

# Produktentwicklung 1

## Dokumentation

Team 27  
Yannik Küng  
Andriu Maissen  
Daniel Mathis  
Simon Neidhart  
Peter Kounen  
Kevin Wespi  
Daniel Winz

Betreuer Dozent:  
Marco De Angelis

Hochschule Luzern  
Technik & Architektur

9. Januar 2015  
Git revision: 67b10574efbc949de510b9f54cacd6cad3c7a7ca

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichern wir, die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der von uns angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben. Sowohl inhaltlich als auch wörtlich entnommene Inhalte wurden als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in dieser oder vergleichbarer Form noch keinem anderem Prüfungsgremium vorgelegen.

**Datum:** 09.01.2015

**Unterschrift:** Andriu Maissen

**Datum:** 09.01.2015

**Unterschrift:** Daniel Mathis

**Datum:** 09.01.2015

**Unterschrift:** Daniel Winz

**Datum:** 09.01.2015

**Unterschrift:** Kevin Wespi

**Datum:** 09.01.2015

**Unterschrift:** Peter Kuonen

**Datum:** 09.01.2015

**Unterschrift:** Simon Neidhart

**Datum:** 09.01.2015

**Unterschrift:** Yannik Küng

## Management Summary

Die Aufgabe im Modul PREN1 besteht darin ein Konzept für ein Gerät zu entwickeln. Das Gerät soll auf einem definierten Spielfeld autonom fünf Bälle in einen Korb befördern. Es sollen verschiedene Konzepte und Lösungswege erarbeitet werden, damit sich eine optimale Kombination herauskristallisiert. Um eine Grundlage zu schaffen, wurden in einem Brainstorming Ideen, die zu einer Lösung führen, zusammengetragen. Geeignete Ansätze wurden herausgefiltert und in einem weiteren Schritt ausgearbeitet und analysiert. Anhand der Ergebnisse wurden drei Lösungskonzepte ausgewählt. Ein fliegendes, ein fahrendes und ein stehendes Gerät. Anhand von weiteren Risikoanalysen, Berechnungen und Teilfunktionsmustern ist man zum Schluss gekommen, dass ein stehendes Gerät die effektivste und schnellste Lösung ist, um die verlangte Problemstellung zu lösen. Mit dem finalen Konzept des stehenden Gerät wurde eine für uns geeignete Strategie gewählt, welche im PREN2 die erfolgreiche Umsetzung garantiert.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>I</b>
<b>Management Summary</b>	<b>II</b>
<b>1 Projektmanagement</b>	<b>1</b>
1.1 Projektplanung . . . . .	2
1.2 Risikoanalyse allgemein . . . . .	5
<b>2 Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>3 Aufgabenstellung</b>	<b>7</b>
3.1 Gerät . . . . .	7
3.2 Randbedingungen . . . . .	8
3.3 Eigene Anforderungen . . . . .	9
<b>4 Benötigte Funktionen</b>	<b>10</b>
4.1 Art der Bewegung . . . . .	10
4.2 Ballbeförderung . . . . .	10
4.3 Korberkennung . . . . .	10
4.4 Balllager . . . . .	11
4.5 Übermittlung Start- / Endsignal . . . . .	11
4.6 Energieversorgung . . . . .	11
<b>5 Lösungskonzepte</b>	<b>12</b>
5.1 Distanzmessung - optische Erkennung . . . . .	12
5.2 Variante Bodenobjekt fahrend . . . . .	12
5.3 Variante Flugobjekt . . . . .	14
5.4 Variante Bodenobjekt stehend . . . . .	16
5.5 Gegenüberstellung und Bewertung/Fazit . . . . .	18
<b>6 Produktbeschreibung und Funktion</b>	<b>19</b>
6.1 Drehvorrichtung . . . . .	19
6.2 Ballbeschleunigung . . . . .	20
6.3 Ballnachführung . . . . .	21
6.4 Bilderkennung . . . . .	21
6.5 Signalübertragung . . . . .	21
<b>7 Berechnungen</b>	<b>24</b>
7.1 Spielfeld . . . . .	24
7.2 Berechnungen Ballwurf . . . . .	25
<b>8 Tests und Versuche</b>	<b>26</b>
8.1 Mechanik . . . . .	26
8.2 Ultraschallsensor HC-SR04 . . . . .	28
8.3 Infrarot Sensor GP2Y0A710K0F . . . . .	31
8.4 BLDC Ansteuerung . . . . .	34
8.5 Bildverarbeitung . . . . .	37
<b>9 Schlussdiskussion</b>	<b>40</b>
9.1 Erfahrungen . . . . .	40
9.2 Offene Punkte/Risiken/Ausblick . . . . .	40

<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b>	<b>42</b>
<b>A Anhang: Brainstorming</b>	<b>43</b>
<b>B Anhang: Dokumentation BLDC Motor Treiber</b>	<b>45</b>
<b>C Anhang: Dokumentation Schrittmotor Treiber</b>	<b>56</b>
<b>D Anhang: Dokumentation DC Motor Treiber</b>	<b>65</b>
<b>E Anhang: Aufgabenstellung</b>	<b>72</b>

## 1 Projektmanagement

Das Modul PREN ist ein interdisziplinäres Modul. Von jeder der Fachrichtungen Informatik, Elektrotechnik und Maschinenbau ist mindestens eine Person pro Gruppe vertreten. Das Team 27 setzt sich wie folgt zusammen:

- 3 Informatiker
- 3 Maschinenbauer
- 1 Elektrotechniker

Zu Beginn des Moduls wurden den Mitgliedern des Teams verschiedene Funktionen zugewiesen, um eine Struktur und somit Ansprechpersonen innerhalb des Teams zu erhalten. Ersichtlich ist dies in folgendem Organigramm:

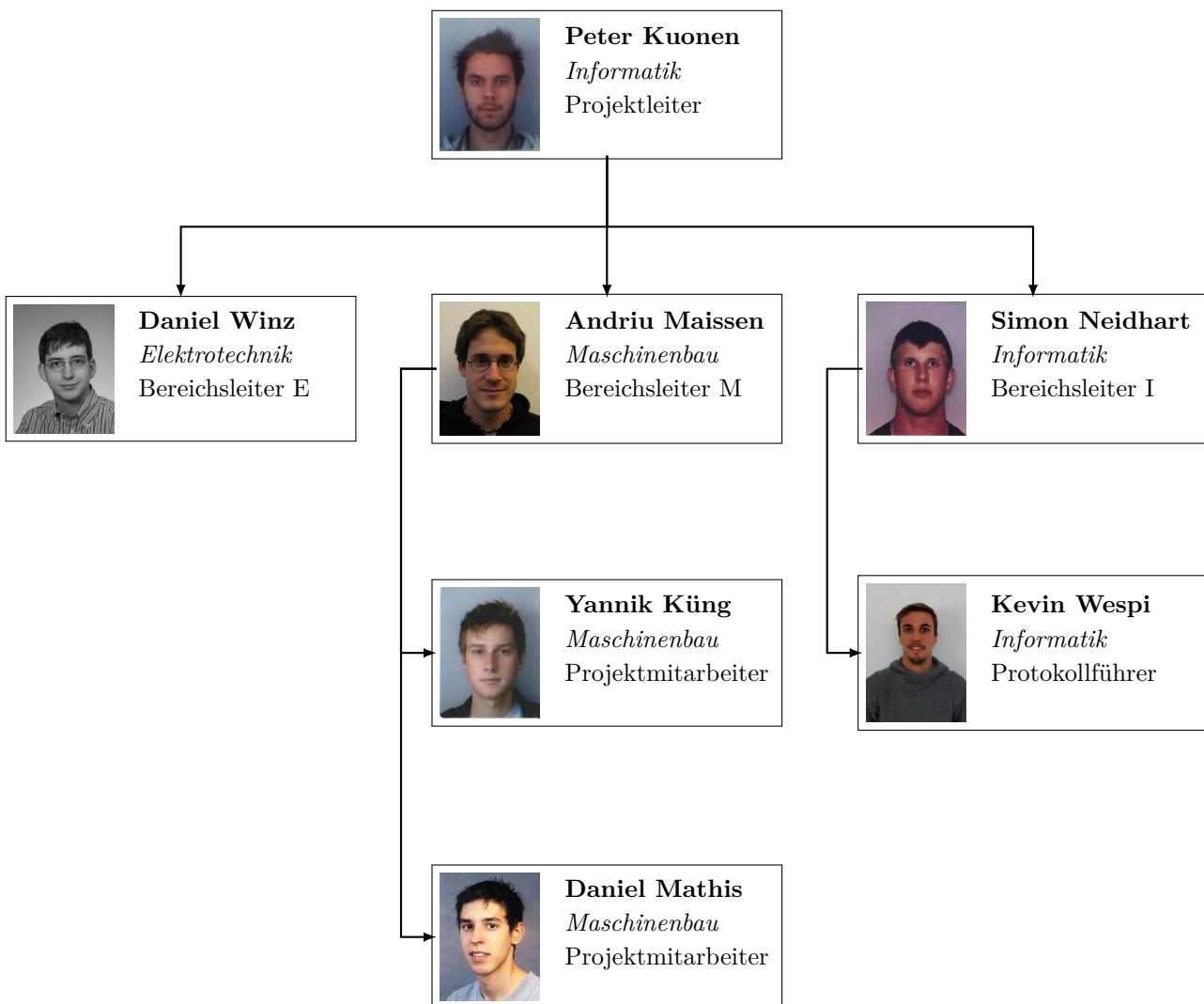


Abbildung 1: Organigramm

## 1.1 Projektplanung

In den folgenden Abbildungen wird die Planung mittels Zeitachsen für die einzelnen Meilensteine dargestellt. Sie enthalten die Hauptaufgaben, welche für die jeweiligen Meilensteine notwendig sind. Die Planung wird angefertigt um die Übersicht über das Projekt zu haben und die verlangten Dokumente und Schritte zur Erfüllung der Meilensteine fristgerecht zu erledigen.

