder 1 Zoll. Um keinen hohen Druckverlust zu bekommen, wird ein Rohrsystem mit einem Innendurchmesser von 3/4 Zoll festgelegt. Das heißt sollte das System keine 3/4 Zoll haben, muss mit Verbindungssystemen umgewandelt werden. Es sollten so wenig Verbindungsstücke wie möglich verwendet werden, um unnötige Druckverluste zu vermeiden. Der idealste Fall wäre in diesen Fall ein 1 Zoll Anschluss.

1.8.4.1 PE-Rohr

Nach sorgfältiger Recherche wurde folgende PE-Rohre gefunden:



Abbildung 1.18: PE-Rohr

Diesen Schlauch gibt es von diesem Unternehmen in folgenden 3 Varianten:

- 1/2 Zoll // Preis: 0,70€ pro Meter
- 3/4 Zoll // Preis: 0,90€ pro Meter
- 1 Zoll // Preis: 1,20€ pro Meter

Diese erfüllen folgende Eigenschaften:

- Maximal Betriebsdruck: 12,5 bar
- Durchmesser: 1 Zoll
- Für Trinkwassergebrauch zugelassen
- Flexibel bei Verlegung
- 100 Jahre Lebensdauer

Je nachdem wie weit der Wasseranschluss von der Pferdeführanlage entfernt ist wird der Rohrweg größer.

1.8.4.2 Ventilübergang

Um den Schlauch mit dem Ventil zu verbinden, wird ein Übergangsstück benötigt, welches ein Gewinde mit dem Schlauchende verbinden soll. Dafür wurde folgende Verbindung gefunden:

Variante 1 (1 Zoll)



Variante 2 (3/4 Zoll)



Abbildung 1.19: Gardena Verbindungsstück

- Preis: 3,55 €
- Gewinde: 1 Zoll
- Schlauchdurchmesser: 1 Zoll

Abbildung 1.20: Gardena Übergang

- Preis: 4,89 €
- Gewinde: 1 Zoll
- Schlauchdurchmesser: 3/4 Zoll

Da nun der Anschluss des Ventiles ermöglicht wurde, muss nun die Versorgung für die Sprühdüsen erstellt werden.

Der Innenraumradius beträgt 8,75 Meter. Daraus ergibt sich ein Umfang von zirka 55 Meter. Es werden 8 Sprühdüsen, mit 45 Grad Abstand, aufgestellt.

Um nun aus einem Rohr acht zu machen, benötigt man Verteiler:

2-Weg Verteiler



Abbildung 1.21: 2-Weg-Verteiler

- Preis: 8,49€
- Eingangsgewinde: 1 Zoll
- Ausgänge: 2x 3/4 Zoll

4-Weg-Verteiler



Abbildung 1.22: 4-Weg-Verteiler

- Preis: 10,50€
- Eingangsgewinde: 3/4 Zoll
- Ausgänge: 4x 1/2 Zoll

Für die Realisierung benötigt man einen 2-Weg-Verteiler und zwei 4-Weg-Verteiler. Von dort kann man mit den 1/2-Zoll-Schläuchen bis zu den Sprühdüsen.

1.8.4.3 Sprühnebel Erzeugung

Nun da das Wasser beim Zaun angekommen ist, muss es durch einen speziellen Sprühkopf zerstäubt werden. Dies kennt man entweder als Zerstäuber oder Nebeldüse.

Abbildung 1.23: Sprühnebeldüse



Eigenschaften der Sprühnebeldüsen:

- Preis: 5,22€
- Stück: 10
- Betriebsdruck: ungefähr 1 bar

- Durchflussmenge: 0,7 m³/h
- Gewindeanschluss: 1/2 Zoll

Um diesen mit dem Schlauch zu verbinden, werden noch zwei weitere Zwischenstücke benötigt.

1/2-Zoll-Gewindevverbinder



Abbildung 1.24: 1/2-Zoll-Gewindevverbinder
Preis: 2,59 €

Schlauchstück



Abbildung 1.25: Schlauchstück
Preis: 1,65€

Der Gewindevverbinder wird mit der Nebeldüse verbunden und das Schlauchstück mit dem Schlauch. Beide werden anschließend zusammengeführt.

1.8.5 Rohrverlegung

Damit die Wasserrohre auch korrekt verlegt werden, muss das Verlegeblatt verwendet werden, welches sich unter dem Link ¹ finden lässt.

¹http://www.pipelife.at/at-de/_media/pdf/verlegeanleitung-infoblatt/wasser/verlege-pe-druck.pdf

1.9 Geschwindigkeitsmessung

Um die Drehgeschwindigkeit zu überprüfen, müssen die Umdrehungen überprüft werden. Nicht nur ob sich die Anlage überhaupt dreht, sondern auch wie lange. Dazu eignen sich sehr gut die sogenannten Drehgeber.

1.9.1 Drehgeber

Die Hauptaufgabe des Drehgebers bei unserer Anlage ist es, die Position und Lage des mechanischen Bereiches zu ermitteln. Aus diesen Informationen kann man sich unter anderem die Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Drehzeit ermitteln. Wo der Drehgeber positioniert wird hängt davon ab, was man mit welchem Ergebnis ermitteln möchte. Wie auch bei den meisten anderen Technologien, gibt es auch bei den Drehgebern verschiedene Technologiegruppen.

