

PREN 1, TEAM 32

Yves Studer
Thomas Wiss
Livio Kunz
Niklaus Manser
Matteo Trachsel
Güdel Manuel
Pascal Roth

Dokumentation

Hochschule Luzern - Technik & Architektur
PREN 1

Horw, Hochschule Luzern - T&A, 10. Dezember 2014

PREN 1, TEAM 32

Yves Studer
Dorfstrasse 28
6264 Pfaffnau
+41 79 705 48 88
yves.studer@stud.hslu.ch

Thomas Wiss
Bachhüsliweg 4a
6042 Dietwil
+41 79 604 93 61
thomas.wiss@stud.hslu.ch

Livio Kunz
Hubelmatt 7
6206 Neuenkirch
+41 79 811 53 03
livio.kunz@stud.hslu.ch

Niklaus Manser
Brunnmattstrasse 11
6010 Kriens
+41 77 405 58 56
niklaus.manser@stud.hslu.ch

Matteo Trachsel
Ogimatte 7
3713 Reichenbach
+41 79 511 57 88
matteo.trachsel@stud.hslu.ch

Manuel Güdel
Riedtalstrasse 4
4800 Zofingen
+41 79 774 41 40
manuel.guedel@stud.hslu.ch

Pascal Roth
Dorfstrasse 18
6275 Ballwil
+41 79 717 68 94
pascal.roth@stud.hslu.ch

Dokumentation

Dozent: Markus Thalmann

Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Interdisziplinäre Projektarbeit 2014

Horw, Hochschule Luzern - T&A, 10. Dezember 2014

Management Summary

Blabla blabla

Inhalt

Management Summary	1
Abstract	4
1 Einleitung	5
2 Verschiedene Varianten	6
3 Lösungskonzept	7
3.1 Funktionsbeschreibung	7
3.2 Geräteübersicht	8
3.2.1 Startgerät	8
3.2.2 Smartphone als Master	8
3.2.3 Controller	9
3.2.4 Grundaufbau Mechanik	10
3.2.5 Stelleinheit	10
3.2.6 Förderband	10
3.2.7 Schwungräder	10
3.3 Versorgungskonzept	10
3.4 Hardware	10
3.5 Software-Architektur	11
3.5.1 Systemübersicht	11
3.5.2 Komponenten-Spezifikation	11
3.5.3 Schnittstellen-Spezifikation	11
3.5.4 Funktionale Sicht	12
4 Tests	12
4.1 Zylinder-Test	12
4.2 Schwungrad-Test	12
4.3 Drehzahl-Test	12
4.4 Brushless-Motor-Test	13
4.5 Brushless Motoransteuerung	13
4.5.1 Theorie der Ansteuerung	13
4.5.2 Neuer Ansatz	14
4.5.3 Aufbaubeschreibung	15
4.5.4 Messmittel	15
4.6 Fallback	16
4.6.1 Konzeptbeschreibung	17
4.7 Encoder & Drehzahlgeber	17
4.7.1 Magnetischer Drehzahlgeber	18
4.8 Acrylglas-Test	19
5 Projektplanung /-Management	20
5.1 Kosten	20
5.2 Zeit	21
6 Schlussdiskussion	24
6.1 Rückblick	24
6.2 Ausblick	24

Literatur- und Quellenverzeichnis	25
A Anhang	I
A.1 Berechnung	I

Abstract

Abstract blablabla

1 Einleitung

Im heutigen Arbeitsumfeld ist es unerlässlich, dass man in der Lage ist in einem Team, das meist aus mehreren Spezialisten verschiedener Fachgebiete zusammengesetzt ist, zu arbeiten. An diesem Punkt setzt die Hochschule Luzern Technik & Architektur mit dem Modul „Produktentwicklung“ (PREN) an. Das Ziel dieses Moduls ist, anhand einer Aufgabenstellung einen Entwicklungsprozess durchzuführen und in einem interdisziplinären Team eine Lösung zu erarbeiten und umzusetzen. Die Teams bestehen aus Studierenden aus den Studiengängen Elektrotechnik, Informatik und Maschinenbau. Dieses Modul ist in zwei Teile aufgeteilt und erstreckt sich über zwei Semester. Im PREN 1 wird anhand der Aufgabenstellung ein Lösungskonzept entwickelt und erarbeitet. Dieses Konzept wird im anschließenden Semester im PREN 2 umgesetzt.

Im diesem Rahmen erhalten interdisziplinäre Teams die Aufgabe, einen autonomen Ballwerfer zu erarbeiten. Das Ziel besteht darin, möglichst alle der fünf Tennisbälle, in möglichst kurzer Zeit, in einen Korb zu befördern. Als weiteres Bewertungskriterium gilt das Gewicht des Produkts, welches ab zwei Kilogramm ein stufenweiser Punkteabzug zur Folge hat. Der Korb befindet sich in einem Spielfeld - welches seitlich und in der Höhe begrenzt ist - am hinteren Ende an einer Wand und ist horizontal verschiebbar. Die endgültige Position des Korbes wird kurz vor der Abgabe des Startsignals durch einen Dozent festgelegt, und ist somit nicht bekannt. Die Übermittlung des Startsignals muss drahtlos erfolgen, nach Ausführen der Aufgabe, muss das Endsignal akustisch oder optisch erzeugt werden.

Das Ziel der Arbeit ist, die Aufgabenstellung erfolgreich in einem Apparat umzusetzen. Dabei hat sich unser Team eigene Ziele gesetzt und gewichtet. Diese sind:

1. Treffgenauigkeit
2. Geschwindigkeit
3. Gewicht

2 Verschiedene Varianten

Um Eckpfeiler für die zu Beginn des Projekts benötigten Recherchen zu erhalten, musste das Problem grob in seine Einzelteile zerlegt werden. Die Aufteilung erfolgte in den Bereich der Kommunikation zwischen elektronischen Geräten, Möglichkeiten zur Objekterkennung und Objektverfolgung, diverse Flugobjekte und Fahrtriebe, Arten eines Drehmechanismus und Wurfmechanismus sowie das Versorgungskonzept. Nach der Recherche folgte als nächster Schritt das Erstellen einer Funktionsskizze, um daraus die einzelnen Teilprobleme zu eruieren. Auf Grundlage der Recherche konnte zu jedem Teilproblem eine

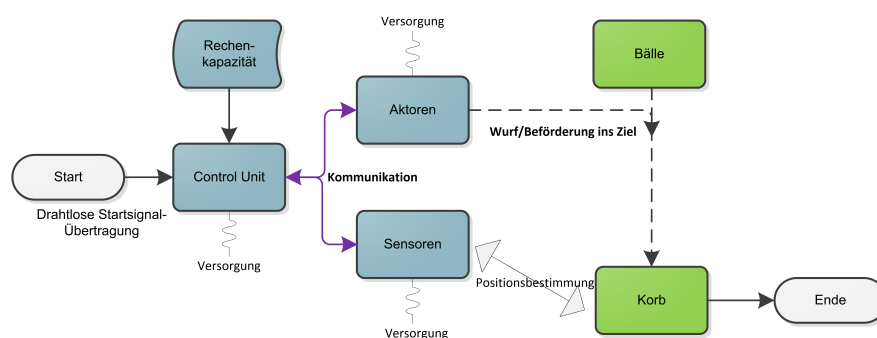


Abb. 1: Funktionsskizze

Anzahl Lösungsansätze genannt werden. In einem nächsten Schritt erfolgte die Beurteilung jedes einzelnen Lösungsansatzes mittels möglichst einheitlichen Bewertungskriterien. Jedem Lösungsansatz ist schlussendlich eine Prozentzahl zugeordnet, in wie fern die Lösung die Höchstanforderung des jeweiligen Teilproblems erfüllt. Um diese Werte sinnvoll als Entscheidungshilfe einsetzen zu können, führt man alle Teilprobleme, unterteilt in die möglichen Lösungsansätze, in einem Dokument (Grobkonzept) zusammen.

Das Grobkonzept erlaubt es grafisch verschiedene Kombinationsmöglichkeiten aufzuzeigen. Um möglichst vielen differenzierten Ansätzen Rechnung zu tragen, wurden vier Varianten während einer Diskussionsrunde festgelegt.

!!!! Achtung: wenn Grobkonzept mit Bild im Text, Variantennummern in Farben umbenennen. !!!!

Eine Variante ist die Kombination aller Lösungsansätze mit der höchsten Prozentzahl. Eine zweite Variante basiert auf der Idee, die Bälle in eine Kugel einzuschliessen, das Gerät parallel zur Spielfeldwand zu verschieben und den Kübel mit einer Smartphone-Kamera zu erkennen. Der Ballwerfer soll durch einen Akkumulator mit Energie versorgt werden. Die dritte Variante hat als Ausgangspunkt die Bälle in einem Drehkranz und befördert diese einzeln in den Korb, die restlichen Kriterien werden Kongruent zur zweiten Variante ausgeführt. In der vierten Variante befördert der Ballwerfer die Bälle aus der Startposition in bogenförmiger Kurve in den Korb. Die Ausgabe der Bälle erfolgt einzeln, die übrigen Teilprobleme verwenden wiederum, Kongruent zur zweiten Variante, eine Smartphone-Kamera zur Korberkennung und ein Akkumulator als Energieversorgung.

Die Entscheidung fiel auf die vierte Variante, diese bietet als gesamtes Konzept die erfolgversprechendste und effizienteste Lösung, bezüglich der in der Team-Charta oder Zielsetzung // Verweis definierten Ziele.

Nach der Entscheidung für eine Variante folgt die Detaillierung dieses Konzeptes in ein Feinkonzept. Die ursprünglich sieben Teilprobleme wurden in 19 Subteilprobleme aufgesplittet. Zu jedem Subteilproblemen existieren wiederum Lösungsvarianten, im Unterschied zum Grobkonzept erfolgt die Bewertung nicht mit Prozentzahlen, die Lösungsvarianten werden miteinander verglichen und nach aktuellem Wissenstand eine oder eventuell auch mehrere Lösungsvarianten ausgewählt.

3 Lösungskonzept

Der Hauptteil der Arbeit umfasst die Konzeption, diverse Funktionsmuster und grundlegende Berechnungen für den autonomen Ballwerfer „Flywheel“.