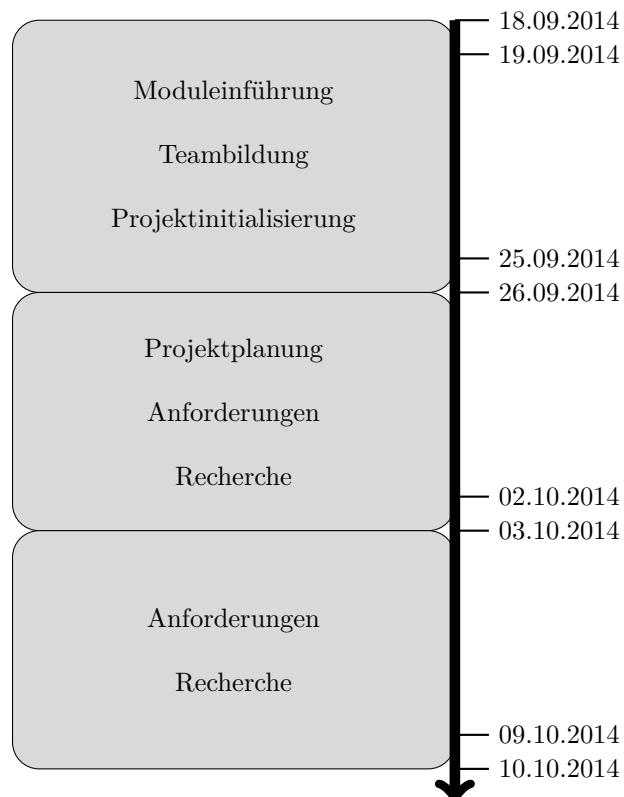


Abbildung 2: Planung Meilenstein 1 (Initialisierungsphase)

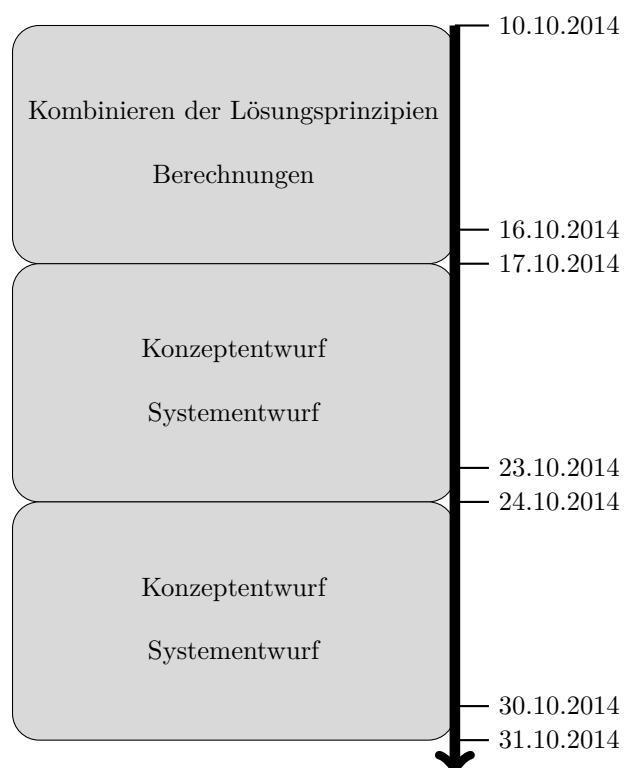


Abbildung 3: Planung Meilenstein 2 (Konzeptphase)

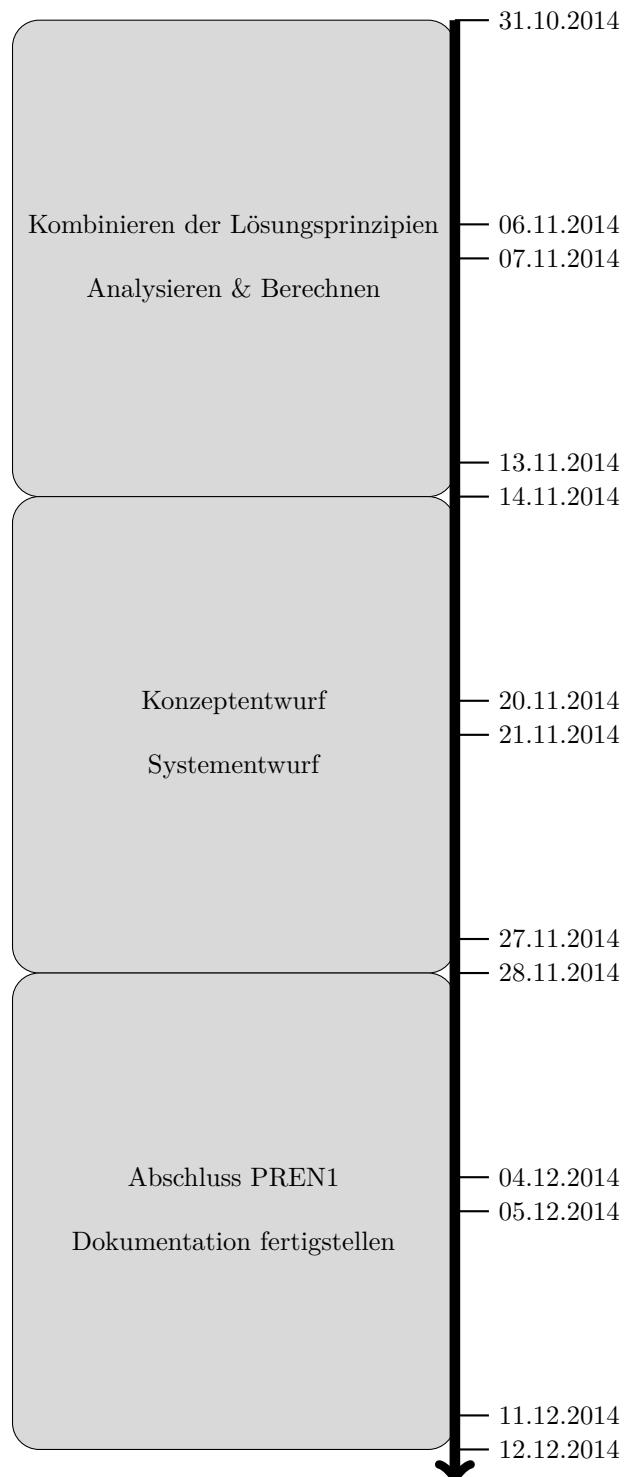


Abbildung 4: Planung Meilenstein 3 (Systementwurfsphase)

## 1.2 Risikoanalyse allgemein

Bevor das Projekt richtig gestartet wird, soll eine allgemeine Risikoanalyse erstellt werden. Das Team hat sich Gedanken darüber gemacht, was fehlschlagen könnte und wie man mit den erkannten Problemen umgehen oder ihnen vorbeugen kann. Zudem wurde die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkung der eruierten Probleme notiert. Mit der Liste im Hinterkopf wird das Projekt mit einem anderen Mindset angegangen und Fehlerquellen werden minimiert.