1.9.1.1 Inkrementalgeber

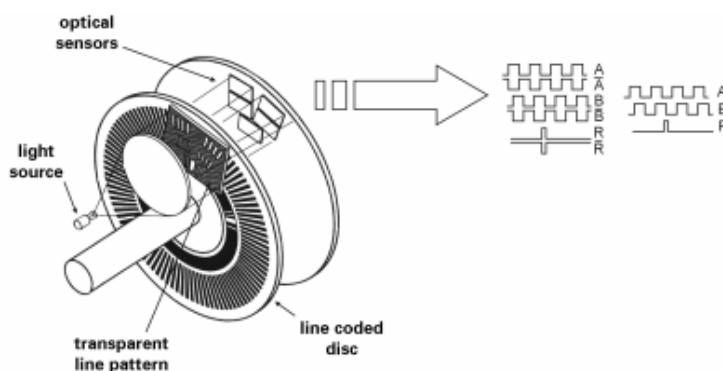


Abbildung 1.26: Aufbau Inkrementalgeber

Der Inkrementalgeber ist ein optisches Messinstrument. Der innere Aufbau des Inkrementalgebers kann aus der Abbildung 1.26 entnommen werden. Mit einem Inkrementalgeber kann man die Drehrichtung, eine Geschwindigkeitsmessung und eine Positionserfassung realisieren. Für die letzteren zwei wird eine zusätzliche Auswertung benötigt.

1.9.1.2 Absolutwertgeber

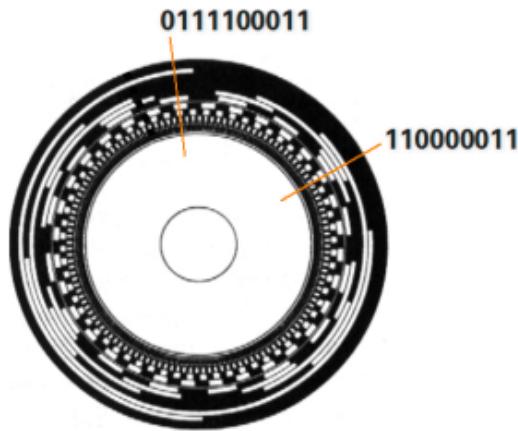


Abbildung 1.27: Aufbau Absolutwertgeber

Der Absolutwertgeber ermöglicht, dass man die Position direkt erkennen kann. Die Drehscheibe ist, wie man aus der Abbildung 1.27, in Bit codiert. Je nach Codeauswertung kann man ermitteln, in welcher Position sich das jeweilige System befindet. Bei einem neuen Systemstart, muss kein Referenzpunkt angefahren werden.

1.9.1.3 Resolver

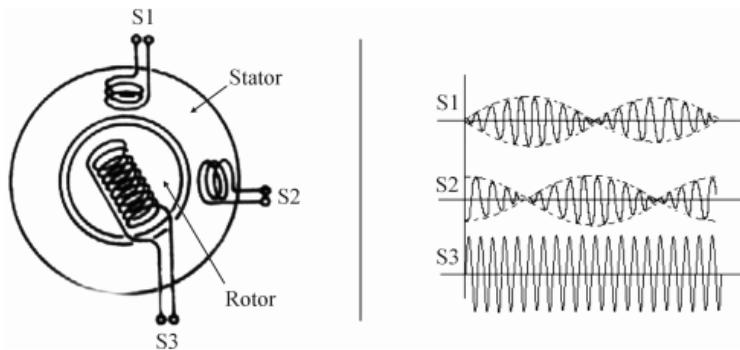


Abbildung 1.28: Signal Resolver

Die Spule 3 des Resolvers bekommt ein Sinussignal mit konstanter Frequenz. Wenn sich der Rotor nun dreht, bekommen die Spule 1 und 2 verschiedene Spannungssignale. Die Diagramme in der Abbildung 1.28 geben eine Übersicht, wie der Spannungsverlauf bei den zwei Spulen am Stator aussieht. Je nachdem wie stark das Sinussignal ist, kann eine Auswertelogik die Position ermitteln.

1.9.1.4 Auswahl Drehgeber

	Inkrementalgeber	Resolver	Absolutwertgeber
Robustheit	gering	hoch	gering
Referenzierung nötig?	Ja	Eventuell	Nein
Auswertezeit	gering	hoch	gering - mittel

Bei der Pferdeführanlage ist es nicht essentiell, dass sich der Drehgeber merkt, auf welcher Position sich die Anlage befindet. Deswegen scheidet der Absolutwertgeber aus. Als Sieger ging der Inkrementalgeber vom Platz. Im Bereich der Langlebigkeit würde der Resolver gewinnen, da aber eine schneller Erfassung der Position notwendig ist, muss auf den Inkrementalgeber zurückgegriffen werden.

Da ein Inkrementalgeber zum Aufbau verfügbar war, wurde mit diesem die Arbeit fortgesetzt.