3.1 Funktionsbeschreibung

Der Ballwerfer befindet sich in der Ausgangsposition in der Startfeldmitte. Nach einer drahtlosen Übermittlung des Startsignals beginnt das Smartphone auf dem Ballwerfer mit der Korberkennung. Zeitgleich werden die Schwungräder auf ihre Nenndrehzahl beschleunigt. Durch die Auswertung des fotografierten Bildes wird die Position des Korbes ermittelt und aus dieser ein Winkel für die Justierung der Abwurfseinheit des Ballwerfers berechnet. Nach der Übermittlung des Winkels an den Controller richtet der Stellantrieb die Abwurfseinheit in die gewünschte Wurfposition aus. Ein Förderband befördert anschliessend die Bälle zu den Schwungrädern, wo diese auf ihre Abwurfgeschwindigkeit beschleunigt werden. Die Bälle verlassen nacheinander das Gerät und fliegen in einer Wurfparabel direkt in den Korb. Sobald sich alle Bälle im Korb befinden (zeitabhängig), wird das akustische Endsignal auf dem Smartphone ausgegeben. Die Grafik stellt den schematischen Ablauf der oben erwähnten Funktionen dar. Einige Teilschritte des Ablaufes, wie zum Beispiel das Beschleunigen der Schwungräder werden je nach zeitlicher Dauer oder möglich auftretenden Störungen (in Form von Vibrationen) verschoben.

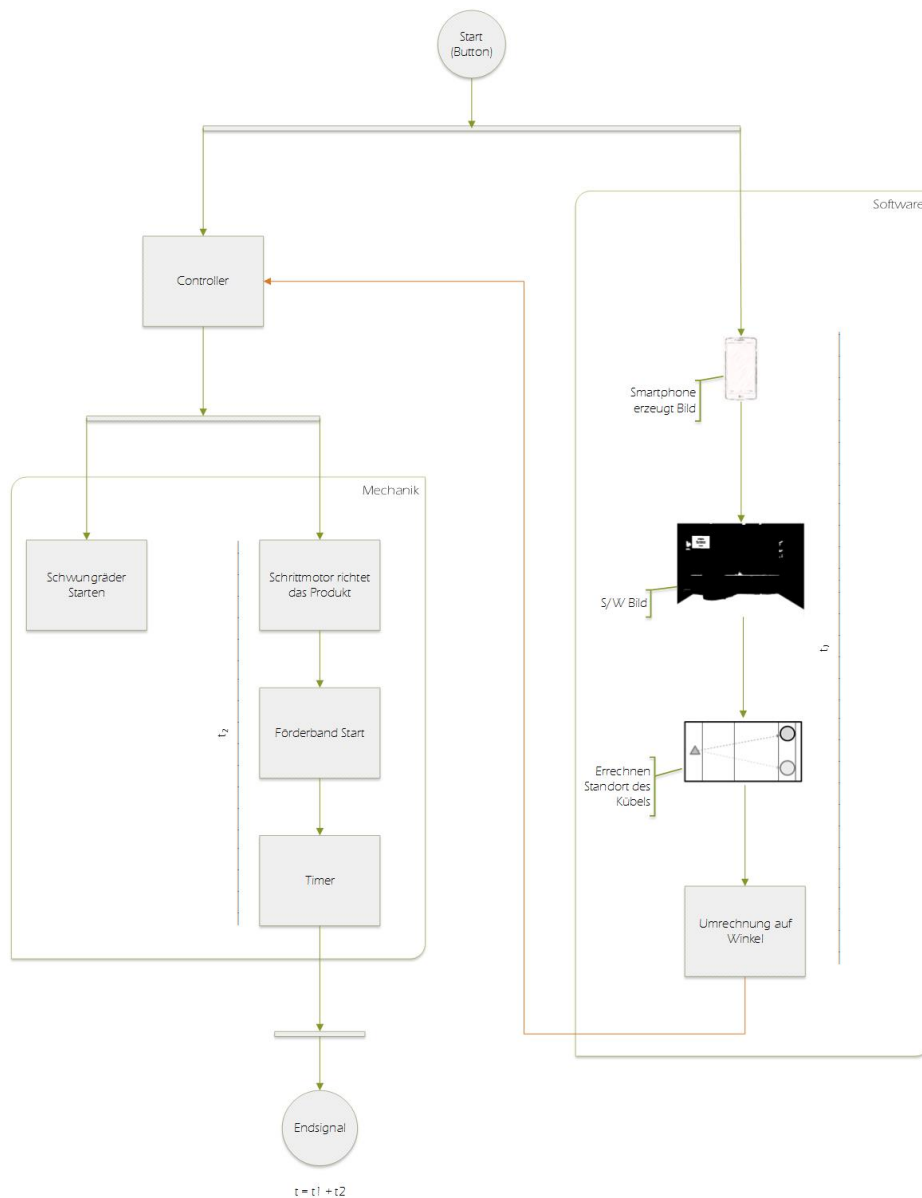



Abb. 2: Funktionsskizze

3.2 Geräteübersicht

Der Ballwerfer ist so konzipiert, dass er aus einem fixstehenden Basismodul besteht, welches in der Mitte des Startbereiches positioniert wird. Die Abwurfmechanik, welche den Ballwurfmechanismus und die Ballzuführung beinhaltet, ist auf dem Basismodul drehend gelagert. Dieser wird mit einem Schrittmotor auf das Ziel ausgerichtet. Der ganze Aufbau des Ballwurfmechanismus ist sehr einfach gehalten. Er besteht hauptsächlich aus zwei Acrylglasplatten, in welchen alle mechanischen Vorrichtungen gelagert sind. Dadurch kann der ganze Aufbau sehr schnell und einfach angepasst oder geändert werden. Die



Enddokumentation/Loesungskonzept/Bilder/Geraeteuebersicht.jpg

Abb. 3: Geräteübersicht

Ausrichtung des Abwurfmechanismus erfolgt durch einen Schrittmotor, welcher im oberen, mitdrehen-den Bereich angebracht ist. Dadurch ist die Bauhöhe des Ballwerfers sehr klein, was einen grossen Stabilitätsvorteil gibt. Die Drehachse der Abwurfeinheit ist an der Spitze des Ball-werfers mit einem Bolzens angebracht. Somit bleibt die Abwurfposition der Tennisbälle im-mer am gleichen Ort. Die Tennisbälle werden durch zwei Schwungräder beschleunigt. Die Schwungräder drehen gegenläufig, womit der Tennisball dazwischen ausgestossen wird. Die Zuführung der Tennisbälle erfolgt mit einem Förderband. Es ist sehr wichtig, dass alle Bälle mit der gleichen Geschwindigkeit bei den Schwungrädern eintreffen und somit die gleiche Startenergie aufweisen. Dadurch ist eine gleichmässige Wurfweite gewährleistet. In den folgenden Abschnitten wird nach dem zeitlichen Ablauf des Balles, die einzelnen Komponenten des Ballwerfers näher beschrieben.

3.2.1 Startgerät

Die Übermittlung des Startsignals wird mittels Bluetooth realisiert. Sender des Signals ist ein Windows Computer mit integrierten Bluetooth Adapter (Laptop) der Empfänger wird ein Android Smartphone sein. Wie aus der Technologierecherche(siehe Anhang) zu

Tab. 1: Bezeichnung der Teilkomponenten

Pos	Bezeichnung	Funktion
1 visuelle Signalausgabe	Startgerät (Smartphone)	Senden Startbefehls, Empfangen
2	Master (Smartphone)	Empfangen des Startbefehls, Senden End-befehl Fotog
3	Controller	Steuerung und Regelu
4	Gestell	Stabilisieren des Systems Seit
5	Stelleinheit	Ausrichten des Gerä
6	Förderband	Ballförderung zu S
7	Schwungräder inkl. Antrieb	Beschleunigen d

entnehmen ist gewährleistet diese Konstellation grosse Freiheit bei der Umsetzung, da beide Betriebssysteme relativ offen sind und beide Java unterstützen. Ein weiterer Vorteil des Smartphones ist, dass ein benötigtes Endsignal über die integrierten Lautsprecher als akustisches Signal oder über den Display als eine visuelle Ausgabe erfolgen kann.

3.2.2 Smartphone als Master

Der Vorteil bei der Verwendung eines Smartphone ist das mehrere benötigte Geräte bereits auf darauf vorhanden sind, dadurch ist der Zugriff auf die Kamera und eine kabellose Kommunikation bereits gewährleistet. Des Weiteren sind heutige Smartphone verhältnismässig leistungsfähig und können direkt für die Berechnung der Objekterkennung gebraucht werden und durch den integrierten USB-Anschluss kann eine sichere Verbindung zum Controller gewährleistet werden. Die alternative einzelne Module (Kamera, drahtlose Schnittstelle, Recheneinheit) zu verbauen gewährleistet eine erhöhte Flexibilität, allerdings zu Kosten des Aufwands und Preises. Der Verbau einzelner Module kann auch zu einer Gewichtszunahme führen da nicht eine solche Kompaktheit wie bei einem Smartphone gewährleistet werden kann. Der Einsatz eines Smartphone bietet im Vergleich zu einzelnen Modulen mehr Vorteile. Es ist wichtig, dass die Kamera das Spielfeld optimal erfassen kann, weswegen das Smartphone vorne am Gerät angebracht wird.

Korberkennung Im nachfolgenden Ablaufdiagramm ist die Funktionsweise des Systems zur Korberkennung dargestellt. Erwähnenswert hierbei ist vor allem, dass zur Identifikation des Korbes im Bild kein gegebenes Framework wie etwa OpenCV verwendet wird.

Für die Bestimmung der Position des Korbes wurde ein Algorithmus entwickelt und in Java implementiert. Dieser bedient sich des Umstandes, dass der Korb deutlich dunkler als der Hintergrund ist. Um mit dem von der Kamera zuvor aufgenommenen Bild arbeiten zu können, müssen die Ränder abgeschnitten werden (vor allem links und rechts geht der Bildbereich über das Spielfeld hinaus, was das Resultat verfälschen könnte) Als zweiter Schritt wird über sämtliche Pixel des Bildes iteriert. Dabei wird für jedes Pixel die Helligkeit bestimmt anhand einer vordefinierten Schwelle entschieden, ob es zum Hintergrund (heller) oder zum Korb (dunkel) gehört. Anschliessend wird der Schwerpunkt der dunklen Pixel bestimmt und anhand des gefundenen Schwerpunktes entweder von links oder von rechts her in einem bestimmten horizontalen Bereich (der Korb befindet sich immer auf der selben Höhe) über die Pixel iteriert um dabei eine feste Kontur zu finden. Diese feste Kontur wird dabei definiert durch eine bestimmte Anzahl weisse Pixel, auf welche wiederum eine Menge schwarzer Pixel folgen muss. Da dieser Prozess immer

in derselben horizontalen Ebene stattfindet kann durch eine abschliessende Berechnung der Mittelpunkt des Korbes und der damit verbundene Winkel des Ballwerfers zum Korb trigonometrisch bestimmt werden.