ID	Beschreibung	Wahrscheinlichkeit	Auswirkung	Massnahmen
#1	Teammitglied Elektrotechnik fällt aus	sehr niedrig	sehr hoch	keine
#2	Teammitglied Maschinenbau fällt aus	sehr niedrig	hoch	Übernahme durch Maschinenbauer
#3	Teammitglied Informatik fällt aus	sehr niedrig	hoch	Übernahme durch Informatiker
#4	Budget wird überschritten	niedrig	hoch	Vorab Kosten abklären
#5	Zeit reicht nicht zur Realisierung	mittel	sehr hoch	Zeitplanung mit Meilensteinen
#6	Eingekaufte Komponente fällt aus	niedrig	hoch	Neu bestellen
#7	Komponente (Eigenbau) fällt aus	niedrig	mittel	Neu bauen
#8	Komponente funktioniert nicht	niedrig	mittel	Komponente reparieren
#9	Berechnungen falsch	sehr niedrig	hoch	Überprüfung durch mehrere Personen
#10	Abmessungseinschränkungen überschritten	sehr niedrig	hoch	Modell bauen
#11	Schnittstellen ungenau definiert	sehr niedrig	sehr hoch	Überprüfung durch mehrere Personen
#12	Startsignal funktioniert nicht	niedrig	hoch	Ausgiebiges Testen
#13	Endsignal nicht übermittelt	niedrig	sehr niedrig	Ausgiebiges Testen
#14	Verfehlen des Korbs	mittel	mittel	Ausgiebiges Testen
#15	Stromversorgung reicht nicht aus	sehr niedrig	mittel	Ausgiebiges Testen
#16	Anforderungen ändern	sehr niedrig	hoch	Neu planen

Tabelle 1: Risikoanalyse allgemein

## 2 Einleitung

Die Module PREN1 und PREN2 (Produktentwicklung) sind Teil des Studiums einer technischen Fachrichtung an der Hochschule Luzern Technik & Architektur (HSLU T&A). Zu Beginn des Moduls werden die Studierenden in interdisziplinäre Teams eingeteilt. Diese Teams umfassen Studierende der Studiengänge Maschinenbau, Informatik und Elektrotechnik. Die Teams erhalten am ersten Tag eine Aufgabe. Diese muss in den zwei daraufliegenden Semestern gelöst werden. Die Aufgabe für das Herbst- und Frühlingssemester 2014/2015 ist es, ein System zu entwickeln, das in der Lage ist, fünf Bälle in einen Korb zu befördern. Einschränkungen bilden dabei die Grösse des Spielfelds und die Bedingung, dass die Bälle entweder geworfen oder geflogen werden müssen. Für weitere Details, siehe Abschnitt 3 Aufgabenstellung.

Um diese Aufgabe zu meistern wurde das System in einzelne Teile separiert. Jedes dieser Teilsysteme hat die Erfüllung eines Teilauftrages als Ziel. Anhand der Ideensammlung wurden möglichst viele Lösungsansätze gesammelt und aufgelistet. Danach folgt eine Technologierecherche, deren Ziel es ist, die geeigneten Technologien und Standards zu finden. Aus den gesamten Recherchen werden Lösungskonzepte erstellt, die eine Kombination der vorher gesammelten Ideen darstellen. All diese Lösungskonzepte sollen theoretisch die Aufgabenstellung sowie die Produktanforderungen erfüllen können. Das aus den Lösungskonzepten ausgewählte Hauptkonzept wird im Frühlingssemester 2015 im Modul PREN2 realisiert.

### 3 Aufgabenstellung

Es soll ein Gerät entwickelt werden, das Bälle in einen Korb befördern kann. Das Spielfeld, auf dem die Aufgabe erledigt werden soll, ist dabei in Abbildung 5 dargestellt. Das Gerät befindet sich vor dem Startsignal im **Startbereich** und darf die in Tabelle 2 definierten Abmessungen nicht überschreiten. Nach dem Startsignal darf sich der Roboter innerhalb von **Start- und Bewegungsbereich** bewegen. Der **verbotene Bereich** darf jedoch weder berührt noch überragt werden. Im **Zielbereich** befindet sich der Korb. Dieser wird erst direkt vor dem Startsignal platziert und muss vom Gerät gefunden werden. Hinter dem Korb befindet sich eine Wand mit einer Höhe von 100 cm. Das Gerät muss die Aufgabe autonom absolvieren. (Adrian Omlin, 2014)

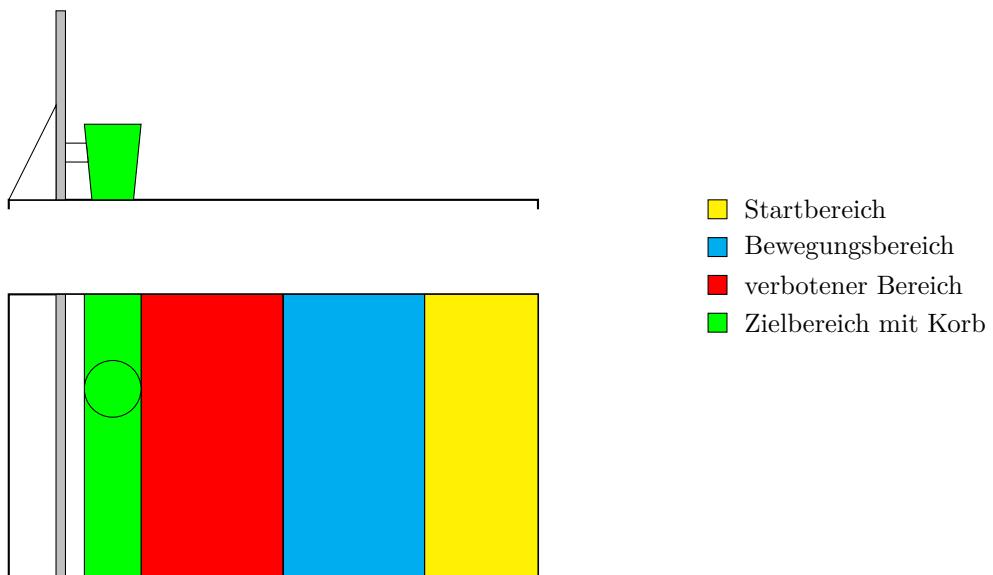


Abbildung 5: Spielfeld

In diesem Kapitel werden die vorgegebenen Anforderungen an das Projekt besprochen. Dazu gehören Anforderungen an das Gerät sowie Rahmenbedingungen. In der Spalte Pflicht ist jeweils die Mindestanforderung beschrieben und in der Spalte Wunsch ist die vom Projektteam als Idealfall bezeichnete Leistung eingetragen. Zusätzlich wird eine Spalte Verantwortlichkeit angegeben. Hier steht in Kurzform welcher Teilbereich von welcher Abteilung (Informatik, Elektrotechnik, Maschinenbau oder Dozenten) im Auge behalten werden muss.

#### 3.1 Gerät

Anforderung	Pflicht	Wunsch	Verantw.
Abmessungen	$\leq 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$		M
Gewicht		$\leq 2 \text{ kg}$	M, E
Startbefehl	drahtlos	drahtlos von Handy	E, I
Übermittlung Endsignal	An gleiches Gerät wie Startsignal		E, I
Aufhängevorrichtung	Kann von Federwaage gewogen werden		M
Design		Optisch ansprechend	M
Korbfindung	selbstständig		E, I
Stromversorgung		Interne Stromversorgung	E

Tabelle 2: Grundanforderungen aus Aufgabenstellung

### 3.2 Randbedingungen

Anforderung	Pflicht	Wunsch	Verantw.
Abmessungen Spielfeld	$\geq 148 \text{ cm} \times 58 \text{ cm}$		Doz
Freie Höhe über Spielfeld	$\geq 1.8 \text{ m}$		Doz
Freier Raum um Spielfeld	$\geq 0.5 \text{ m}$		Doz
Distanz Mittellinie bis Korb	$75 \text{ cm} \dots 1.9 \text{ m}$		Doz
Personensicherheit	muss jederzeit gewährleistet sein		E, I, M
Sicheres Beenden der Aufgabe		ohne Beschädigung des Gerätes	I
Not-Ausschalter	vorhanden	manuelle Steuerung	E, I
Budget	$\leq 600 \text{ Fr.}$		E, I, M
Gewicht Tennisball	$55 \dots 59 \text{ g}$		Doz
Durchmesser Tennisball	$6.3 \dots 7.3 \text{ cm}$		Doz
Durchmesser Korb	$30 \text{ cm}$		Doz
Höhe Korb	$40 \text{ cm}$		Doz
Einrichtzeit	$\leq 5 \text{ min}$	$\leq 2 \text{ min}$	E, I, M

Tabelle 3: Randbedingungen aus Aufgabenstellung

### 3.3 Eigene Anforderungen

Es werden noch spezifisch an Flug- beziehungsweise Bodenobjekte eigene Anforderungen gestellt.

#### 3.3.1 Flugobjekt

Anforderung	Pflicht	Wunsch	Verantw.
Dauer zur Erfüllung der Aufgabe	$\leq 3$ min	1 min	E, I, M
Effizienz	5 Bälle im Korb		E, I, M
Abfluggewicht	$\leq 2$ kg (ohne Bälle)	$\leq 1$ kg (ohne Bälle)	E, M
Funktional	Fokus auf Funktion		E, I, M
Design	Leichtbau	Ansprechendes Design	M
Special-Effects		Beim Abschlussignal soll ein Special-Effect ausgelöst werden (Konfetti, Rauch, Sound, usw.)	E, I, M

Tabelle 4: Eigene Anforderungen an ein Flugobjekt

#### 3.3.2 Bodenobjekt

Anforderung	Pflicht	Wunsch	Verantw.
Dauer zur Erfüllung der Aufgabe	$\leq 3$ min	1 min	E, I, M
Effizienz	min. 3 Bälle im Korb	5 Bälle im Korb	E, I, M
Gewicht	$\leq 8$ kg	$\leq 2$ kg	E, M
Design	Elegantes, spezielles Design	abheben von Konkurrenz	M
Special-Effects		Beim Abschlussignal soll ein Special-Effect ausgelöst werden (Konfetti, Rauch, Sound, usw.)	E, I, M

Tabelle 5: Eigene Anforderungen an ein Bodenobjekt

## 4 Benötigte Funktionen

Aus der Aufgabenstellung können die für das Lösen der Aufgabe benötigten Funktionen extrahiert werden. Diese bestehen aus einem Balllager welches die Tennisbälle vor dem Start aufnimmt. Des weiteren wird, um das Gerät arbeiten zu lassen, ein Startsignal benötigt, welches drahtlos übertragen werden soll. Weitere Teifunktionen sind die Art der Fortbewegung und die Korberkennung. Je nach Art der Fortbewegung wird eine andere Erkennung benötigt. Es wird zudem ein Mechanismus benötigt, der die Bälle in den Korb befördert. Abschliessend wird das Endsignal übermittelt. Damit das Gerät seine Aufgabe erfüllen kann, benötigt es noch eine Energieversorgung. Somit ergeben sich folgende Teifunktionen:

- Art der Bewegung
- Ballbeförderung
- Korberkennung
- Balllager
- Übermittlung Start- / Endsignal
- Energieversorgung

Für jede dieser Teifunktionen werden nun verschiedene Lösungsvarianten erarbeitet. Dies ergibt jeweils eine Zeile des morphologischen Kastens.