Abbildung 1.29: US-Digital E4-300-091-D-D-D-B



1.9.1.5 AB-Inkrementalgeber Auswertung

Bei den in der Abbildung 1.29 befindlichen Inkrementalgeber, handelt es sich um einen einfachen AB-Inkrementalgeber ohne integrierter Referenzierung. Im Kapitel 1.9.1.1 wurde bereits ein kurzer Überblick gegeben, wie ein Inkrementalgeber aufgebaut ist. Die drehbare Glasscheibe ist mit einem digitalen Strichcode bedeckt. Durch diese erhalten die optischen Sensoren Lichtstrahlen. Durch das Wechseln des Lichtes erhält man ein Signal, welches anschließend in ein Rechtecksignal umgewandelt wird.

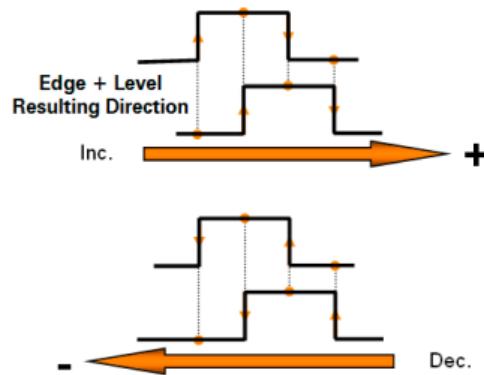


Abbildung 1.30: AB-Signal

Die Anschlüsse A und B haben die Aufgabe die Drehrichtung zu ermitteln. Je nachdem ob das A- oder B-Signal als erstes Positiv sind, dreht sich der Drehgeber im oder gegen den Uhrzeigersinn. Wenn man beobachtet, wie lang ein Signal auf Hoch ist, kann man daraus die Geschwindigkeit ermitteln. Beides muss mit einer dementsprechenden Auswertelogik passieren. Eine kostengünstige und einfache Variante bietet dabei ein Mikrocontroller.

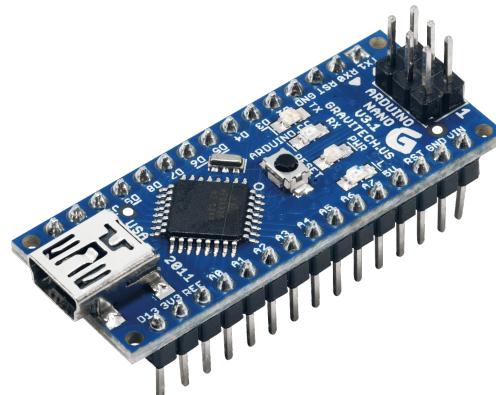


Abbildung 1.31: Arduino Nano

Der Inkrementalgeber wird direkt nach der letzten Riemscheibe angebracht, da der Drehgeber direkt die Drehzahl der Anlage überprüft. Der Arduino Nano ist ein Mikrocontroller, welcher bereits eine fertige Beschaltung hat. Er ist mit einem Atmega 328p ausgestattet. Der Arduino Nano kann direkt an einen PC angeschlossen werden und anschließend programmiert werden.

Um die Pferde in der Anlage platzieren zu können, muss zu Beginn die Anlage einen Referenzpunkt anfahren. Dieser ist so gewählt, dass das erste Pferd in den ersten Sektor platziert werden kann. Wenn man weitere Pferde in der Pferdeführanlage platzieren möchte, dreht sich die Anlage um eine Vierteldrehung weiter. Dies passiert solange bis sich alle Pferde in der Anlage befinden. Das gleiche passiert auch, wenn man die Pferde wieder von der Anlage entfernen will.

Das Programm am Arduino Nano muss nun die Signale vom Drehgeber einlesen und verarbeiten. Der Drehgeber muss mit seinen vier Anschlüssen mit dem Arduino Nano verbunden werden. Mittels Interrupt wartet der Mikrocontroller, bis er ein Signal vom Drehgeber bekommt. Jede Änderung der Flanken muss mit einem Timer überprüft werden und daraufhin mit einen Algorithmus umgewandelt werden. Das Abnahmerad hat einen Durchmesser von 12mm. Die Abfrage erfolgt mit 1440 Pulsen pro Umdrehung. Dadurch lässt sich der Umfang pro Puls berechnen.

$$Umfang = 12\text{mm} * \pi = 37,69\text{mm} \rightarrow s = \frac{Umfang}{1440} = 0,0262\text{mm} \rightarrow \varphi = \frac{s}{r} = \frac{0,262}{6} = 0,0044\text{rad} \quad (1.7)$$

Da man die Strecke hat kann man über die Zeit auf die Geschwindigkeit schließen. Sobald der Mikrocontroller eine Flanke erkennt, startet der Timer zu zählen. Sobald die Flanke fällt stoppt dieser wieder und die Zeit aus dem Timer wird verwendet um die Geschwindigkeit zu berechnen. Das ist aber nur die Geschwindigkeit am Drehgeber. Um die Geschwindigkeit des Pferdes zu ermitteln muss man den Drehwinkel über die Übersetzungen berechnen. Die Übersetzung vom Drehgeber auf die Riemscheibe beträgt 0,08 und von der Riemscheibe zum Drehzentrum 0,735. Daraus ergibt sich ein Gesamtübersetzungsverhältnis von 0,0588. Durch erneutes umformen erhält man letztendlich folgende Formel die im Mikrocontroller festgelegt werden muss:

$$v = \frac{\varphi * i * r_{Laufradius}}{Timerzeit[s]} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (1.8)$$

Aus diesen Wert kann man nun die gewünschten Werte ermitteln wie zum Beispiel die Gesamtstrecke oder die Beschleunigung der Anlage. Sollte der Mikrocontroller plötzlich keine Geschwindigkeit mehr feststellen, sendet dieser einen Fehler an die SPS.