3.2.3 Controller

Die Controller-Hardware steuert die Motoren der Ballzuführung, der Stepper für die Ausrichtung der Apparatur und die Motoren zur Beschleunigung der Bälle. Sobald der Controller das Startsignal vom Master erhält, wird dieser den Motor zur Ballbeschleunigung aktivieren und hoch drehen lassen. Weiter erhält der Controller vom Master die Angabe, in welchem Winkel sich der Korb befindet. Anhand dieser wird die benötigten Schritte berechnen und die resultierenden Befehle an die Motorsteuerung absetzen. Sobald die Apparatur die richtige Ausrichtung eingenommen hat, wird die Ballzuführung aktiviert, um die Bälle in den Korb zu befördern. Mittels eines kleinen Sensors werden die Bälle gezählt und wenn der letzte Ball abgefeuert wurde, wird dies dem Master signalisiert.

Die Abbildung 3 zeigt auf, wie die Controller-Hardware aufgebaut sein wird. Die BLDC- und Stepper-Ansteuerung wird auf separaten Boards realisiert, wobei die Stepper-Hardware durch die PREN-ET entwickelt und in dieser Gruppe eingesetzt wird. Als Schnittstelle zwischen den Boards und dem Controller wird SPI eingesetzt, da ein Hauptchip der Stepper-Ansteuerung nur über SPI angesprochen werden kann. Die Kommunikation mit dem Master wird über UART stattfinden, das über den FTDI-Chip auf USB emuliert wird. Die Ansteuerung des DC-Motors wird mittels PWM und über einen Transistor realisiert. Die Abbildung 4 zeigt, wie Ansteuerung des DC-Motors umgesetzt werden wird.

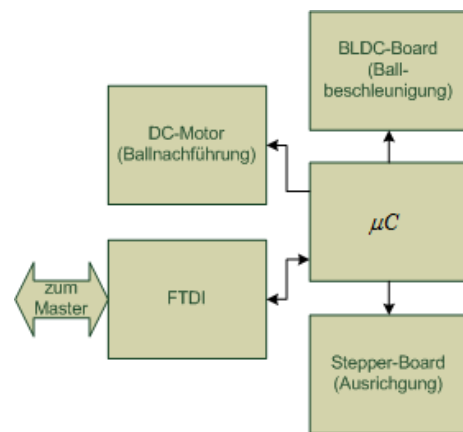


Abb. 4: Blockschaltbild der Controller-

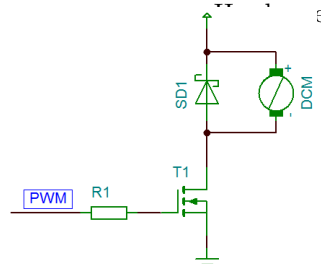


Abb. 5: Schema der DC-Motoransteuerung

3.2.4 Grundaufbau Mechanik

Für die Grundplatten wurden diverse Materialien in Betracht gezogen. Zur Auswahl standen

Tab. 2: Dichte der Stoffe

Material	Dichte	Gewicht (550x120xT)	Re (Elastizitätsmodul)
Holz 5mm	0.8g/cm ³	264g	10 – 17 kN/mm ²
Aluminium 3mm	2.71g/cm ³	536g	1000 kN/mm ²
Acrylglas 5mm	1.19g/cm ³	393g	3300 N/mm ²

Aluminium, Holz und Acrylglas. Eine wichtige Anforderung an das Material war, dass es bei einer kleinen Dichte eine genug gute Festigkeit aufweist. Dies ist nötig, da das Gewicht einen wichtigen Einfluss bei der Bewertung hat. Eine weitere Voraussetzung an das Material ist, dass die Lager der einzelnen Achsen direkt in die Platte gepresst werden können. Dadurch kann der Aufbau sehr gewichtsoptimiert gebaut werden. Um dies zu überprüfen, wurden verschieden grosse Kugellager in ein Acrylglas gepresst. Die befürchtete Gefahr, dass sich das Acrylglas bei einer zu hohen Presskraft spalten würde, bestätigte sich nicht. Da Aluminium eine viel grössere Festigkeit als die anderen in Frage kommenden Werkstoffe hat, aber zugleich ein viel höhere Dichte hat, muss eine kleinere Wanddicke verwendet werden um ein kleines Gewicht zu erreichen. Eine gewisse Wanddicke ist erforderlich, um die Lager stabil zu führen. Weiter besteht bei einer zu geringen Wanddicke die Möglichkeit, dass eine Verformung der Aluminiumbleche hervortritt. Deshalb kommt Aluminium nicht in Frage. Das Holz bietet bei einer kleinen Dichte und eine genügend grosses Elastizitätsmodul, doch ist es sehr heterogen aufgebaut. Deshalb ist es bei einer kleinen Wanddicke sehr anfällig auf Störstellen, wodurch es zu einem unberechenbaren Versagen führen kann. Aus diesen Gründen ist die Entscheidung auf das Acrylglas gefallen. Die Lichtdurchlässigkeit spricht auch für das Acrylglas, damit der ganze Ablauf des Ballwurfes besser verfolgt und analysiert werden kann.

Bei der Konstruktion wurde darauf geachtet, dass der Masseschwerpunkt sehr tief am Boden liegt, damit ein nicht zu grosses Moment entsteht, welches vom Abwurf der Bälle erzeugt wird und den Ballwerfer zum Umkippen bringt. Weiter wird die ganze Kraft des Ballwurfes über die Bodenplatte abgegeben. Deshalb muss eine hohe Haftreibung erzeugt werden. Dies wird mit einer Antihafmatte erzeugt, welche zwischen Spielfeld und Bodenplatte angebracht wird.

3.2.5 Stelleinheit

Um die Abwurfseinheit zum Ziel auszurichten, wird ein verstellbarer Mechanismus benötigt. Der Drehpunkt muss sich möglichst unter den Schwungrädern befinden, damit die Position des Abwurfes im Zentrum des Spielfeldes bleibt. Die Drehung wird durch einen Schrittmotor angesteuert. Die Wahl des Schrittmotors ist durch seine sehr exakte Ansteuerung ausgefallen. Somit kann der Verstellwinkel, welcher von der Position des Zieles abhängt, genau eingestellt werden. Der Schrittmotor wird in der Abwurfseinheit angebracht und treibt die Bodenplatte an, wodurch die Abwurfseinheit gedreht wird. Damit die Bauhöhe nicht zusätzlich erhöht wird, ist der Zahnkranz in die Bodenplatte integriert. Die Bodenplatte mit dem Zahnkranz reicht nicht über die ganze Abwurfseinheit, damit die Masse möglichst klein gehalten werden kann. Der Schrittmotor ist nach dem folgenden Drehmoment von ... Nm ausgelegt. Dies ist sehr klein, da nur der Reibungskoeffizient und die Normalkraft, welche vom Gewicht der Abwurfseinheit abhängt, das Moment erzeugen. Der Reibungskoeffizient wird durch die Lagerung klein gehalten. Die Lagerung erfolgt im Drehzentrum durch eine Hülse und im Endbereich der Abwurfseinheit durch zwei Kugelrollen, welche mit einem seitlichen Abstand angebracht sind. Dadurch ist auch die Gefahr eines Umkippens der Abwurfseinheit gesichert. Die Ansteuerung der Schrittmotor



Abb. 6: Grafik mit Losteil / Fixteil eingefärbt

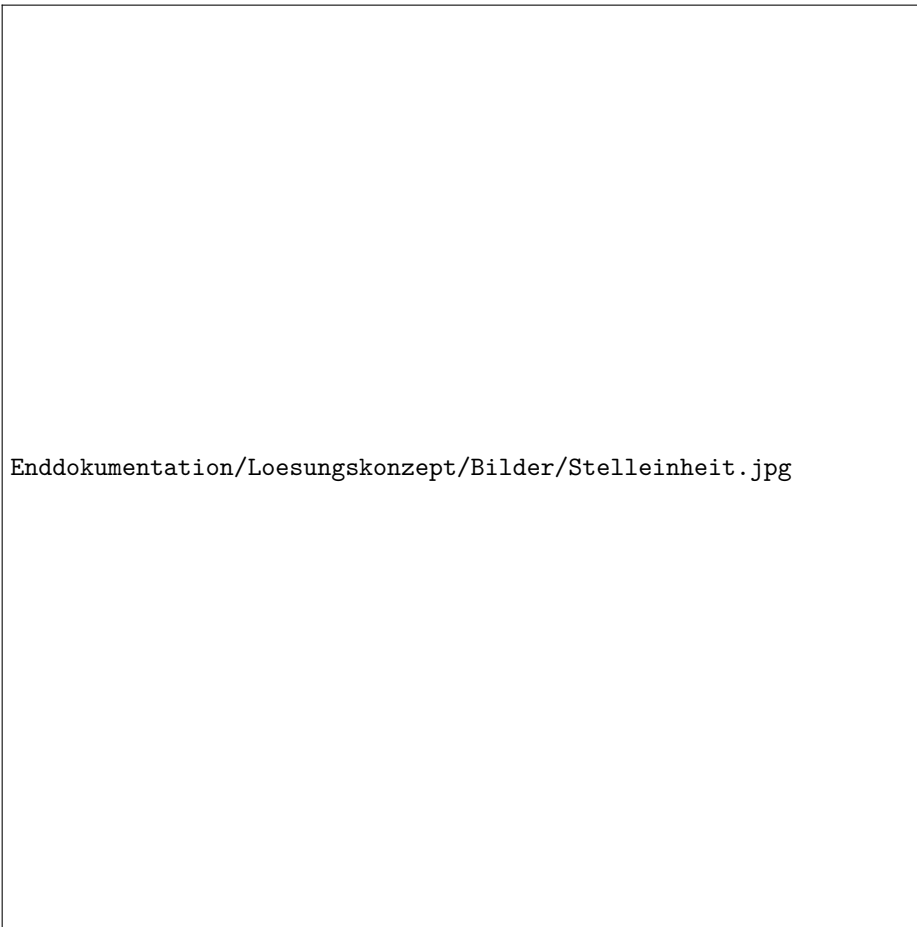
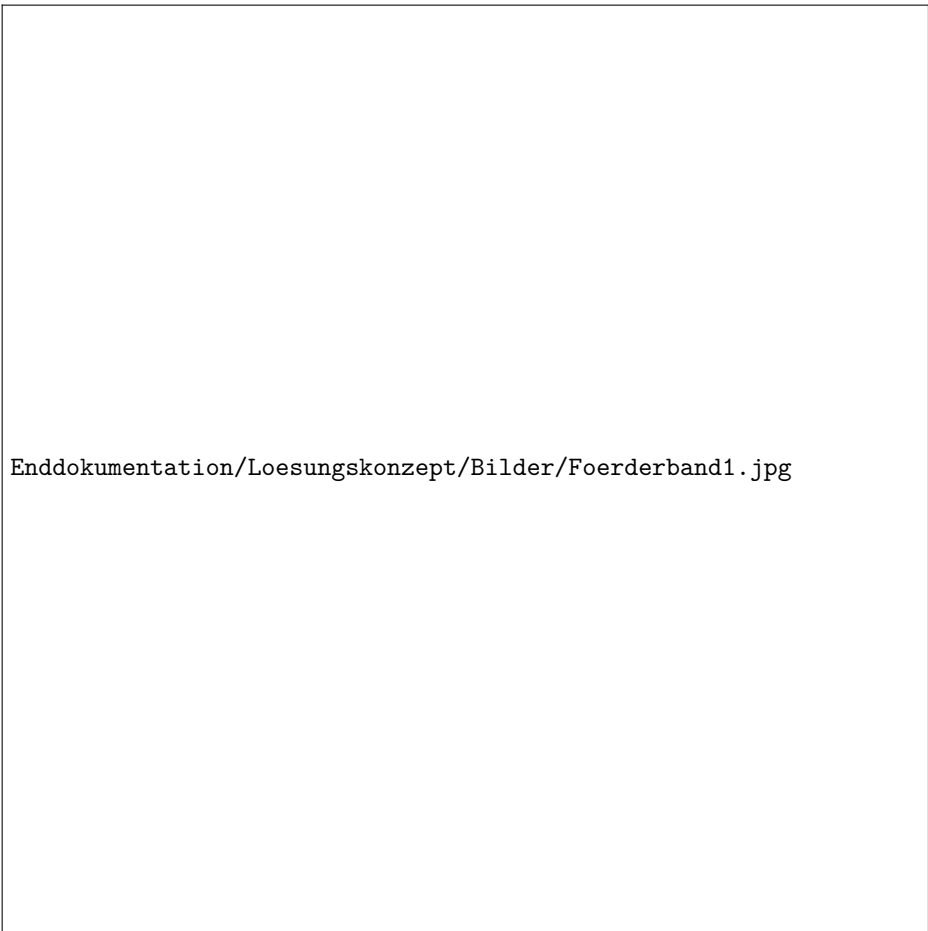