### 4.1 Art der Bewegung

Das Gerät muss zum Korb ausgerichtet werden. Wenn ein fliegendes Gerät gebaut wird, wird das ganze Gerät oder ein Teil davon zum Korb geflogen. Wenn das Gerät fahren kann, wird es fahrend vor den Korb verschoben. Wenn das Gerät an einem festen Standort steht, wird es um seine eigene Achse drehend zum Korb ausgerichtet.

Eigenschaften	Merkmalausprägung		
Art der Bewegung	Fliegend	Fahrend	Stehend

Tabelle 6: Morphologischer Kasten Bereich für Art der Bewegung

### 4.2 Ballbeförderung

Die Beförderung der Bälle ist abhängig von der Art der Bewegung des Gerätes. Wenn das Gerät am Boden verbleibt, werden die Bälle geworfen und folgen einer ballistischen Flugbahn. Bei einem Fluggerät werden die Bälle von oberhalb des Korbes abgeworfen.

Eigenschaften	Merkmalausprägung	
Ballbeförderung	Ballistisch	Abwurf

Tabelle 7: Morphologischer Kasten Bereich für Ballbeförderung

### 4.3 Korberkennung

Für die Korberkennung kann ein Sensor zur Distanzmessung verwendet werden. Mit diesem kann das Spielfeld gescannt werden. In der Richtung, in welche die kleinste Distanz gemessen wird, befindet sich der Korb. Das Spielfeld kann auch mit einer Kamera aufgenommen werden. Mittels Bildverarbeitung wird der Korb erkannt und dessen Position ermittelt.

Eigenschaften	Merkmalausprägung	
Korberkennung	Distanz- messung	Optische Erkennung

Tabelle 8: Morphologischer Kasten Bereich für Korberkennung

#### 4.4 Balllager

Das Gerät muss die Bälle vor dem Start aufnehmen. Die Bälle können einzeln gelagert und befördert werden. Alternativ können die Bälle als eine Einheit gelagert und beförtet werden.

Eigenschaften	Merkmalausprägung	
Balllager	Einzeln	Zusammen

Tabelle 9: Morphologischer Kasten Bereich für Balllager

#### 4.5 Übermittlung Start- / Endsignal

Da das Startsignal drahtlos übertragen werden muss, kann dafür kein Kabel verwendet werden. Naheliegend ist die Verwendung von elektromagnetischen Wellen (Funk). Ausserdem kann das Signal optisch mittels Lichtwellen übertragen werden. Die Kommunikation kann auch mit Schallwellen im nicht hörbaren Bereich (Ultraschall) erfolgen. Ist das Gerät mit einer Spracherkennung ausgerüstet, kann das Gerät gesprochene Befehle interpretieren.

Eigenschaften	Merkmalausprägung			
Übermittlung Start- / Endsignal	Funk	Optisch	Ultraschall	Sprach- erkennung

Tabelle 10: Morphologischer Kasten Bereich für Übermittlung Start- / Endsignal

#### 4.6 Energieversorgung

Das Gerät kann mit einem internen elektrischen Energiespeicher ausgerüstet sein. Die elektrische Energie kann jedoch auch von extern mit einem Speisegerät zur Verfügung gestellt werden. Die Bälle können auch mit Hilfe eines Verbrennungsmotors angetrieben werden. Auch Druckluft kann für den Antrieb des Gerätes dienen. Die Bälle können aber auch nur mithilfe von potenzieller Energie beschleunigt werden, indem sie zum Beispiel eine Rampe hinunterrollen. Die Bälle können auch mit einer Feder beschleunigt werden.

Eigenschaften	Merkmalausprägung					
Energieversorgung	intern elek- trisch	extern elektrisch	Verbren- nungsmo- tor	Druckluft	Potenzielle Energie	Feder

Tabelle 11: Morphologischer Kasten Bereich für Energieversorgung

## 5 Lösungskonzepte

Mit diesem Abschnitt sollen die erarbeiteten Konzepte gegenübergestellt und anhand von vorgegebenen Kriterien bewertet werden. Dies ergibt eine Auswahl der optimalen Kombination, welche in einem nächsten Schritt ausgearbeitet wird. Das daraus resultierende, definitive Konzept wird im nachfolgenden Kapitel "Produktbeschreibung Funktion" näher erläutert. Das im Anhang beigefügte Dokument "Brainstorming" zeigt die ersten Ideen für die verschiedenen Funktionsweisen. Hierbei wird weder auf Risiken, Kosten noch auf Umsetzbarkeit geachtet. In einem weiteren Schritt werden die sinnvollsten Kombinationen in morphologischen Kästen kombiniert und für die jeweiligen Lösungen erweitert und ausgewertet.

### 5.1 Distanzmessung - optische Erkennung

Für das Erkennen des Korbs kann die Distanzmessung mittels Laser oder Ultraschall aufgrund der Tests in Kapitel 8 ausgeschlossen werden, da die getesteten Sensoren für die Erkennung des Korbes nicht geeignet sind. Aus diesem Grund wird in den folgenden morphologischen Kästen auf Distanzmessung als Option verzichtet und standardmäßig optische Erkennung ausgewählt.

### 5.2 Variante Bodenobjekt fahrend

#### 5.2.1 Kurzbeschrieb

Bei diesem Konzept soll die Abschussvorrichtung fahrend sein. Hierbei kann die Wurfdistanz zum Ziel verringert werden und auch das Zielen mittels Bewegung erfolgen.

#### 5.2.2 Funktionsweise

Eine fahrende Lösung wäre durch das anfängliche Ausrichten des Geräts und den anschliessenden Wurf ein technisch anspruchsvoller und interessanter Ansatz. Jedoch wird gerade aufgrund dieser Punkte das Erreichen der Projektziele erschwert. Das Fahren benötigt im Vergleich zu einem direkten Wurf, welcher durch die kurze Distanz gut realisierbar ist, viel Zeit. Auch wird die Konstruktion durch die Fortbewegung komplizierter und somit teurer und schwerer. Durch die klare Aufgabenstellung ist eine universellere Nutzung mit eventuellen Erweiterungsmöglichkeiten nicht nötig.

#### 5.2.3 Morphologischer Kasten

Eigenschaften		Merkmalausprägung		
Art der Bewegung		Fliegend	Fahrend	Stehend
Ballbeförderung	Ballistisch		Abwurf	
Korberkennung	Distanzmessung		Optische Erkennung	
Balllager	Einzelne		Zusammen	
Übermittlung Start- / Endsignal	Funk		Optisch	Ultraschall Spracherkennung
Energieversorgung	intern elektrisch	extern elektrisch	Verbrennungsmotor	Druckluft Potenzielle Energie Feder

Tabelle 12: Morphologischer Kasten Bodenobjekt fahrend

#### 5.2.4 Vor- und Nachteile

- + auffallend
- + Distanz zum Korb ist immer gleich
- langsam (lange Ausrichtzeit)
- aufwändige Konstruktion
- hohes Gewicht

#### 5.2.5 Risikoanalyse Konzept 1 (Bodenobjekt fahrend)

ID	Beschreibung	Wahrscheinlichkeit	Auswirkung	Massnahmen
#17	Fahrmechanismus funktioniert nicht	niedrig	hoch	verschiedene Fahrmechanismen testen
#18	Ausrichten funktioniert nicht	niedrig	sehr hoch	Testobjekt bauen, möglichst einfache Konstruktion
#19	Balllager (Nachschieben) streikt	sehr niedrig	hoch	Mechanismus einbauen, der nicht blockiert
#20	Umfallen durch Rückstoss	sehr niedrig	niedrig	breiterer Stand, Rückstoss berechnen

Tabelle 13: Risikoanalyse Bodenobjekt fahrend

### 5.3 Variante Flugobjekt

#### 5.3.1 Kurzbeschrieb

Hierbei handelt es sich um ein fliegendes Objekt, in der Art eines Quadrocopters. Die Bälle werden alle gleichzeitig vom Quadrocopter abgeworfen.