1.10 Kommunikationsschnittstelle

Das Herz der Anlage ist die Kommunikationsschnittstelle. Diese sorgt dafür, dass die Informationen vom Raspberry-Pi richtig verarbeitet werden. Die Kommunikationsschnittstelle hat folgende Aufgaben:

- Datenaustausch mit Raspberry Pi
- Auswerten der Daten von Arduino Nano
- Steuern des FU
- Steuern des Ventiles

Für diese Aufgaben gibt es zwei Systeme die in Frage kommen:

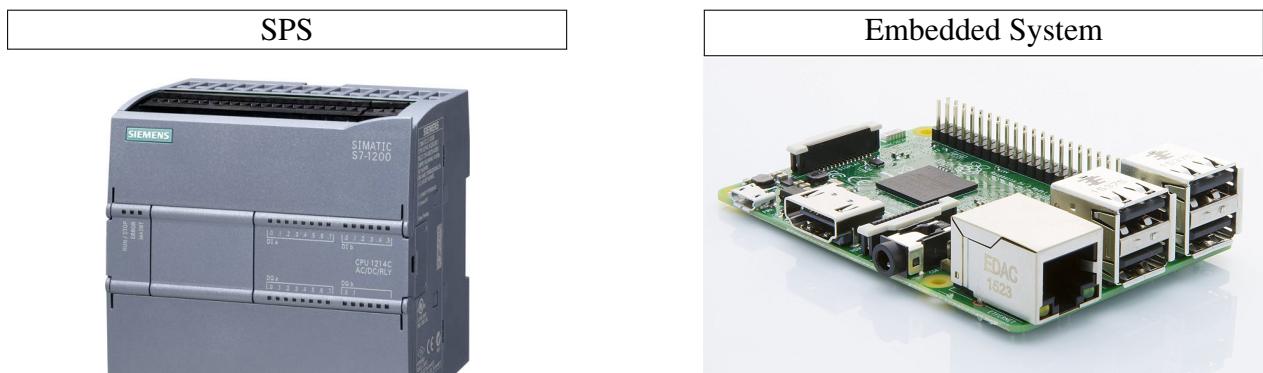


Abbildung 1.33: Raspberry Pi

Abbildung 1.32: Siemens SIMATIC-S7-1200

- Preis: 549,00€
- Digitale Eingänge: 14
- Digitale Ausgänge: 10
- Analoge Eingänge: 2
- Analoge Ausgänge: 6
- Spannungsversorgung: 230V

- Preis: 31,99€
- Digitale Eingänge/Ausgänge: 26
- Analoge Eingänge/Ausgänge: 0
- Spannungsversorgung: 5V

Wie bereits erwähnt sind beide Systeme für die benötigten Aufgaben denkbar. Für welchen man sich entscheidet ist wieder von dem gewünschten Aufbau abhängig. Die kompaktere All-in-one-Variante ist mit einer SPS gegeben. Bei einem Raspberry-Pi müsste man viele zusätzlich Komponenten suchen beziehungsweise entwickeln. Beispielsweise muss man, um die Analog-Geschwindigkeitsregel am FU vorzunehmen, einen Digital-Analog-Wandler benötigen. Die Vorteile des Raspberry-Pis trotz der vielen Zusatzkomponenten günstiger wäre und auch weniger Leistung benötigten würde,

als eine SPS. Die SPS glänzt vor allem durch ihren kompakten Aufbau. Des weiteren würde die SPS von Siemens direkt die digitale Spannung für den FU liefern. Für den weiteren Verlauf wird deswegen die SPS verwendet.

1.10.0.1 Steuerung des Frequenzumrichters

Um den Frequenzumrichter die jeweiligen Spannungsbefehle zu übergeben, welche im Kapitel 1.7.4.3 zu finden sind, müssen die jeweiligen Anschlüsse miteinander verbunden werden. An der SPS werden diese im Programm ausgewählt. Am FU

1.10.0.2 Kommunikation zu Raspberry

Um mit dem Raspberry Pi zu kommunizieren wird eine Ethernet-Verbindung gewählt. Die Kommunikation erfolgt über das Protokoll welches unter Kapitel (???) deklariert ist. Das Kommunikationsgerät bekommt dadurch die Informationen, ob der Sprühregen aktiviert werden soll oder nicht, wie hoch die maximale Drehgeschwindigkeit der Anlage ist, wie lange sich die Pferdeführanlage drehen soll, wie oft sie die Drehrichtung ändern soll und ob das Programm unterbrochen werden soll.

1.10.0.3 Kommunikation zu Arduino Nano

Die Kommunikation mit dem Arduino Nano erfolgt über Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART). Dadurch ist ein einfacher Kommunikationsaustausch möglich.