Abb. 7: Grafik des Antriebes

motoren erfolgt über den selbst konstruierten Controller. (Verlinkung zur Beschreibung der Motorentreiber)

3.2.6 Förderband

Da die Schwungräder durch den Abwurf abgebremst werden, müssen Sie nach jedem Wurf erneut auf die gewünschte Drehzahl beschleunigt werden. Deshalb hat die Zuführung der Bälle in Abständen zu erfolgen. Weiter müssen die einzelnen Tennisbälle immer mit der gleichen Geschwindigkeit bei den Schwungrädern eintreffen, damit eine konstante Wurfweite entsteht. Die beste Art, beides zusammen zu realisieren ist ein Förderband. Das Förderband wird zwischen den zwei Acrylglasplatten aufgespannt. Der Antrieb des Förderbandes erfolgt mit einem DC-Motor. Dieser wird mit einem Verhältnis von $i=5:1$ übersetzt, um das benötigte Drehmoment an die Antriebsstrommel von 11Nm zu übertragen. Die Berechnungen dazu sind im entsprechenden Kapitel ersichtlich. Auf dem Förderband, welches aus einem Zahnriemen besteht, sind konkave Führungsblätter angebracht. Diese sind so ausgerundet, damit der Ball möglichst lange geführt werden kann und die Führungsblätter nicht in Berührung der Schwungräder kommen. Die Führungsblätter



Enddokumentation/Loesungskonzept/Bilder/Foerderband1.jpg

Abb. 8: Grafik Förderband

werden voraussichtlich mit dem Förderband verschweisst. Aus Testversuchen der Ballzuführung wurde erkannt, dass für einen idealen Abwurf beide Räder zeitgleich den Ball einklemmen müssen. Somit müssen die Bälle zunächst unterhalb des oberen Schwungrades gefördert und anschliessend in einem 45° Winkel nach oben zugeführt werden. Dazu dient ein Führungselement. Inwiefern dieses aussieht ist noch völlig offen. Als Ideen stehen zwei Stangen oder ein Blech zur Auswahl. Für den Riemen hat dies zur Folge, dass hohe Schaufeln den Ball führen müssen. Die folgende Grafik zeigt eine Auswahl möglicher Ausführungen der Schaufeln am Band. (!!Text Yves!!)

3.2.7 Schwungräder

Die Vortriebskraft für die Tennisbälle wird durch zwei Schwungräder übertragen. Die Schwungräder sind konkav ausgerundet, so dass die Beschleunigung nicht nur über einen Punkt übertragen wird. Durch die Ausrundung kann die Kraft über eine grössere Fläche (Linie) und geführt übertragen werden. Dies bringt den Vorteil, dass die Beschleunigung geführt abläuft, wodurch ein gerichteter Wurf entsteht. So kann das benötigte Beschleunigungsmoment vollumfänglich den Tennisbällen übergeben werden. Die Ausrundung wur-

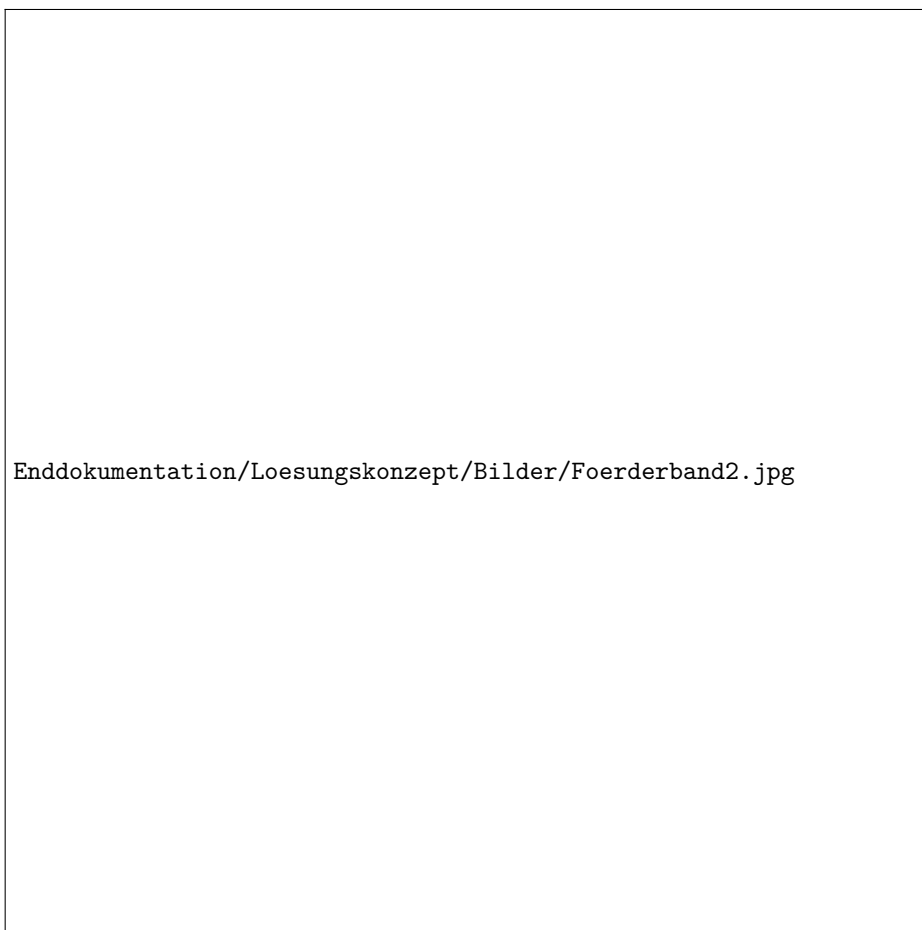


Abb. 9: Grafiken (Schaufel genietet, geklebt, nur Klebauftrag)

Miaazuuuuuuuuuuuzzzz

de durch den Radius des Tennisballes gegeben. Der Durchmesser der Schwungräder ist so festgelegt, dass mit der vorhandenen Masse ein gewisses Trägheitsmoment zur Verfügung steht. Dies ist nötig, damit bei der Beschleunigung der Tennisbälle die Schwungräder nicht zu stark abgebremst werden. Dennoch sollten sie nicht zu schwer und gross sein, da das Gewicht ein wichtiger Faktor in der Gesamtbewertung ist. Die Grösse ist deshalb auf einen Kompromiss gefallen. Durch den Durchmesser wird auch die Winkelgeschwindigkeit festgelegt. Die Schwungräder sind aus PVC gefertigt. Dieser Werkstoff ist einfach zu Bearbeiten und bietet zugleich eine genügend grosse Festigkeit. Die Räder sind mit einer speziellen Haftmatte beschichtet, damit die Kraft optimal auf den Ball übertragen werden kann.

Die Achsen der zwei Schwungräder sind im Winkel von 45° zur Bodenplatte angeordnet. Der Abschusswinkel ist so gewählt, dass die Tennisbälle in einem genug grossen Einschlagwinkel im Zielbereich landen und keine Möglichkeit besteht mit dem Korbrand zu kollidieren. Das Verhältnis von Wurfkraft zu Wurflänge ist beim Winkel von 45° auch am besten. Die Wurfweite wird durch die Drehzahl der Schwungräder gesteuert werden. Der Achsenabstand der beiden Schwungräder bestimmt die Presskraft der einzelnen Bälle. Dies wiederum gibt die Abbremsung der Schwungräder vor. Die Abbremsung darf nicht zu gross sein, damit die einzelnen Bälle in kurzem Abstand hintereinander zugeführt werden kann. Die Schwungräder sollen aus einem Kunststoffkern sowie einem aufgeklebtem Gummielement bestehen, welches eine gewisse Nachgiebigkeit aufweist, und ein Durchrutschen der Bälle verhindern soll. Die konkave Form der Räder gibt dem Ball die genaue Richtung der Flugbahn vor. 4.2.8.1 Antriebsstrang -Zahnräder -minimale Sicherheiten Der Antriebsstrang kann auf verschiedene Arten realisiert werden. Drei ausgewählte Varianten wurden betreffend ihrem Nutzen (verfügbares Drehmoment), ihren Kosten und ihrem Gewicht beurteilt.

Aufgrund des hohen Drehmomentes und des geringen Gewichtes bei mittelmässigen Kosten, ist dies die idealste Lösung für den Antriebsstrang. Es wird ein bürstenloser Elektromotor verwendet. Die Ansteuerung des Motors ist sehr anspruchsvoll.