#### 5.3.2 Funktionsweise

Bei einem fliegenden Objekt besteht die Schwierigkeit darin, eine gut funktionierende Regelung zu entwickeln um das Flugobjekt ruhig in der Luft zu halten, die gewünschte Position genau anzufliegen und ein Wegdriften zu vermeiden. Vom Startpunkt aus bewegt sich das Objekt in der Luft, erkennt den Korb optisch mit einer Kamera und fliegt anschliessend über diesen und wirft dort die Bälle ab. Die Bälle müssten nicht einzeln abgeworfen werden, sie könnten alle zusammen in einem entsprechenden Behälter transportiert und abgeworfen werden. Sollte der Korb korrekt erkannt worden sein und das Flugobjekt sich richtig über ihn bewegt haben, kann eine hundertprozentige Erfolgsquote erreicht werden. Sollte jedoch nur eine dieser Bedingungen nicht erfüllt werden, verfehlt automatisch sämtliche Bälle das Ziel und die Aufgabe wird nicht erfüllt. Bezuglich des Gewichts hat ein Flugobjekt grosse Vorteile. Da das Eigengewicht sowieso tief gehalten werden muss, wird es einfach sein, das Gesamtgewicht unter zwei Kilogramm zu halten. Zudem muss beachtet werden, dass ein Flugobjekt eine gewisse Zeit braucht, um den Korb zu erkennen und sich anschliessend auch passend darüber zu positionieren. Am meisten gegen ein Flugobjekt spricht jedoch die Risikoanalyse: Es gibt sehr viele Faktoren, welche kontrolliert und überwacht werden müssen. Dies ist sowohl zeit- als auch rechenintensiv.

#### 5.3.3 Morphologischer Kasten

Eigenschaften	Merkmalausprägung		
Art der Bewegung	Fliegend	Fahrend	Stehend
Ballbeförderung	Ballistisch	Abwurf	
Korberkennung	Distanzmessung	Optische Erkennung	
Balllager	Einzelne	Zusammen	
Übermittlung Start- / Endsignal	Funk	Optisch	Ultraschall Spracherkennung
Energieversorgung	intern elektrisch	extern elektrisch	Verbrennungsmotor Druckluft Potenzielle Energie Feder Energie

Tabelle 14: Morphologischer Kasten Flugobjekt

#### 5.3.4 Vor- und Nachteile

- + sehr leicht
- + auffallend
- + schnell, da alle Bälle gleichzeitig transportiert werden
- sehr aufwändige Programmierung
- hohes Risiko (minimaler Fehler führt zum Scheitern der Aufgabe)

### 5.3.5 Risikoanalyse Konzept 2 (Flugobjekt)

ID	Beschreibung	Wahrscheinlichkeit	Auswirkung	Massnahmen
#21	Seitliches Abdriften	hoch	hoch	Stabilisation einbauen
#22	Unkontrollierte Steigung	niedrig	sehr hoch	Notschalter einbauen
#23	Ausfall eines Motors	niedrig	hoch	keine
#24	Gewicht zu Gross (hebt nicht ab)	sehr niedrig	sehr hoch	Leichtbau, anderes Material
#25	Ausklinken funktioniert nicht	sehr niedrig	mittel	verschiedene Mechanismen testen

Tabelle 15: Risikoanalyse Flugobjekt

## 5.4 Variante Bodenobjekt stehend

### 5.4.1 Kurzbeschrieb

Hierbei handelt es sich um eine Variante die nicht fahren kann. Die Schussvorrichtung ist drehbar.

### 5.4.2 Funktionsweise

Dieses Gerät lokalisiert den Korb mit optischen Sensoren und richtet die Schussvorrichtung danach aus. Der Abschusswinkel bleibt fix, die Richtung und Schussweite können eingestellt werden. Die Bälle werden mit einem ballistischen Mechanismus abgeschossen. Angenommen, das Gerät wird im Startfeld mittig an der Startlinie positioniert, und der Korb wird ganz am Rand des Feldes positioniert, ergibt sich für die maximale Wurfänge 1992.49 mm. Die minimale Wurfänge (Korb wird mittig positioniert) beträgt 1900 mm. Da der Korb einen Durchmesser von 30 cm hat, könnte somit immer gleich weit geschossen werden, vorausgesetzt die Schussweitentoleranz beträgt weniger als  $\pm 10$  cm (siehe Kapitel "Berechnungen"). Dies ist deshalb auch die grösste Schwierigkeit bei dieser Variante. Da nur eine drehbare Schussvorrichtung nötig ist, wird die Mechanik stark vereinfacht. Dadurch kann der Fokus auf den Leichtbau gelegt werden, so dass das Projektziel, das Gewicht unter 2 kg zu halten, erreicht werden sollte. Die Bälle werden nacheinander geschossen. Wie schnell dies passieren kann, ist abhängig von der Konstruktion und von der Massenträgheit des Antriebes und dem Drehmoment des Motors. Nach ersten Experimenten kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Frequenz sehr hoch ist.

### 5.4.3 Morphologischer Kasten

Eigenschaften	Merkmalausprägung		
Art der Bewegung	Fliegend	Fahrend	Stehend
Ballbeförderung	Ballistisch	Abwurf	
Korberkennung	Distanzmessung	Optische Erkennung	
Balllager	Einzelne	Zusammen	
Übermittlung Start- / Endsignal	Funk	Optisch	Ultraschall Spracherkennung
Energieversorgung	intern elektrisch	extern elektrisch	Verbrennungsmotor Druckluft Potenzielle Energie Feder

Tabelle 16: Morphologischer Kasten Bodenobjekt stehend

#### 5.4.4 Vor- und Nachteile

- + einfache Mechanik
- + durch einfache Mechanik geringeres Gewicht
- + sehr schnell
- + bessere Bodenhaftung für Rückschlag
- Schussgenauigkeit muss gewährleistet sein
- wenig Spielraum mit der Balldicke und dem Balldruck
- Bälle werden nacheinander geschossen, deshalb zeitaufwändiger

#### 5.4.5 Risikoanalyse Konzept 3 (Bodenobjekt stehend)

ID	Beschreibung	Wahrscheinlichkeit	Auswirkung	Massnahmen
#26	Drehung funktioniert nicht	sehr niedrig	mittel	Ausgiebiges Testen
#27	Abschussmechanismus fällt aus	sehr niedrig	hoch	Testobjekt bauen, einfache Konstruktion
#28	Balllager (Nachschieben) streikt	sehr niedrig	hoch	Mechanismus bauen, der nicht blockiert
#29	Umfallen durch Rückstoss	sehr niedrig	niedrig	Breiterer Stand, Rückstoss berechnen
#30	Genauigkeit des Schusses	mittel	hoch	Gleichmässige Beschleunigung garantieren

Tabelle 17: Risikoanalyse Bodenobjekt stehend

## 5.5 Gegenüberstellung und Bewertung/Fazit

Für die Gegenüberstellung der einzelnen Varianten werden folgende Bewertungskriterien angewendet:

Gewicht: Dieses Kriterium beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit dem Gesamtgewicht unter 2 kg zu bleiben.

Dauer: Die Zeit, bis Aufgabe erledigt ist wird mit diesem Kriterium bewertet. Eine hohe Zahl bedeutet dabei eine kurze Zeit.

Genauigkeit: Dieses Kriterium beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass alle Bälle in Korb landen.

Risikofaktor: Mit diesem Kriterium werden die Risiken bewertet, dass das Endprodukt nicht fertiggestellt werden kann. Ein hoher Wert beschreibt dabei eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass das Endprodukt funktioniert.

Aufwand: Der Aufwand beschreibt die Arbeit die investiert werden muss, um das Projekt erfolgreich umzusetzen. Ein hoher Wert entspricht dabei einem geringen Aufwand.

Die einzelnen Kriterien sind bewusst nicht gewichtet, da alle Kriterien gleich wichtig sind.

	Bodenobjekt fahrend	Flugobjekt	Bodenobjekt stehend
Gewicht	2	10	8
Dauer	3	6	7
Genauigkeit	6	5	7
Risikofaktor	6	3	7
Aufwand	5	4	9
Total	22	29	38

Tabelle 18: Gegenüberstellung Varianten

Die detaillierte Ausarbeitung der einzelnen Lösungskombinationen führt zum Schluss, dass das stationäre Gerät mit drehbarer Abschussvorrichtung die ideale Lösung für unsere Gruppe ist und so die Projektziele bezüglich Gewicht und Geschwindigkeit am besten erreicht werden können. Durch die einfache Bauweise kann Gewicht eingespart werden und durch die simple Funktionsweise wird das Risiko verringert. Für den Drehturm spricht ebenfalls, dass er in keinem der von uns bewerteten Punkte eine schlechte Bewertung aufweist. Im Vergleich schneidet das Flugobjekt besonders in der Risikobeurteilung schlecht ab und das fahrende Objekt sammelt beim Gewicht Negativpunkte. Durch einfache Berechnungen konnten ein Teil der benötigten Leistungsparameter abgeschätzt werden. (Siehe Abschnitt 7 Berechnungen) Der Drehturm präsentiert sich somit als solideste Gesamtlösung.