In der Kommunikation werden vom Arduino Nano übertragen: Drehgeschwindigkeit, Umdrehungen, Fehler.

Von der SPS wird geschickt, ob und in welche Richtung die Pferdeführanlage beschleunigt und ob sich die Anlage drehen soll.

1.10.1 Arbeitsdurchführung

Das Herzstück der Anlage ist die Steuerung für den Frequenzumrichter. Nachfolgend wird kurz der Ablauf des Programmes erklärt, um eine ungefähre Übersicht über die Steuerung zu bekommen. Zu Beginn wird überprüft, ob ein Fehler vom FU oder vom Arduino Nano aktiv ist. Erst wenn keine Fehler aktiv sind, wird eine Anfrage vom Server erlaubt. Nun wird eine Anfrage an den Server geschickt und überprüft, ob überhaupt eine Verbindung zum Raspberry Pi besteht. Solange keine Antwort vom Server geschickt wird beziehungsweise sobald keine Antwort mehr vom Server kommt, muss die Anlage sofort gestoppt werden. Wie im Kapitel 1.10.0.2 angesprochen, bekommt die Einheit Befehle die abgearbeitet werden müssen. Sollte in dieser Zeit ein Fehler auftreten, wird ein ERROR an den Server geschickt, damit dieser weiß, dass ein Fehler vorliegt.

Abarbeitung:

Wasser ein/aus: Sobald der Befehl "Wasser ein" kommt, muss die SPS die im Kapitel 1.8.3 angesprochenen Pins, vom Motortreiber ansteuern.

Trainingszeit, Drehrichtungsänderungen und Drehgeschwindigkeit: Die erste Aktion ist, dass ein Timer für die Trainingszeit gestartet wird. Sobald diese erreicht ist, wird die Anlage zum Stillstand gebracht. Die Zeit für die Drehrichtungsänderungen wird je nach Anzahl aufgeteilt. Zum Beispiel bei zehn Minuten Drehzeit, soll die Anlage 1 mal die Richtung wechseln. Dadurch wird nach 5 Minuten die Richtung geändert. Die Drehgeschwindigkeit wird auf dem entsprechenden Analogwert zugewiesen. Auf diesen soll die Anlage beschleunigen und den Wert halten. Die Überwachung erfolgt durch den Inkrementalgeber.

Halt oder Stopp: Es ist dem Benutzer jederzeit möglich ein Halt beziehungsweise ein Stopp der Anlage durchführen zu lassen. Stopp heißtt, dass der aktuelle Programmzyklus beendet wird. Bei Halt wird das Programm an der aktuellen Position angehalten und sobald der Benutzer die Anlage wieder starten möchte, macht die Anlage bei dort weiter wo sie aufgehört hat.

1.11 Gesamtsteuerung

Das Blockschaltbild und der Schaltplan befinden sich im Anhang B. Der elektrische Arbeitsteil muss nahe dem Zentrum der Anlage platziert werden. Für diesen ist ein Schacht vorgesehen. Dieser ist als versenkbarer Schaltschrank zu realisieren, welcher Witterungsfest ist. Folgende Bauteile werden auf Hutschienen im Schacht platziert: FU, Kommunikationsgerät, Arduino Nano, Motor- treiber.1.11.1

1.11.1 Kostenübersicht

In der Kostenübersicht fehlen: Kabel für sämtliche Verbindungen.

Bauteil	Stückanzahl	Einzelpreis	Gesamtpreis
Getriebemotor	1	3300€	3300€
FU	1	382,72€	382,72€
SIMATICS S7	1	549,00€	549,00€
Motortreiber	1	2,31€	2,31€
Magnetventil	1	70,00€	70,00€
Schlauch 3/4-Zoll	50 Meter	0,90€	45,00€
2-Weg-Verteiler	1	8,49€	8,49€
4-Weg-Verteiler	2	10,50€	21,00€
Sprühnebeldüse	8	0,53€	4,24€
Gardenaübergang	1	4,89€	4,89€
Schlauchstück	16	1,65€	26,40€
Gewindevverbinder	8	2,59€	20,72€
Schlauch 1/2 Zoll	64 Meter	0,70€	44,80€
Inkrementalgeber	1	24,62€	24,62€
Gesamtstück	44 Stk	-	-
Gesamtpreis	-	-	4096,85€

1.12 Sicherheit der Pferde und Anlage

1.12.1 Allgemeine Sicherheitsfragen

Um die Anlage bei Tieren aktivieren zu können, muss man auch eine Basissicherheit gewährleisten. Diesen Bereich darf man nicht vernachlässigen.

In Folgenden Abschnitt kann in manchen Fällen nicht zwischen Besitzer oder Eigentümer Rücksicht genommen werden, da es beide Fälle in der Praxis geben kann. Deshalb bleibt primär der Eigentümer für die Wartungen und den Anlagenschutz haftbar. Sollte der Eigentümer die Anlage in der Regel nicht verwenden, kann er die jeweiligen Wartungs— und Sicherheitsaufgaben auf den Besitzer übertragen. Dieses muss aber in schriftlicher Form erfolgen. In diesen Fall muss der Besitzer im nachfolgenden Kontext die Aufgaben des Eigentümers erfüllen.