4.2.8.2 Ansteuerung und Regelung bürstenloser Motoren

3.3 Versorgungskonzept

Das Smartphone, die Controller-Hardware und die Motoren benötigen jeweils bestimmte Spannungen, die erzeugt werden müssen. Diese werden aus einer Hauptspannung generiert. Je nach Standfestigkeit der Mechanik wird die Umsetzung mittels eines externen Netzteils oder mit Akkumulatoren umgesetzt. Sollte die Standfestigkeit ausreichend sein, wo wir die Hauptversorgung mittels eines externen Netzteils umgesetzt. Falls dies nicht Fall sein sollte, wird die Spannungsversorgung mittels Akkumulatoren umgesetzt. Dies bietet den Vorteil, dass das Gewicht die Standfestigkeit unterstützt und zum Anderen können die Akkumulatoren während dem wägen entfernt werden.

3.4 Hardware

Die Elektrotechnik-Studierenden aus mehreren Gruppen haben sich zusammengeschlossen um gemeinsame Probleme anzugehen. Dabei handelt es sich um die Ansteuerung, die benötigte Hard- und Software um Motoren anzusteuern und gegebenenfalls zu regeln. In diesem Zusammenschluss wurde drei Gruppen gebildet, um Lösungen für DC-, Stepper- und Brushless-Motoren auszuarbeiten. Die Idee besteht darin, dass nicht jede Gruppe



Abb. 10: Schwungräder

für dasselbe Problem wo möglich denselben Lösungsansatz verfolgt, sondern die Ressourcen kombiniert, Synergien nutzt um eine bessere Lösung zu erarbeiten. Auf diese Weise kann das Team übergreifende Arbeiten im Rahmen der „PREN“ erlernt und geübt werden. Somit wird Idee der Interdisziplinarität im erweiterten Sinn Rechnung getragen. Die Gruppen und deren Mitglieder sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Projekt	Team
DC Motoren	39
Schrittmotor	27, 38
BLDC Motor	27, 32

Tab. 3: Übersicht der PREN-ET Projektgruppen

3.5 Software-Architektur

3.5.1 Systemübersicht

Zur Übersicht über den erarbeiteten Lösungsansatz bietet sich die Darstellung durch ein Kontextdiagramm an. Darin zu erkennen sind die fünf Hauptkomponenten DesktopViewer, CoreApp, Detector, MediaCommunication und ControllerCommunication. Weiter enthält das System mindestens drei Schnittstellen, einerseits die Bluetooth Schnittstelle zwischen Startgerät und Ballwerfer, des Weiteren die muss die Kommunikation mit Kamera und Controller gewährleistet sein. Die Schnittstelle zur Kamera sollte, sofern wie geplant ein Smartphone verwendet wird, bereits durch das entsprechende Betriebssystem gegeben sein, weshalb in diesem Dokument nicht weiter auf diese Schnittstelle eingegangen wird.

3.5.2 Komponenten-Spezifikation

DesktopViewer Über die Viewer-Komponente wird die Konfiguration der Applikation, sowie die Auslösung des Startsignals realisiert. Weiter soll es zu Testzwecken möglich sein, die Resultate der Korberkennung ebenfalls über den DesktopViewer zu betrachten.

CoreApp Als Kernbestandteil der Smartphone App umfasst die CoreApp-Komponente auf der einen Seite die Kommunikation mit der Viewer-Komponente, auf der anderen Seite wird hier der Ablauf der Kernfunktionen zur Objekterkennung koordiniert.

Detector Dem Detektor muss ein Bild übergeben werden, welches von diesem darauf ausgewertet wird. Dabei sucht der Detektor nach einem dunkeln Objekt im Bild und ist in der Lage, anhand der ermittelten Position den Winkel des Ballwerfers zum Korb bestimmen kann.

MediaCommunication In dieser Komponente ist die Kommunikation mit der Kamera des Smartphones umgesetzt. Hauptsächlich geht es darum, ein Foto aufzunehmen, welches wiederum dem Detektor zur Winkelbestimmung übergeben wird.

ControllerCommunication Wie der Name bereits sagt wird an dieser Stelle die Kommunikation mit dem FTDI-Controller realisiert. Der vom Detektor berechnete Winkel wird hier übertragen um anschliessend Mechanisch umgesetzt zu werden und den Ballwerfer aufs Ziel auszurichten.

3.5.3 Schnittstellen-Spezifikation

Als weiteres Hauptelement des entworfenen Systems werden im nachfolgenden Abschnitt die in der Grafik erkennbaren Schnittstellen (Bluetooth und Controller) deklariert.

Bluetooth Die Kommunikation vom Startgerät (Notebook) zum Smartphone (Android Device auf dem Ballwerfer) für die Übermittlung des Startsignals findet mit Bluetooth statt. Die Bluetooth-Komponente auf dem Notebook startet nach Aktivierung ein ‚inquiry‘ (Erkundigung) nach verfügbaren Bluetooth-Geräten. Anschliessend wird eine Service-Anfrage (RFCOMM, eine COM-Schnittstelle) an ein gewünschtes Bluetooth-Gerät gestartet, bei positiver Rückmeldung werden die zwei Geräte gepaart. Eine uni- oder bidirektionale Kommunikation zwischen den Geräten kann nun jederzeit aufgebaut werden. Das eigentliche Startsignal wird ein primitiver Datentyp sein.

Controller Die Verbindung vom Android Smartphone zum FTDI Controller wird mit USB realisiert. Das Smartphone kommuniziert über den bereitgestellten Treiber von FTDI mit dem Controller, die verwendete Schnittstelle ist UART. Die Kommunikation ist soll bidirektional sein, kann also sowohl empfangen als auch senden. Der Vorteil einer solchen Verbindung ist das sie als COM-Schnittstelle angesteuert werden kann was relativ einfach zu implementieren ist. Die Verbindung ist ausfallsicher und einfach aufrechtzuerhalten.

3.5.4 Funktionale Sicht

4 Tests

4.1 Zylinder-Test

4.2 Schwungrad-Test

4.3 Drehzahl-Test

4.4 Brushless-Motor-Test

4.5 Brushless Motoransteuerung

Dieses Kapitel ist eine Zusammenarbeit der Gruppen T27 und T32.

4.5.1 Theorie der Ansteuerung

Brushless-Motoren sind Synchron-Drehstrom-Motoren. Das heisst, sie werden mittels eines kontinuierlichen Drehfeldes in Bewegung gesetzt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Läufer dem Drehfeld synchron folgen kann, daher der Name. Falls der Läufer dem Drehfeld aus irgend einem Grund nicht folgen kann, so wird keine Spannung vom Rotor in die Statorwicklungen induziert, die der Erregerspannung entgegenwirkt. Daraus folgt, dass ein immenser Strom fliesst, der nur von der Wicklungsimpedanz des Motors begrenzt wird.

Es gibt hauptsächlich drei Methoden das Drehfeld zu generieren und zu regeln. Die eine und einfache Methode ist die Zwangs-kommutierung. Dabei wird ein Drehfeld erzeugt und dem Motor aufgezwungen. Der Läufer muss dem Drehfeld folgen können. Dabei ist ein maximaler Winkel zwischen dem Feld und dem Läufer von 90° zulässig. Wird dieser Winkel überschritten, wird der Motor zum Stillstand kommen mit den erwähnten Folgen.

Die zweite Methode zur Regelung ist mittels drei Hallsensoren, die im Motor integriert sind. Dies macht den Motor aufwändiger und dementsprechend teurer. Die Regelung mit Hallsensoren ist verhältnismässig einfach, da je nach den Signalen die einzelnen Spulen direkt angesteuert werden können. Der Zusammenhang zwischen der Ansteuerung und den Hall-Sensorsignalen ist in Abbildung 5 ersichtlich. Dabei stehen U , V und W für die Phasenströme und H_1 , H_2 und H_3 für die entsprechenden Signale der Hallsensoren. Dieser Darstellung ist zu entnehmen, dass jedesmal, wenn ein Hallsensor eine Änderung anzeigt, ein Nulldurchgang im entsprechenden Stromverlauf stattgefunden hat. Dies ist der Zeitpunkt, zu dem die Kommutierung durchgeführt werden muss.

Die dritte Möglichkeit ist, indem man einen virtuellen Sternpunkt bildet und mittels Komparatoren die Sternpunktdurchgänge detektiert. In der Controller-Logik muss der Zeitunterschied der Kommutierung bis zum durchschreiten des Sternpunktes gemessen werden. Diese Zeit muss nochmal abgewartet werden bevor die Kommutierung durchgeführt werden.

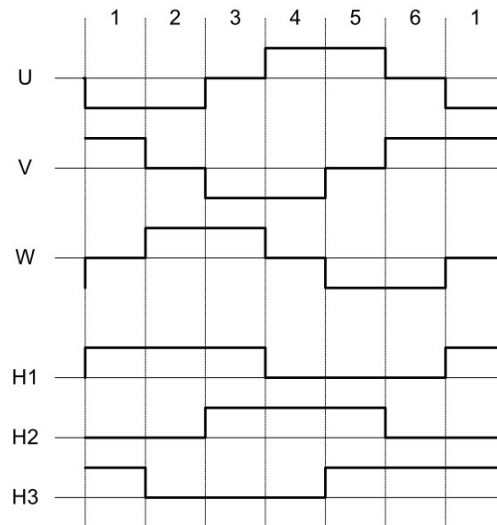


Abb. 11: Zeitliche Darstellung der Ansteuerung mit Hall-Sensoren ("Atmel AVR443: Sensor-based Control of Three Phase Brushless DC Motor", 2013)

4.5.2 Neuer Ansatz

In einem modifizierten Ansatz wird versucht, ob die Hall-Sensorsignale aus den Ansteuerungen des Motors gewonnen werden können. Hierzu wird eine Schaltung[h!] pro Phase benötigt, um die Nulldurchgänge beim virtuellen Sternpunkt detektieren zu können. Die Abbildung 6 zeigt die Schaltung, mit der dies realisiert werden kann. Mit dem Flip-Flop kann die PWM aus dem Sensorsignal unterdrückt werden. Diese rekonstruierten Hall-Sensor-Signale können direkt logischen verknüpft und genutzt werden, um den Motor mittels einer Dreiphasen-H-Brücke anzusteuern (Tobias Plüss, 2014). Anhand des zeitlichen Verlaufs, der aus Abbildung 5 zu entnehmen ist, und der Ansteuerung einer H-Brücke ergibt sich die Wahrheitstabelle, die in Abbildung 7 abgebildet ist. Das Signal U_h symbolisiert den Highside-Transistor der Phase U auf der H-Brücke und die U_l entspricht dem Lowside-Transistor.