## 6 Produktbeschreibung und Funktion

Aufgrund der Resultate der Evaluation der Lösungsprinzipien wird beschlossen, das Konzept der stationären Abschussvorrichtung (Drehturm) weiter auszuarbeiten.

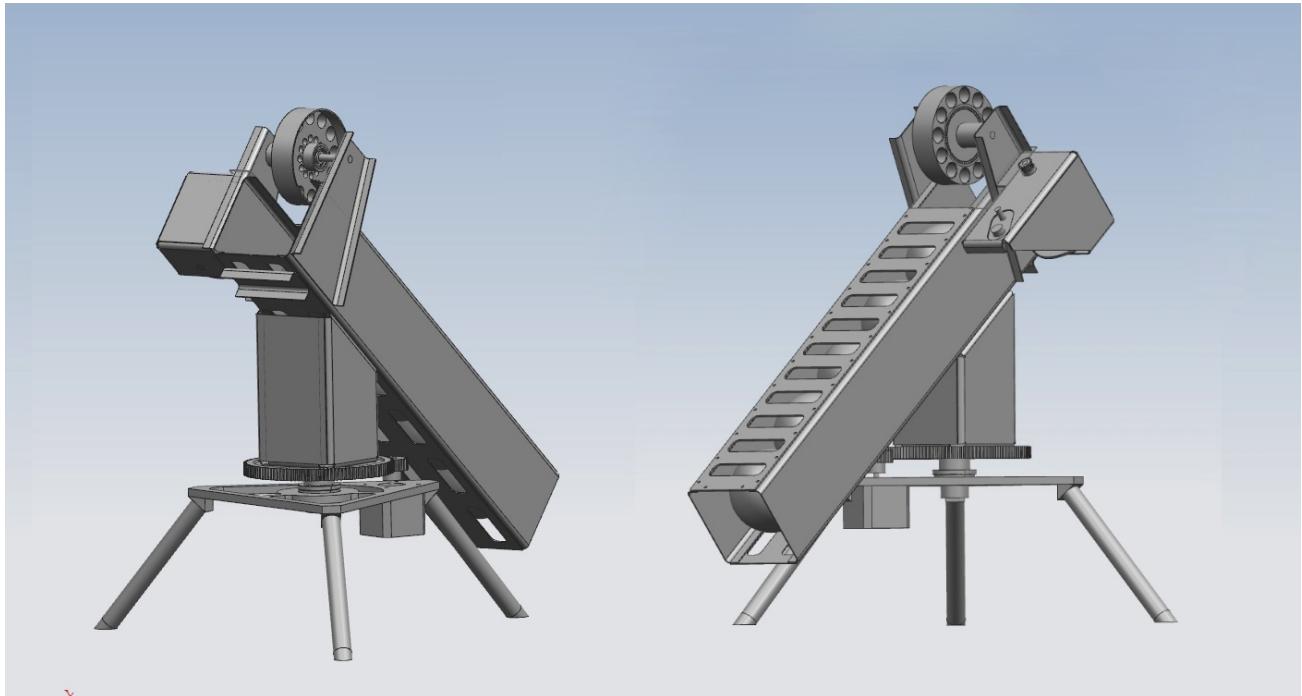


Abbildung 6: Drehturm

Hierbei handelt es sich um ein nicht fahrbares, autonom arbeitendes Gerät mit einer in horizontaler Richtung drehbaren Abschussvorrichtung. Der gesamte Aufbau des Abschussmechanismus inklusive Balllager befindet sich auf einer drehbaren Plattform, welche auf einem geeigneten Stativ platziert ist. Die Plattform wird durch einen Schrittmotor und eine Zahnradübersetzung präzise in Position gebracht. Der Abschusswinkel in vertikaler Richtung ist hierbei fixiert.

Die Abschussvorrichtung besteht im Wesentlichen aus einem Balllager, einer Ballnachführung und einem sich schnell drehenden Rad, welches die Bälle auf die gewünschte Abschussgeschwindigkeit beschleunigt. Die Bauweise dieser drei Komponenten soll integral erfolgen, wobei das längliche, quaderförmige Balllager als Hauptstruktur dient. An diesem sind sowohl das Rad für die Ballbeschleunigung als auch die Komponenten der Ballnachführung befestigt.

### 6.1 Drehvorrichtung

Das unterste Element des Gerätes besteht aus einer kleinen, möglichst leichten Bodenplatte. An dieser Bodenplatte werden drei Beine (Rohrform) angeschraubt. Mit zwei Axial-Kugellagern wird ein grosses Zahnrad (Zähnezahl  $z_1=120$ ) auf der Bodenplatte befestigt. Auf dieses wird anschliessend der gesamte Aufbau, bestehend aus Turm, Balllagerung und Abschussvorrichtung, montiert.

Um eine genaue Ausrichtung zu gewährleisten, wird das antreibende Zahnrad (Zähnezahl  $z_2=25$ ) mit einem Schrittmotor mit 200 Schritten angetrieben (Schrittmotor QSH 4218, QMot.eu). Bei 200 Schritten ergibt sich eine Genauigkeit von  $1.8^\circ$ , mit einer Übersetzung von  $z_1/z_2=4.8$  ergibt das eine Ausrichtgenauigkeit von  $0.375^\circ$ . Dies bedeutet für eine Distanz von 1900 mm eine seitliche Abweichung von  $1900 \cdot \tan(0.375^\circ) = 12.5$  mm. Somit wird diese Abweichung bei einem Korbdurchmessen von 30 cm keine Rolle spielen. Des Weiteren wird mit einem geeigneten Treiber für den Schrittmotor sogar noch eine höhere Genauigkeit erreicht, da Zwischenschritte

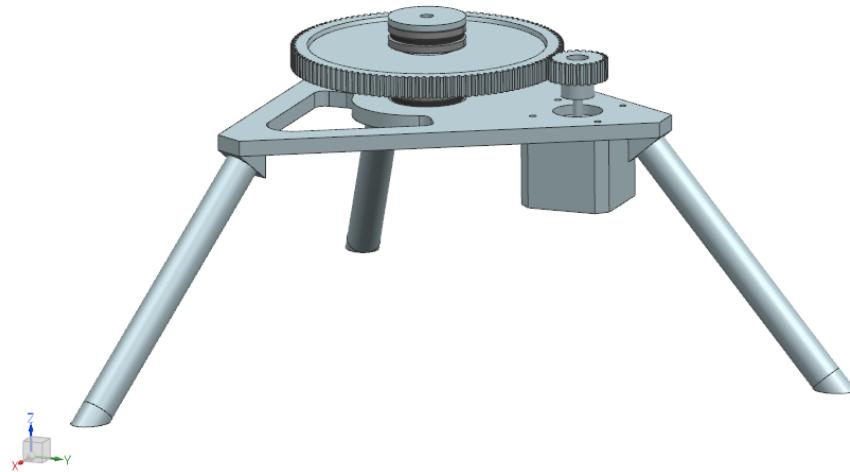


Abbildung 7: Drehvorrichtung

eingebaut werden können. Diese sind jedoch vom Trägheitsmoment der Konstruktion und vom Drehmoment des Motors abhängig.

## 6.2 Ballbeschleunigung

Das Rad für die Ballbeschleunigung soll auf der Oberseite des Balllagers positioniert sein. Auf der Unterseite wird eine geeignete Platte befestigt, um so den benötigten Anpressdruck zu erzeugen. Das Rad wird mit einem BLDC

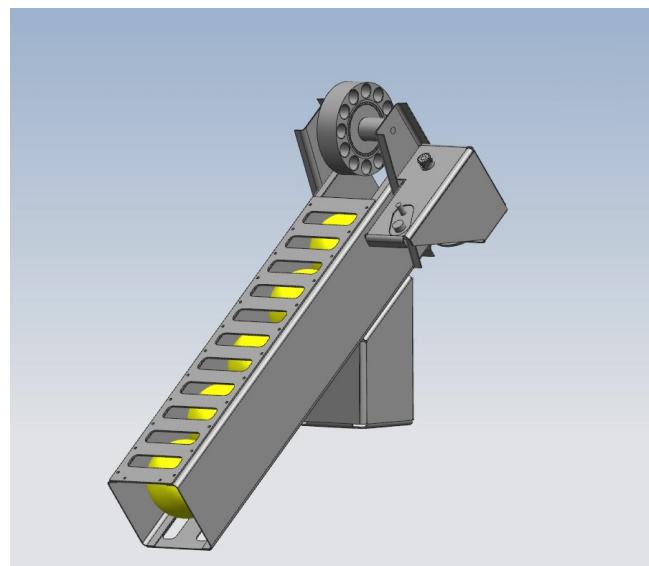


Abbildung 8: Balllager, Ballbeschleunigung und Ballnachführung

Motor angetrieben. Dabei handelt es sich um einen elektronisch kommutierten Gleichstrommotor. Das Aufbau des Motors ähnelt dabei dem einer Synchronmaschine. Da ein Motor mit einer für diese Aufgabe tiefen

Drehzahl nicht erhältlich ist, wird dieser selbst gebaut. Dafür werden die Motoren aus alten Diskettenlaufwerken ausgebaut und deren Stator separiert. Dazu muss die alte Wicklung entfernt werden. Um den magnetischen Querschnitt zu erhöhen, werden zwei Statoren aufeinander gelegt. Der Stator wird neu bewickelt. Der Rotor wird aus Aluminium CNC gefräst und mit einem Rückschlussring aus Stahl versehen. Die Magnete für das Magnetsystem werden eingeklebt.