Bei unserer Pferdeführanlage können folgende Fehler bewusst auftreten:

- Was passiert, wenn ein Pferd hinfällt?
- Was passiert wenn ein Pferd stur stehen bleibt?
- Was passiert wenn das Pferd die Anlage anschieben will (schneller ist)?
- Was passiert wenn die Anlage nicht arbeitet wie gewünscht?
- Welche Vorkehrungen gibt es im Bereich Blitzschutz?

1.12.2 Tierschutzgesetz und Anlagenschutz

Gemäß §5 Abs. 1 Tierschutzgesetz ist es verboten, einem Tier ungerechtfertigt Schmerzen, Leiden oder Schäden zuzufügen oder es in schwere Angst zu versetzen. Unter §5 Abs. 2 Satz 3 lit. b wird nochmals extra darauf hingewiesen, dass keine technischen Geräte verwendet werden, welche das Verhalten eines Tieres durch Härte oder durch Strafreize zu beeinflussen.

Somit darf man dem Ross mit unserer Anlage, keine kleinen Denkimpulse geben, wenn es stur stehen bleibt. Wenn das Reitvieh stehen bleibt, darf ihm und der Anlage selbst nichts passieren. Die einfachste und sicherste Lösung ist, die Anlage zu stoppen. Wenn die Anlage weiter fahren möchte, könnten ungewollte Momente auftreten und somit mechanische Schäden in der Anlage verursachen.

Folgende Vorkehrungen wurden auf der elektrischen Seite zum beidseitigem Schutz getroffen:

Sobald die Auswertung des Sensors merkt, dass die Anlage unfreiwillig stehen bleibt, schaltet die Anlage automatisch ab. Daraufhin muss der jeweilige Eigentümer überprüfen, ob es ein technischer Fehler oder ein Problem beim Pferd vorliegt, bevor er diese wieder in Betrieb nimmt. Die Gitter, hinter beziehungsweise vor dem Pferd, werden zum Schutz des Tieres nicht elektrisch verbunden. Welcher Zaun neben den Gitter gebaut wird, bleibt dem Eigentümer selbst überlassen.

Sollte man einen Elektrozaun beziehungsweise doch Strom durch die Gitter schicken, werden die Pferde in der Anfangsphase leicht gestresst sein. Sobald sie sich daran gewöhnt haben, funktioniert

er wie ein normaler Zaun und die Pferde wissen, dass sie diesen nicht berühren sollten. Bei den Gittern mit Strom würden die Pferde sogar mehr geschützt werden, wenn sie mit Strom durchflossen werden. Grund dafür ist, dass sich die Pferde an den Stangen Verletzungen zu ziehen könnten, als mit kurzen Stromimpulsen. In Österreich ist dies aber nicht gesetzeskonform.

1.12.3 Blitzschutz

Da unsere Pferdeführanlage im Freien steht, darf man auch den Fall eines Blitzeinschlags nicht vernachlässigen. Die Durchschnittsanzahl von Blitzen in Österreich wird mit zirka 5 Blitzen pro 1km^2 in einem Jahr geschätzt. Die Anlage darf nicht in Betrieb genommen werden, wenn der Betreiber bemerkt, dass es in wenigen Minuten ein Gewitter geben könnte. Sollte die Anlage während eines Gewitters in Betrieb genommen werden, gibt es ein erhöhtes Risiko für die Pferde und der Anlage selbst. Die Haftung liegt in diesem Fall bei der Person, die die Anlage in dieser Zeit in Betrieb nimmt. Des weiteren muss die Anlage geerdet werden.

1.12.4 Winterschutz

Die Zeit, in der Winterschutz unserer Pferdeführanlage in Kraft tritt, ist die gleiche wie die Winterreifpflicht in Österreich. Das heißt vom 1. November bis 15. April muss die Anlage winterfest gemacht sein.

In folgenden Bereichen muss ein Winterschutz vorgenommen werden:

Boden: Den Untergrund wo sich die Pferde bewegen muss der Eigentümer selbst wählen. Bei Temperaturen unter 6 Grad Celsius, darf der Sprühregen nicht mehr aktiviert werden. Nachdem das Wasser gefroren ist kann das Reitvieh am glatten Boden ausrutschen und gleichzeitig könnte es zu Komplikationen der Pferdeführanlage selbst kommen. Hierfür ist die jeweilige Person haftbar, die das Drehsystem in Betrieb genommen hat.

Wasserrohre: Um ein langes Leben der Wasserrohre gewährleisten zu können, muss der jeweilige Eigentümer vor den jährlich wiederkehrenden Kälteperioden das Wasser aus den Rohren entfernen. Eine der gängigsten Methoden ist es, das Wasser in den Wasserleitungen durch ein kleines Entwässerungsventil zu entleeren. Das elektromagnetische Ventil muss manuell geöffnet werden, damit das Wasser zu rinnen beginnt. Wäre das Ventil geschlossen, könnte das Wasser nicht fließen, da ein Unterdruck in der Leitung erzeugt werden würde. Mittels Druckluft kann auch das restliche Wasser ausgeblasen werden. Somit sind die Wasserrohre für den Winter gerüstet.