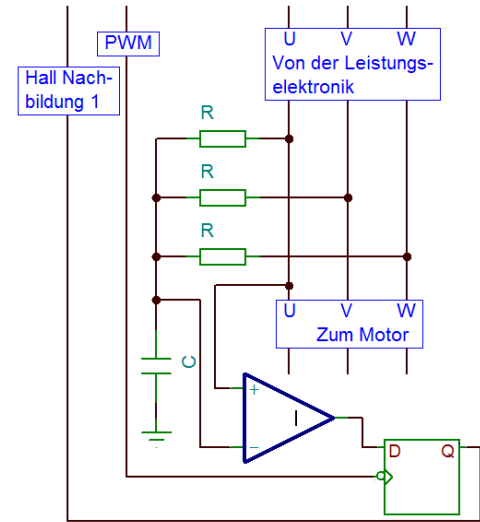


Abb. 12: Schema des Rekonstruktionsprinzips (Tobias Plüss, 2014)

H_1	H_2	H_3	U_h	U_l	V_h	V_l	W_h	W_l	Illegal
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1

Abb. 13: Wahrheitstabelle der Ansteuerung

Die Tabelle in Abbildung 7 kann pro Signal zu folgenden logischen Verknüpfung vereinfacht werden

$$\begin{aligned}
 U_h &= H_1 \wedge \bar{H}_2 & V_h &= H_2 \wedge \bar{H}_3 & W_h &= \bar{H}_1 \wedge H_3 \\
 U_l &= \bar{H}_1 \wedge H_2 & V_l &= \bar{H}_2 \wedge H_3 & W_l &= H_1 \wedge \bar{H}_3
 \end{aligned}$$

4.5.3 Aufbaubeschreibung

Dieses Kapitel ist eine Zusammenarbeit der Gruppen T27 und T32.

Das Schema des gesamten Aufbaus des Tests ist in der Abbildung 8 abgebildet. Die 3-Phasen H-Brücke oben im grünen Rechteck wird direkt vom FPGA angesteuert. Die Hardware dieser Brücke ermöglicht eine voll galvanisch getrennte Ansteuerung mit 3.3V Logikpegeln. Diese Brücke wurde zur Verfügung gestellt und verwendet. Die Rekonstruktion der Hallsensoren-Signale findet im rot markierten Teil des Aufbaus statt. Dieser Part wurde auf einer Laborplatte aufgebaut und zusammen gelötet. Die so generierten Signale $U_{Hall\text{sensor}}$, $V_{Hall\text{sensor}}$, $W_{Hall\text{sensor}}$ werden einem FPGA geliefert. Anhand dieser Signale steuert das FPGA die H-Brücken-Transistoren mittels der Signale U_h , U_l , V_h , V_l , W_h , W_l . Die im FPGA enthaltene Konfiguration sind simple AND-Verknüpfungen, die die anliegenden Signale sehr schnell und effizient verarbeiten. Auf diese Weise ist es möglich, den Motor sehr schnell anzusteuern. In der Abbildung 9 ist der gesamte Aufbau abgebildet.

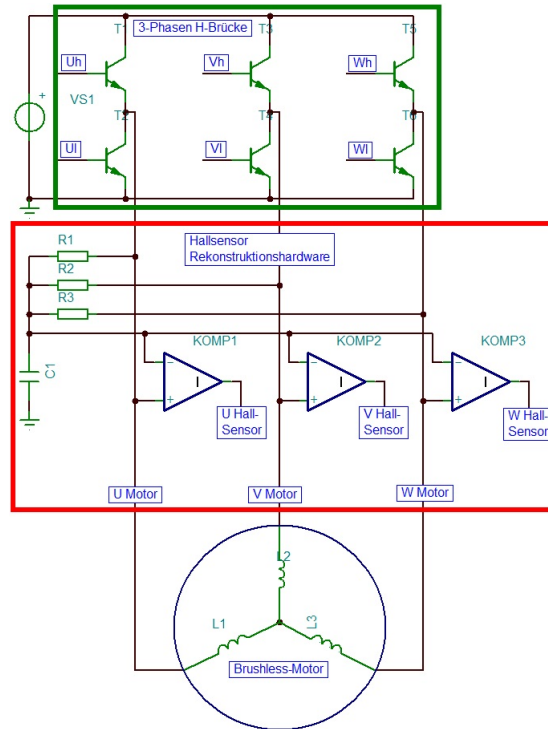


Abb. 14: Schema des Brushless-Versuchsaufbaus

Man beachte die markierten Felder. Am unteren linken Rand ist der Motor befestigt. In der Mitte des Bildes ist die Hardware, mit welcher die Hallsensoren Signale rekonstruiert werden. Die generierten Signale werden dem FPGA in der unteren linken Ecke zugeführt. Diese Signale werden logisch verknüpft und danach werden die sechs Signale generiert um die H-Brücke in der oberen rechten Hälfte anzusteuern. Diese wiederum treiben den Motor an. Die im FPGA enthaltene Logik basiert auf der Wahrheitstabelle, die in Abbildung 7 abgebildet ist.

4.5.4 Messmittel

Gerät	Typ	Nummer
Speisegerät	Rohde & Schwarz NGSM 32/10	Inv. Nr. 009
Oszilloskop	Agilent MSO6052A	Inz. Nr. 44 S/N: MY44001903
Mainframe	Hameg HM8001-2	SN: 059520046
Speisegerät	Hameg HM8040-3	SN: 015405014
Pulsgenerator	Hameg HM8035	Inv. Nr. 44

Tab. 4: Messmittel des Versuchsaufbaus

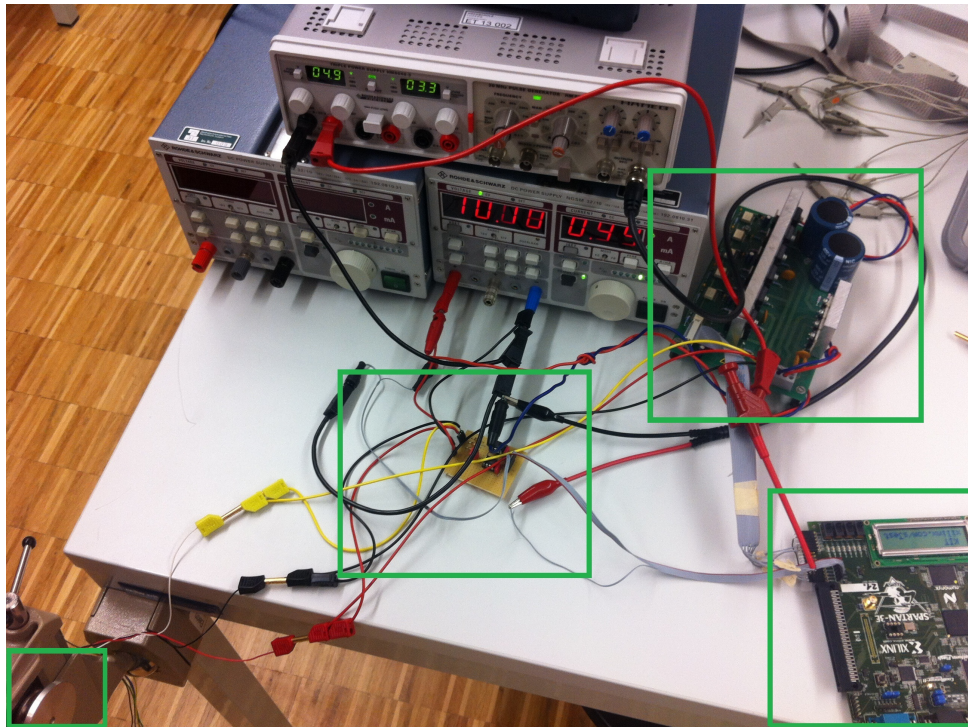


Abb. 15: Testaufbau

4.6 Fallback

Ist der Einsatz des vorgesehenen BLDC-Treibers nicht möglich, so muss eine alternative Ansteuerung erfolgen. Eine solche kann mittels handelsüblicher Steuerungen aus dem Modellbau erfolgen. Eine solche BLDC-Steuerung ist per PWM angesteuert, wobei die im Modellbau üblichen Signale gelten, wie in der Abbildung 10 dargestellt.

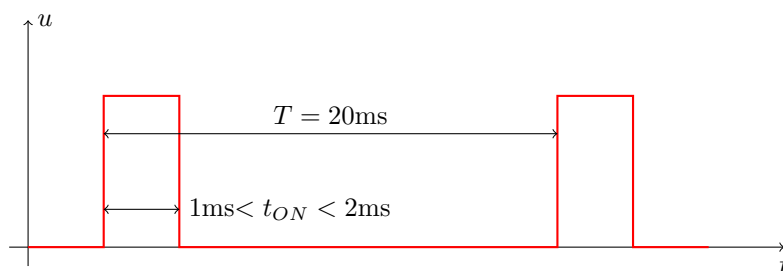


Abb. 16: Signalverlauf eines typischen Modellbau-PWM Signals

Der Einsatz von Modellbausteuerungen für BLDC-Motoren erfordert ein Feedback der Drehzahl, da diese lediglich eine Steuerung darstellen. Die Drehzahlregelung muss über eine externe Einheit erfolgen, wie etwa einen Mikrocontroller. Solche BLDC-Steuerungen werden im Modellbau typisch als *Regler* vertrieben und sind auch für hohe Leistungen relativ günstig.

4.6.1 Konzeptbeschreibung

Um eine Regelung der Drehzahl des BLDC-Motors zu ermöglichen, bedarf es eines Feedbacks, welches die Drehzahl wiedergibt. Dies ist mit einem Hall-Effekt-Schalter zu realisieren. Dieser reagiert auf die Magnetfelder, welche durch Magnete auf dem Rotationskörper gegeben sind. Aus solch einem Aufbau resultiert ein Feedback, welches mittels Impulsen einen Segmentdurchlauf des Rotationskörpers wiedergibt wie in der Abbildung 11 dargestellt. Dieses Feedback wird mittels eines Mikrocontrollers ausgewertet und regelt damit

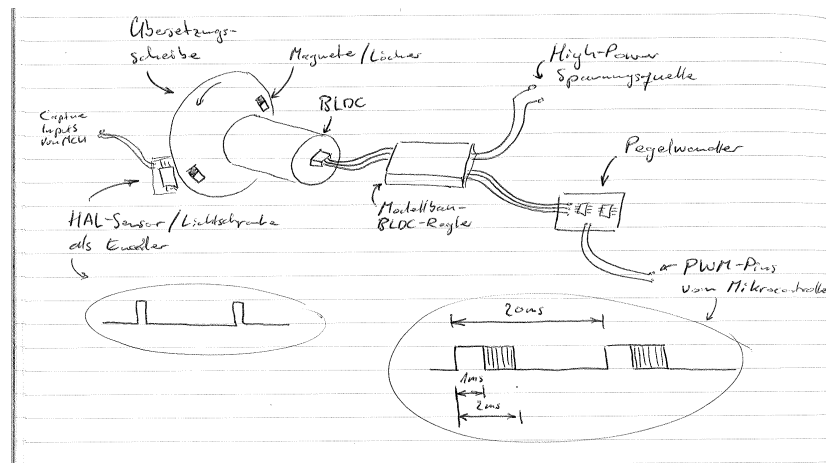


Abb. 17: Erste Skizze des Fallback-Konzepts

den Input der Steuerung mittels des PWM-Signals bzw. der Impulsdauer. Das Einlesen einer Flanke, die Zeitmessung bis zur nächsten Flanke und die Stellung eines PWM-Signals sind Tasks, welche übliche Mikrocontroller direkt durch ihre Peripherie-Module ausführen können. Dies ermöglicht eine einfache Adaption in ein bestehendes Modell, denn es werden lediglich zwei Timer-IO für dieses Fallback verwendet. Je nach Mikrocontroller ist ein Pegelwandler notwendig für die PWM-Signale.