### 6.3 Ballnachführung

Die Ballnachführung wird durch ein im Inneren des Ballagers verlaufendes Band realisiert. Dieses wird durch eine an der Aussenseite des Ballagers angebrachten Trommel aufgewickelt und zieht so die einzelnen Bälle in Richtung Abschussrad. Durch einen Spalt in der Seitenwand des Ballagers wird das Band von der Aussenseite in die Innenseite geführt. Gleichzeitig wird so der Abstand des vollständig aufgewickelten Bands zum Beschleunigungsrad begrenzt, so dass ein Verklemmen nicht möglich ist. Die Trommel wird durch einen mit einem Zahnriemen verbundenen Schrittmotor angetrieben.

### 6.4 Bilderkennung

Ziel der Bilderkennung ist es, zu erkennen, wo sich der Korb auf der Spielfläche befindet. Das Bild muss so verarbeitet werden, dass in einem ersten Schritt der Korb erkannt wird und in einem zweiten Schritt die Position errechnet werden kann.

#### 6.4.1 Hardware

Bei der Bildverarbeitung ist zu beachten, dass sie sehr rechen- wie auch speicherintensiv ist. Um eine Analyse eines Bildes durchzuführen sind diverse mathematische Funktionen wie auch farbanalytische Schritte nötig. Je schneller die Berechnung ausgeführt werden soll, desto grössere Rechenleistung wird benötigt. Deshalb wird entschieden, die Bildverarbeitung auf ein Laptop auszulagern. Dieses sollte neben genügend Speicher auch ausreichend Rechenleistung zur Verfügung stellen können. Da sämtliche Studierende bereits über ein Laptop verfügen, vereinfacht sich die gemeinsame Entwicklung auf dem Endgerät.

#### 6.4.2 Software

Als Entwicklungssprache für die Bildverarbeitung hat sich die Gruppe, basierend auf der Technologierecherche, für Java entschieden. Dies vor allem auch, weil sämtliche Elektrotechnik- und Informatikstudierende aufgrund der besuchten Module bereits Erfahrungen mit Java sammeln konnten. Doch Java ist auch bezüglich der Kompatibilität und Schnittstellen mit diversen Entwicklungsumgebungen und Sprachen die erste Wahl. Die vorhandenen Entwicklungsumgebungen können dank der breiten Community durch die zahlreichen Plug-ins fast beliebig erweitert werden. Die Technologierecherche hat ergeben, dass OpenCV die geeignete Bildverarbeitungsbibliothek ist. Dies unter anderem auch, weil es über eine sehr grosse und auch aktive Community verfügt. Ebenfalls aufgrund der grossen Beliebtheit von OpenCV werden sehr viele Plattformen unterstützt, was uns bei der Wahl unserer Betriebssysteme, Komponenten und Entwicklungsumgebungen kaum einschränkt.

### 6.5 Signalübertragung

Die Signalübertragung befasst sich mit der Kommunikation zwischen den beteiligten Komponenten. Einerseits wird ein leichtgewichtiges Signal benötigt, um den Start und das Ende der Aufgabe zu symbolisieren. Andererseits wird auch für die Übermittlung der Befehle an den Roboter ein solches eingesetzt werden. Für die Übertragung des Bildes ist allerdings ein Übermittlungsstandard nötig, der auf eine grössere Bandbreite zurückgreifen kann.

#### 6.5.1 Start- und Endsignal

Das Startsignal wird drahtlos vom Laptop auf den Roboter übertragen. Nachdem dieser die Aufgabe ausgeführt hat, sendet er wiederum drahtlos das Endsignal an den Laptop. Aufgrund der Technologierecherche wird

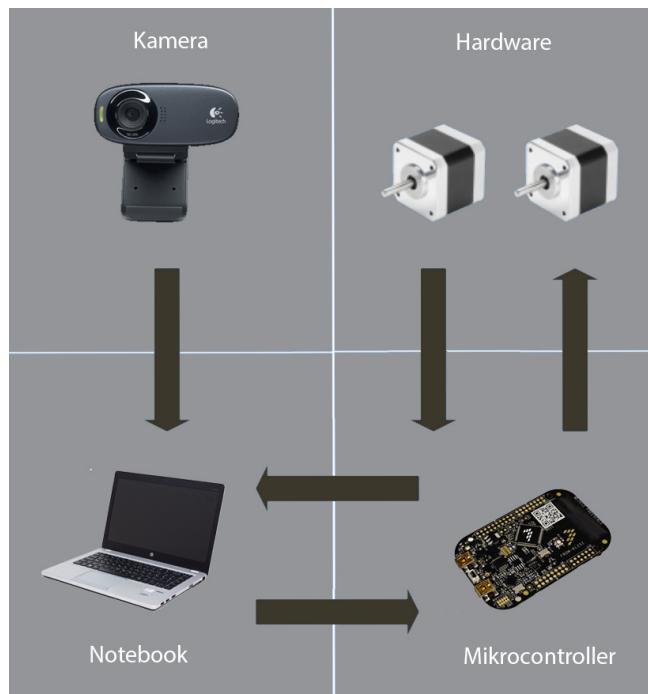


Abbildung 9: Kommunikationsablauf

entschieden, dass sich Bluetooth am besten für diese Übertragung eignet. Im Vergleich mit Infrarot und USB konnte sich Bluetooth durchsetzen, da es durch entsprechende Module sowohl Mikrocontroller als auch reguläre Computer unterstützt. Die vorgegebenen Schnittstellen vereinfachen die drahtlose Kommunikation.

### 6.5.2 Befehlsübermittlung an Turm

Für die Übertragung der Befehle an den Turm wird ebenfalls Bluetooth verwendet. Nachfolgend ist eine Liste mit möglichen Befehlen zur Steuerung des Turms und einer kurzen Beschreibung zu sehen:

- **turnRight(Ticks)**  
Dreht den Turm die übergebene Anzahl Ticks nach rechts (negative Ticks ergeben eine Drehung nach links).
- **shoot**  
Initiiert den Schuss.
- **fill**  
Bringt das Beförderungsband für die Bälle zurück in die Ausgangsposition.
- **resetTower**  
Dreht den Turm in die neutrale Position zurück und bringt das Beförderungsband in die Ausgangsposition.
- **statusPosition**  
Erfragt die Drehstellung des Turms in Ticks (0 ist bei Endschalter, positive Richtung nach rechts).
- **statusBat**  
Erfragt die Akkuspannung (praktisch für Hinweise, ob der Akku geladen werden soll oder nicht).
- **statusShoot**  
Erfragt die aktuelle Drehzahl des Rads.

- **statusFeed**

Erfragt, wo die Position der Ballnachführung ist.

Die Befehle werden als Strings übermittelt.

### 6.5.3 Bildübermittlung

Je höher die Auflösung des vorhandenen Bildes ist, desto genauer kann die Position des Korbes vom Laptop bestimmt werden. Je höher die Auflösung, desto grösser wird die Bilddatei, die zum Laptop übermittelt werden muss. Am naheliegendsten wäre die Verwendung von Bluetooth gewesen. Doch aufgrund von ungenügender Bandbreite muss auf einen anderen Übermittlungsstandard zurückgegriffen werden. Die Bildübertragung kann unabhängig vom Mikrocontroller geschehen. So kann sich dieser alleine auf die Abarbeitung des Schiessvorgangs konzentrieren. Das Bild wird separat entweder direkt von einer Kamera oder von einem weiteren Mikrocontroller übermittelt. Um diese Übermittlung durchzuführen wird WLAN ausgewählt. Dies vor allem, weil WLAN ein sehr verbreiteter Standard ist und fast von allen Geräten unterstützt wird. Zudem können im Handel WLAN-fähige Kameras für unter 50 CHF erworben werden.