1.12.5 Not-Stop/ Not-Halt

Bei einem Not-Stop wird die gesamte Anlage spannungsfrei gemacht. Das heißt, keines der elektrischen Bauteile hat mehr eine Spannung zu Verfügung. Bei einem Not-Halt hingegen wird nur

das nötigste bei der Anlage angehalten, damit keine unvorhergesehenen Systemstörungen entstehen. Beides sollte bei der Pferdeführanlage angebracht sein. Egal bei welchen Fall, muss das Programm wieder von neu gestartet werden, damit keine Komplikationen auftreten, zum Beispiel: Die Steuereinheit gibt noch den Befehl, dass die Anlage mit höchsten Tempo fahren soll.

1.12.6 Pferdesicherheit

Prinzipiell ist es schwer möglich zu ermitteln, ob ein Pferd stehen geblieben oder gestürzt ist. Das Grundgerüst der Anlage sieht ein klappbares Tor vor. Sobald dieses aufklappt könnte ein Sensor auslösen, daraufhin die Anlage sofort zum Stillstand bringt. Eine Schwierigkeit dabei ist, dass die Spannungsversorgung des Sensors auf einen drehbaren Gestell ist. Dies wäre prinzipiell möglich, bringt aber mehrere Verschleißteile mit sich. Diese sind meistens nicht sehr preiswert. Sobald der Schleifkontakt in der Deswegen musste eine andere Variante gefunden werden.

Der folgende Grundgedanke kam erst sehr spät und konnte deswegen nicht mehr in der Konstruktion berücksichtigt werden. Dieser müsste in weiteren Verlauf bei der Konstruktion neu bearbeitet werden:

Jedes der Treibgitter bekommt einen Sicherheitsbolzen. Dieser reißt ab, sobald eine die Gegenkraft vom Pferd auf das Gitter einwirkt. Des weiteren muss der Keilriemen so dimensioniert werden, dass keine Drehübertragung auf die Anlage mehr möglich ist. Anders gesagt: Er rutscht durch. Der Drehgeber müsste in diesen Fall bei der Riemscheibe befestigt werden, welche mit der Anlage verbunden ist. Die Auswertung des Inkrementalgebers müsste dementsprechend angepasst werden. Da die Anzahl der Pulse im Inkrementalgeber sehr hoch ist, würde dieser eine sofortige Geschwindigkeitsänderung bemerken. Sobald dieser Fall festgestellt wurde, gibt dieser das Signal, die Anlage sofort zu stoppen.

Welche Variante auf Dauer kostengünstiger wäre, müsste durch Risikoabschätzungen und Lebensdauerrechnungen analysiert werden.

1.13 Diskussion

1.13.1 Verbesserungsvorschläge

1.13.1.1 Motor

Als ersten Hauptpunkt wäre eine andere Antriebsart zu wählen. Ein Getriebemotor dieser Dimension ist unüblich und daher unbrauchbar. Sogar die Kosten von 3300 Euro sind nicht Sinn und Sache der Arbeit. In diesen Bereich muss weiter nach Alternativen gesucht werden.

1.13.1.2 Raspberry Pi für Kommunikation

Der zweite Punkt ist die Kommunikationsschnittstelle. Wie schon im Kapitel 1.10 erwähnt ist der günstigere Weg für die Kommunikation, die Verwendung von einem Raspberry Pi. Mit zusätzlichen Komponenten könnten die benötigten Spannung und analog Signale erzeugt werden. Nicht nur den Anschaffungspreis ist günstiger, sondern auch die Betriebskosten. Zusätzliche würden nur die Kosten für die Zusatzelektronik aufkommen.