4.7 Encoder & Drehzahlgeber

Die vorgesehenen Motorfunktionen verlangen lediglich beim Brushlessmotor nach einem Feedback über die Rotation des Motors, da der Schrittmotor definiert und feingranuliert betrieben wird und der Gleichstrommotor keinerlei Ansprüche stellt weder an Drehzahl noch an Position.

Encoder sind relativ teuer und der Einsatz des Brushlessmotors verlangt lediglich nach einem Feedback zur Rotation bzw. Winkelgeschwindigkeit. Die absolute oder relative Position ist für die Anwendung nicht von Bedeutung. Somit lässt sich ein einfaches Feedback vorsehen für die Regelung der Drehzahl mittels optischer oder magnetischer Elemente. Als optisches Messinstrument kann eine Lichtschranke mit Reflexionsstreifen oder Löchern eingesetzt werden. Diese verlangen nur nach einer geringfügigen Modifikation des Rotierenden Körpers und sind relativ günstig. Optische Messtechnik hat den Nachteil, dass Störungen relativ leicht in die Messung einfließen können, was fatale Folgen für die Regelung hat. Magnetische Messinstrumente sind gegenüber Störungen deutlich resistenter, da hierfür starke Magnetfelder benötigt werden, welche so nicht einfach auftreten. Der Einsatz solcher Messtechnik verlangt jedoch nach einer Modifikation der Mechanik,

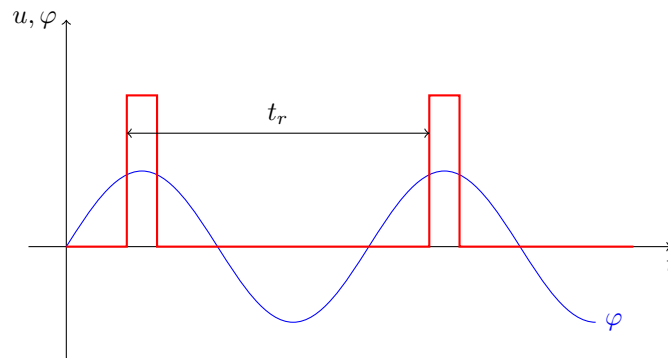


Abb. 18: Vereinfachtes Puls-Feedback eines Hall-Effekt-Schalters

da Magnete in den rotierenden Körper eingebaut werden müssen. Dies birgt ein gewisses Risiko für mechanische Unwucht des Rotationskörpers.

4.7.1 Magnetischer Drehzahlgeber

Um einen eigenen magnetischen Drehzahlgeber zu erstellen wird ein sog. Hall-Effekt-Schalter eingesetzt. Dieser reagiert mit seinem Ausgang auf ein auftretendes Magnetfeld. Das Gegenstück zum Hall-Effekt-Schalter ist ein Magnet, welcher in das rotierende Objekt eingebaut wird. Aus mechanischen Gründen, wie etwa der Unwucht, werden typisch 2 Magnete oder ein Vielfaches davon in den rotierenden Körper eingebaut.

Bei der Rotation des Körpers entstehen durch das Vorbeigehen der Magnete am Hall-Effekt-Schalter Impulse. Aus diesen Impulsen lässt sich mittels einer Zeitmessung direkt die Drehzahl bestimmen. Die Abbildung 12 illustriert das Prinzip anhand eines Beispiels mit einem Magneten am Rotationskörper. Ein solches Verfahren lohnt sich bei schnellen

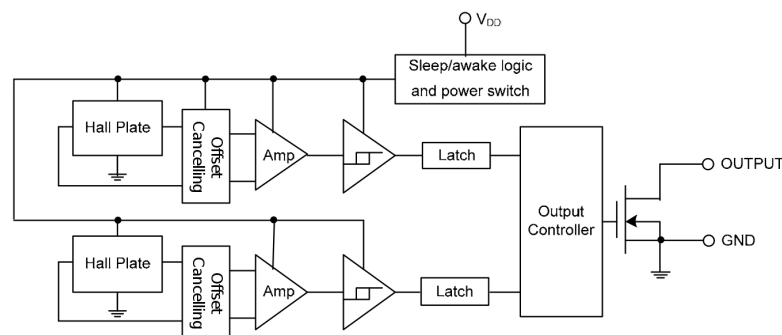


Abb. 19: Funktionelles Blockschaftbild des Hall-Effekt-Schalters AH180N

Winkelgeschwindigkeiten und ist für diesen Anwendungsfall sehr effizient. Zugehörige Hall-Effekt-Schalter lassen sich einfach montieren und sind gegen Störungen sehr robust. Ein mögliches Modell für einen Hall-Effekt-Schalter ist der AH180N. Dieser bietet einen Open-Drain Ausgang welcher somit logische Pegel liefert (siehe Abbildung 13). Interessant ist diese Art von Drehzahl-Geber insbesondere durch ihren geringen Preis, denn solche Hall-Effekt-Schalter wie der AH180N befinden sich im Preissegment < 1 CHF.

4.8 Acrylglas-Test

5 Projektplanung /-Management

Das Projektteam 32 besteht aus sieben Personen welche sich auf folgende Studienrichtungen aufteilen: Drei Personen Maschinentechnik, drei Personen Informatik und eine Person Elektrotechnik. Die Studienrichtungen sind sogleich die jeweiligen Verantwortungen. In den Bereichen mit mehreren Projektmitgliedern wird die Verantwortung für Teilaufgaben jeweils situativ verteilt. Für allgemeine Projektarbeiten ist jeweils die Hauptverantwortliche Person bestimmt. Diese kann Teilaufgaben definieren und sie an andere Teammitglieder zur Bearbeitung delegieren. Die Hierarchie im Team ist bewusst flach und ohne eigentlichen Projektleiter gehalten. Entscheide werden im Plenum diskutiert und gefällt. Die Leitung oder Führung einer Besprechung obliegt der oder den Verantwortlichen des jeweiligen Themas. Mit dieser Teamstruktur ist gewährleistet, dass alle Mitglieder Verantwortung tragen können und müssen. Dies soll Motivation und Eigeninitiative fördern.