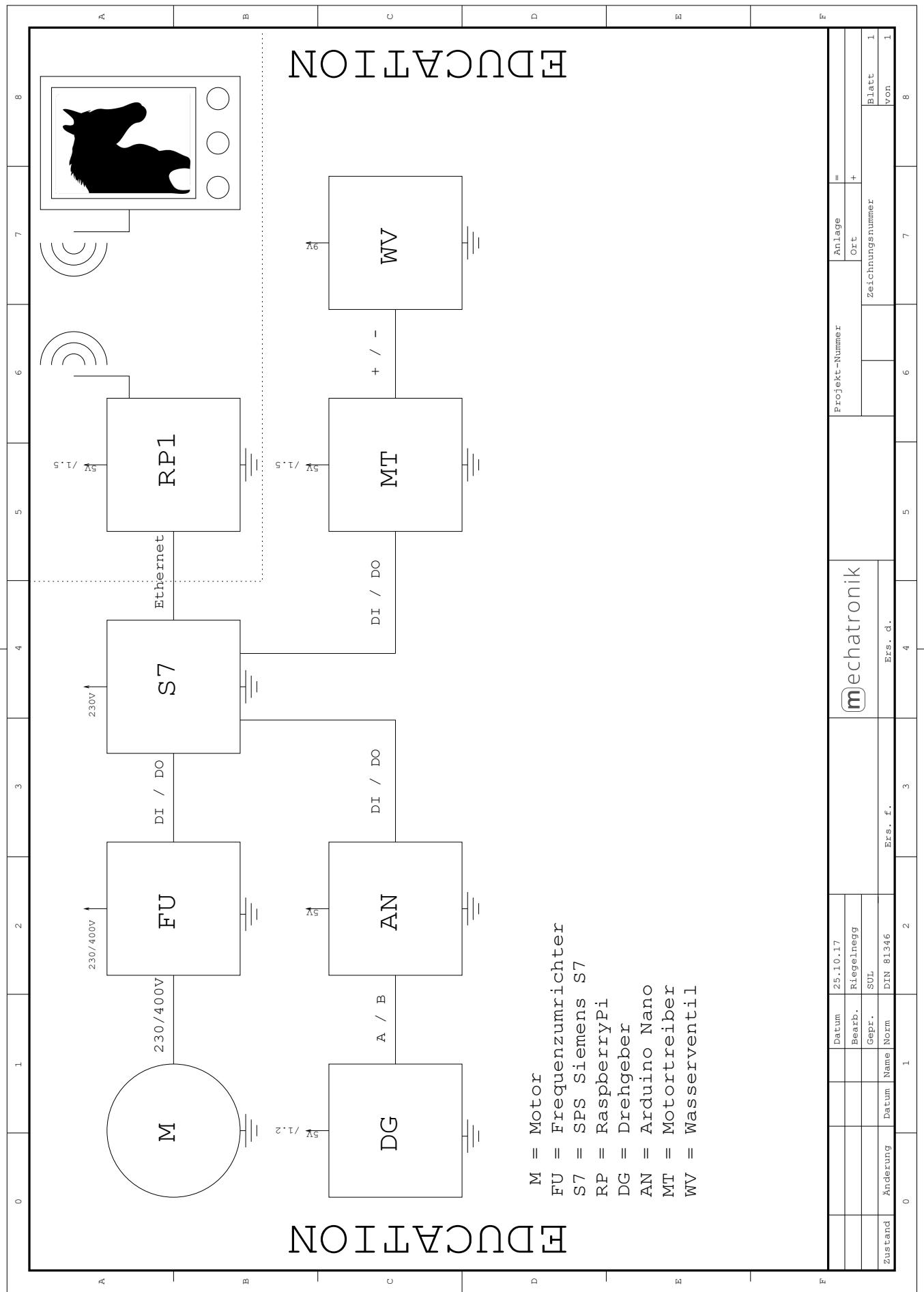
1.13.2 Persönliche Rückschlüsse

Mit wenig Erfahrung und Leichtsinnigkeit wurde die Arbeit gestartet. Im Laufe der Zeit drehten sich die Ansichten und man kam zu der Erkenntnis, dass die Diplomarbeit doch nicht aus leichter Hand durchführen lässt. Die Hauptpunkte sind prinzipiell schnell und einfach abgearbeitet und angesprochen. Doch hinter diesen Punkten häufen sich die kleinen Arbeiten und Herausforderungen. Step-by-Step wurden diese angenommen, doch letztendlich ist die wirkliche Realisierung des Projektes noch ein schönes Stück entfernt. Dennoch konnte der Wissenstand in den Bereich der Antriebstechnik und deren Komponenten erhöht werden. Letztendlich bleibt nur noch zu sagen, dass man erfahreneren Leute doch den nötigen Glauben schenken sollte um etwaige Komplikationen zu vermeiden.

Anhang

A Zeitaufzeichnung

B Persönlicher Anhang 1



C Literaturverzeichnis

- [1] Bernecker und Rainer. *Übersicht Antriebstechnik*, November 2016.

D Abkürzungsverzeichnis

FU Frequenzumrichter	1
ISR Interrupt Service Routine	22
UART Universal Asynchronous Receiver and Transmitter	32

E Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufbau Antriebstechnik	4
1.2	Link-Hand-Regel	5
1.3	Aufbau Gleichstrommaschine	6
1.4	Aufbau Drehfeldmaschine	6
1.5	Tabelle Übersicht Elektromotor	8
1.6	SEW-Motor	10
1.7	Siemens-Motor	10
1.8	SEW-Getriebemotor	11
1.9	SEW-MCLTEB0022-2A3-4-30	14
1.10	Siemens-6SL3210-5BE22-2CV0	14
1.11	Beschaltung vom Verbindungsmaestro Cn002	16
1.12	Parameter für Verbindungsmaestro Cn002	16
1.13	Gardena 1251-20	19
1.14	BW-MV1-9V	19
1.15	Vereinfachte H-Brücke	20
1.16	Single-Chip-VNH2SP30	20
1.17	L298	20
1.18	PE-Rohr	22
1.19	Gardena Verbindungsstück	23
1.20	Gardena Übergang	23
1.21	2-Weg-Verteiler	24
1.22	4-Weg-Verteiler	24
1.23	Sprühnebeldüse	24
1.24	1/2-Zoll-Gewindeverbinder	25
1.25	Schlauchstück	25
1.26	Aufbau Inkrementalgeber	26
1.27	Aufbau Absolutwertgeber	27
1.28	Signal Resolver	27
1.29	US-Digital E4-300-091-D-D-B	28
1.30	AB-Signal	29
1.31	Arduino Nano	29
1.32	Siemens SIMATIC-S7-1200	31
1.33	Raspberry Pi	31

F Tabellenverzeichnis

G Listings