5.1 Kosten

5.2 Zeit

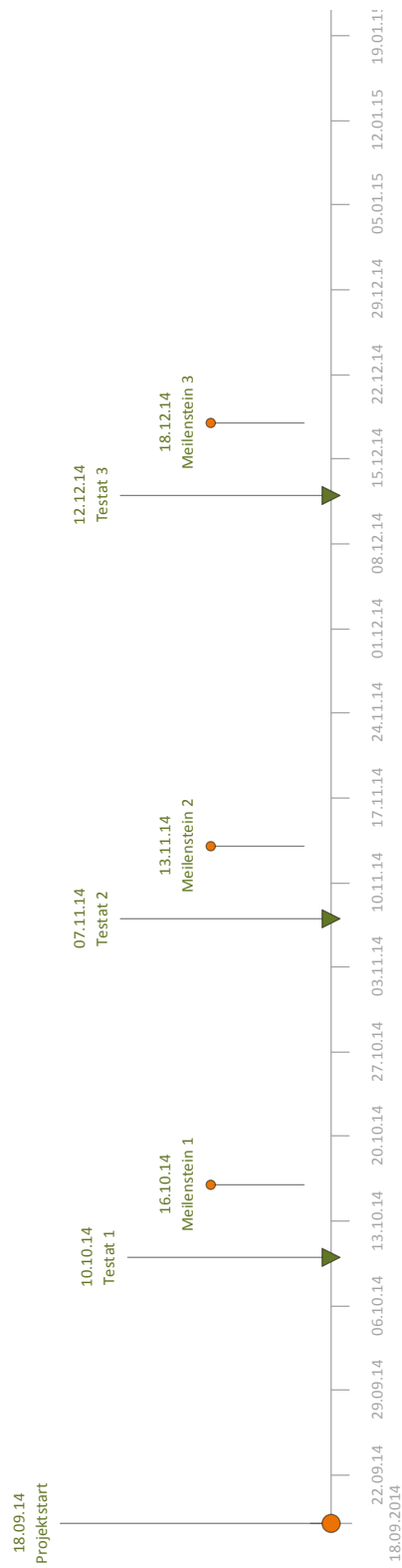
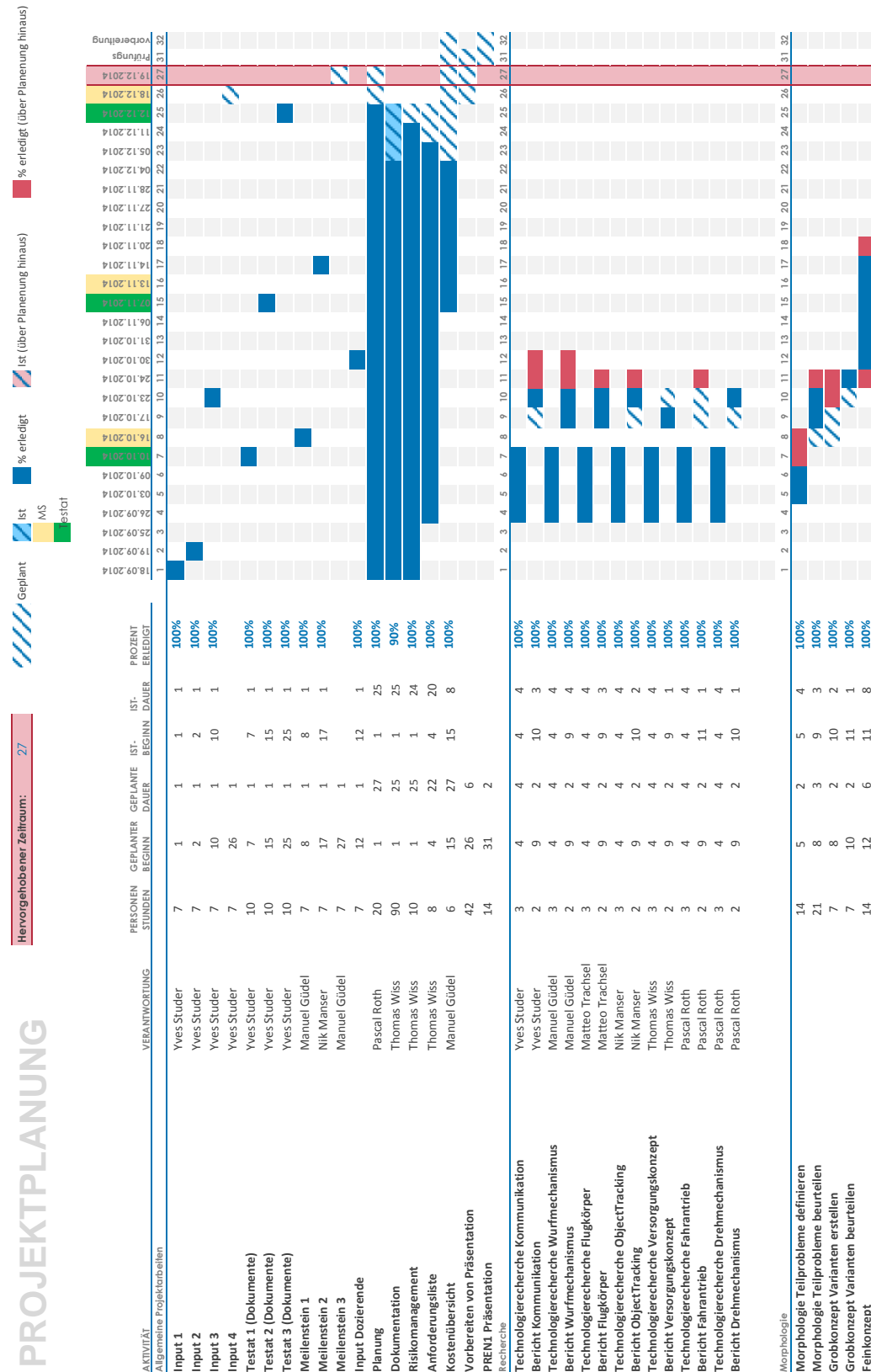
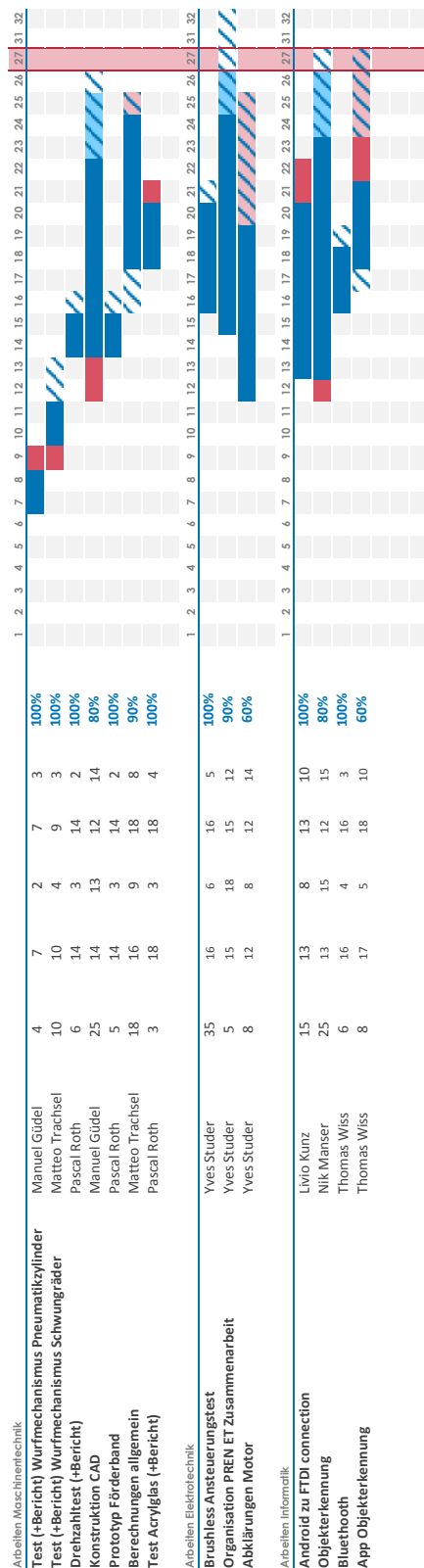


Abb. 20: Zeitplan des Projekts





5.2.1 Erläuterung zur Projektplanung

Um grösstmögliche Übersicht zu haben ist die Projektplanung relativ allgemein gehalten. Das heisst es sind alle Themen und Arbeitsblöcke vorhanden, jedoch ist nicht jeder einzelne Arbeitsschritt der darunter anfällt aufgeführt. Ebenso ist jeweils nur die verantwortliche Person aufgeführt. Sie trägt die Hauptverantwortung über ein Arbeitsblock, jedoch können auch andere Personen daran gearbeitet haben. Zeitangaben sind als Schätzungen zu verstehen. Es wurde kein Journal über die geleistete Arbeitszeit geführt.

Dies ist die Projektplanung über den Zeitraum von PREN1. Arbeiten die noch nicht fertig sind oder aber Arbeiten, die sowieso über den ganzen Zeitraum von PREN laufen, werden Ende PREN1 in eine neue Projektplanung PREN2 überführt. Diese wird mit derselben Excel-Planung gemacht. Dadurch, dass abgeschlossene und nicht mehr relevante Arbeiten nicht mehr aufgeführt sind, wird es wesentlich übersichtlicher.

6 Schlussdiskussion

Die Zusammenarbeit in der Gruppe war ausgezeichnet. Nach einer kurzen Einschwingphase konnte direkt mit der Erarbeitung eines Konzept begonnen werden.

6.1 Rückblick

Eine wichtige Erkenntnis wurde im PREN1-Modul bezüglich kollaboratives Arbeiten gewonnen. Der Austausch aller Dateien fand via Dropbox statt. Dieses Modell zeigte jedoch mit der Zeit schwächen, vor allem bezüglich gemeinsames editieren eines Dokuments. Es wäre daher eine Diskussion wert, die Dokumente welche von mehreren Teammitgliedern bearbeitet werden, auf eine Plattform für kollaboratives Arbeiten (z.B. Google Drive) auszulagern und die Dropbox als reinen Dateiaustausch beizubehalten.

Im PREN2-Modul müssen wir vermehrt und verbessert zu Beginn einer Meilensteinphase absprechen oder abklären, welche Dokumente mit welchem spezifischen Inhalt erstellt sein müssen. Jedesmal mussten wir vor einem Meilenstein die Dokumente überarbeiten oder gar neu erstellen, weil sich zeigte, dass der Inhalt nicht dem Geforderten entsprach.

Wir haben bewusst eine flache Teamhierarchie gewählt und managen unser Projekt so, das jedes Teammitglied die Verantwortung für einen festgelegten Bereich erhält. Generelle Diskussionen zu Projektmanagement-Themen werden im Plenum besprochen und allfällige Entscheide gegebenenfalls gefällt. Bis zum jetzigen Zeitpunkt funktioniert diese Art der Zusammenarbeit ohne grosse Probleme und Reiberein.

Es hat sich gezeigt, dass man in Diskussionen rasch vom eigentlichen Thema abweicht oder nicht mehr zielgerichtet diskutiert. Alle Teammitglieder sollten vermehrt darauf bedacht sein, themenbezogen und effizient an einer Lösung zu diskutieren.

6.2 Ausblick

Abbildungsverzeichnis

1	Funktionsskizze	6
2	Funktionsskizze	8
3	Blockschaltbild der Controller-Hardware	9
4	Schema der DC-Motoransteuerung	10
5	Zeitliche Darstellung der Ansteuerung mit Hall-Sensoren	13
6	Schema des Rekonstruktionsprinzips	14
7	Wahrheitstabelle der Ansteuerung	14
8	Schema des Brushless-Versuchsaufbaus	15
9	Testaufbau	16
10	Signalverlauf eines typischen Modellbau-PWM Signals	16
11	Erste Skizze des Fallback-Konzepts	17
12	Vereinfachtes Puls-Feedback eines Hall-Effekt-Schalters	18
13	Funktionelles Blockschaltbild des Hall-Effekt-Schalters AH180N	18
14	Zeitplan des Projekts	21

Literatur- und Quellenverzeichnis

Atmel AVR443: Sensor-based Control of Three Phase Brushless DC Motor
[Software-Handbuch]. (2013). Atmel Corporation, 1600 Technology Drive, San
Jose, CA 95110 USA.

Tobias Plüss. (2014, November). Hochschule Luzern, Technik und Architektur. (In
einem Gespräch)

A Anhang

A.1 Berechnung

Um einen Ball durch die Schwingräder mit einem gewissen Anpressdruck zu führen, wird ein Drehmoment benötigt. Dazu betrachten wir den Tennisball als eine Feder mit der Federkonstante k . Zur Ermittlung der Federkonstante k wurde der Ball mit einer Masse m beschwert, und die Verschiebung x gemessen.

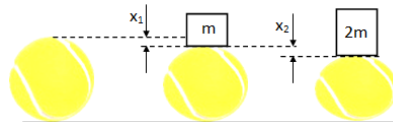


Abb. 21: Prinzip der k-Bestimmung

Gewicht	Auslenkung
1kg	1 mm
2kg	2 mm
3kg	3 mm

Tab. 5: Prinzip der k-Bestimmung

Da x_1 und x_2 in etwa gleich gross sind, kann von einer linearen Federkonstante ausgegangen werden. Damit kann die Kraft, die durch das Stauchen des Balles entsteht mit der Formel

$$F_s = 2 \cdot k \cdot \Delta x \quad (1)$$

bestimmt werden. Die Federkonstante k beträgt $9.8 \frac{N}{mm}$. Das entstehende Drehmoment, wird mit trigonometrischer Beziehung hergeleitet.

$$M = R_s \cdot F_t \quad (2)$$

$$F_t = F_s \cdot \sin(\alpha) \quad (3)$$

$$F_s = 2 \cdot k \cdot \Delta x \quad (4)$$

Da Δx vom Winkel α abhängt, muss die folgende Abhängigkeit gelten:

$$\alpha = R_s \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} \quad b = a - R_s = R_s \left(\frac{1}{\cos(\alpha)} - 1 \right) \quad (5)$$

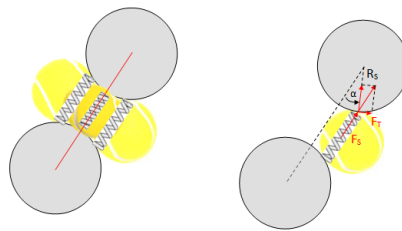


Abb. 22: Prinzip der Kompression