## 7 Berechnungen

### 7.1 Spielfeld

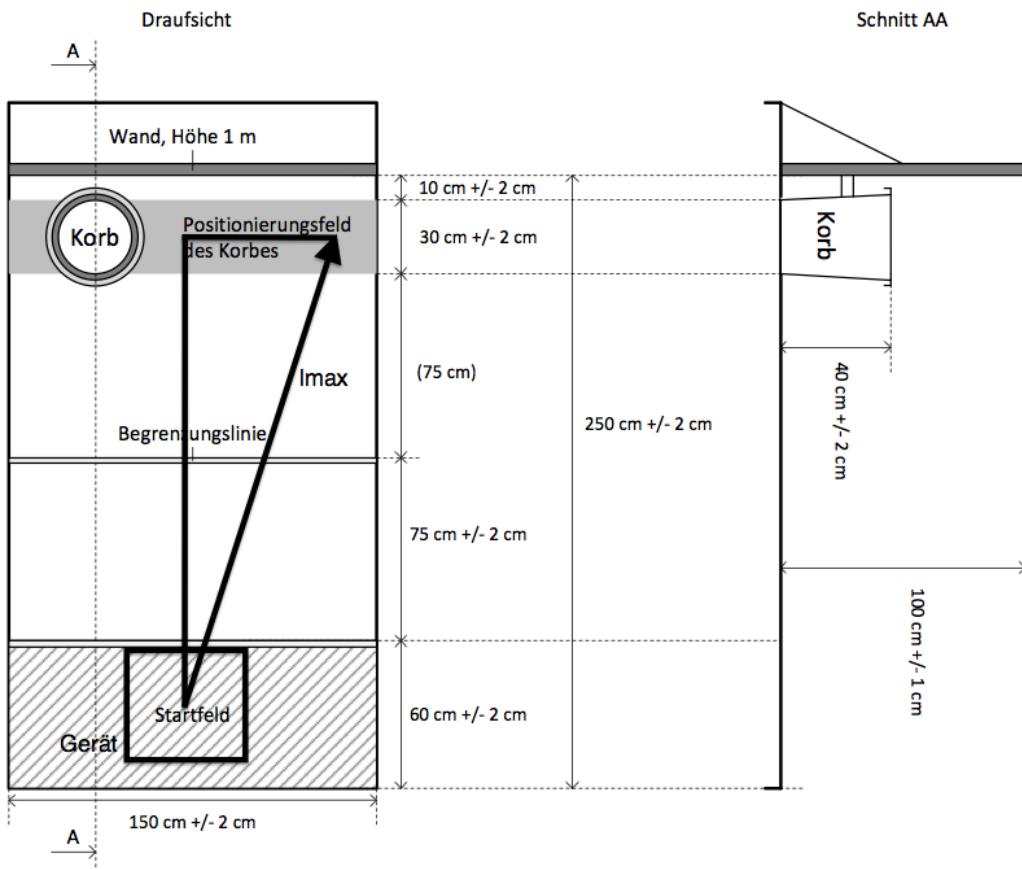


Abbildung 10: Spielfeld

Angenommen das Gerät wird im Startfeld mittig an der Startlinie positioniert, ausschliesslich mit einer drehbaren Abschussvorrichtung ausgerüstet, und der Korb ganz am Rand des Feldes positioniert, so ergibt sich für die maximale Wurflänge  $l_{max}$  folgender Wert:

$$l_{max} = \sqrt{(600 \text{ mm})^2 + (1900 \text{ mm})^2} = 1992.49 \text{ mm}$$

Somit ergibt sich im schlechtesten Fall ein Längenunterschied von 9.25 cm. Je nachdem wie hoch die Wurfgenauigkeit ist, können die 9.25 cm in Anbetracht des Korbdurchmessers von 30 cm vernachlässigt werden. Unter der Voraussetzung dass die Zielgenauigkeit sehr hoch ist, kann ein Drehturm mit immer gleicher Wurflänge konstruiert werden. Bei der Variante Bodenobjekt stehend (Siehe Kapitel 5.4 und Kapitel 6.), für die wir uns entschieden haben, kann die Wurflänge mit sehr einfachen Mitteln über die Drehzahl eingestellt werden, somit ist keine so hohe Zielgenauigkeit nötig.

## 7.2 Berechnungen Ballwurf

Angenommen der Ball wird auf der Höhe des Korbes abgeworfen, kann mit folgender Formel berechnet werden, mit welcher Geschwindigkeit der Ball geworfen werden muss, falls er in einem Winkel  $\alpha$  von  $65^\circ$  geworfen wird:

$$v_0 = \sqrt{\frac{s_x}{\sin(2 \cdot \alpha)} \cdot g} = \sqrt{\frac{1.9 \text{ m}}{\sin(2 \cdot 65^\circ)} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 4.93 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die maximale Höhe von 1.8 Metern darf nicht überschritten werden. Die Höhe die, der Ball erreicht lässt sich folgendermassen berechnen:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin(\alpha)^2}{2 \cdot g} = \frac{4.93 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \sin(65^\circ)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.018 \text{ m}$$

Die Zeit, die der Ball braucht, bis er im Korb ist, lässt sich folgendermassen berechnen:

$$t = \frac{s_x}{v_0 \cdot \cos(\alpha)} = \frac{1.9 \text{ m}}{4.93 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos(65^\circ)} = 0.911 \text{ s}$$

Nun werden die gleichen Rechnungen mit einem Winkel von  $70^\circ$  durchgeführt:

$$v_0 = \sqrt{\frac{s_x}{\sin(2\alpha)} \cdot g} = \sqrt{\frac{1.9 \text{ m}}{\sin(2 \cdot 70^\circ)} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5.385 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin(\alpha)^2}{2 \cdot g} = \frac{5.385 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \sin(70^\circ)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.305 \text{ m}$$

$$t = \frac{s_x}{v_0 \cdot \cos(\alpha)} = \frac{1.9 \text{ m}}{5.385 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos(70^\circ)} = 1.032 \text{ s}$$

Wenn man davon ausgeht, dass es sich bei der Abschussgeschwindigkeit ein absoluter Fehler von  $\pm 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  einstellt, kann berechnet werden, mit welchem Winkel die Distanz mehr variiert:

Winkel  $65^\circ$ :

$$s_x = \frac{(v_0 \pm \Delta v)^2 \cdot \sin(2 \cdot \alpha)}{g} = \frac{(4.93 \frac{\text{m}}{\text{s}} \pm 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot \sin(2 \cdot 65^\circ)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$s_{x\max} = 2.136 \text{ m} \quad s_{x\min} = 1.674 \text{ m}$$

Winkel  $70^\circ$ :

$$s_x = \frac{(v_0 \pm \Delta v)^2 \cdot \sin(2 \cdot \alpha)}{g} = \frac{(5.385 \frac{\text{m}}{\text{s}} \pm 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot \sin(2 \cdot 70^\circ)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$s_{x\max} = 2.118 \text{ m} \quad s_{x\min} = 1.694 \text{ m}$$

Bei einer Abschussgeschwindigkeitsänderung von lediglich  $\pm 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ergibt sich bereits eine Abweichung der Wurfweite von  $\pm 20 \dots 25 \text{ cm}$ . Die Geschwindigkeit muss sehr genau eingestellt werden können und sehr konstant sein.

Anhand dieser Berechnungen kann man auch sagen, dass die Längenänderung mit grösser werdendem Winkel kleiner wird. Somit wäre es besser, den Ball in einem grösseren Winkel zu schiessen. Allerdings muss dann der Ball schneller geschossen werden (mehr Energieaufwand, grösserer Rückstoss), der Weg wird länger und der Flug dauert länger. Die grösste Reichweite wird mit einem Abschusswinkel von  $45^\circ$  erreicht. Für die von uns gewählte Variante Bodenobjekt stehend (Siehe Kapitel 5.4 und Kapitel 6.) wird der Abschusswinkel voraussichtlich  $50^\circ$  betragen (Siehe Kapitel 8.1.1).

## 8 Tests und Versuche

### 8.1 Mechanik

#### 8.1.1 Schussvorrichtung

Die Hauptaufmerksamkeit zu Beginn gilt dem Prozess des Schiessens / Befördern der Bälle. Aus diesem Grund wird entschieden, einen Versuchsaufbau zu konstruieren, um diese Funktion auf ihre Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu testen. Als erstes wird ein Aufbau hergestellt, welcher die Bälle mit Hilfe eines Rades beschleunigt. Die Konstruktion besteht hauptsächlich aus Holz. Dadurch ist es einfach, Anpassungen vorzunehmen. Die Lagerung der Welle mit welcher das Rad aus dem Modellbau dreht, wird mit zwei im Holz eingepressten Kugellagern realisiert. Da die berechnete Drehzahl des Rades zwischen 700 U/min bis 900 U/min liegt, muss ein passender Motor gefunden werden. Motoren in diesem Drehzahlbereich sind jedoch sehr rar. Aus diesem Grund wird auf einen Motor, welcher bei RC-Modellautos eingesetzt wird, zurückgegriffen. Dieser hat eine Drehzahl von über 20'000 U/min und muss deshalb stark unterersetzt werden, um die gewünschte Raddrehzahl zu erhalten. Die Unterersetzung wird mit zwei Riemscheiben und einem O-Ring gelöst. Dadurch wird eine Unterersetzung von ca. 1:30 erreicht damit der Ball die richtige Abschussgeschwindigkeit erhält. Da dieser Motor einen relativ hohen Drehzahleinbruch hat sobald ein Ball geschossen wird, muss nach einer Alternative gesucht werden. Der zweite Motor, mit welchem getestet wird, stammt aus dem Flugzeugmodellbau und ist ein Brushless Innenläufer Motor mit Getriebe. Mit diesem können die Bälle in sehr kurzen Abständen mit nahezu gleich bleibender Drehzahl geschossen werden. Der Abschusswinkel bei diesen Versuchen wird experimentell ermittelt und mit ca. 50° als optimal festgelegt.

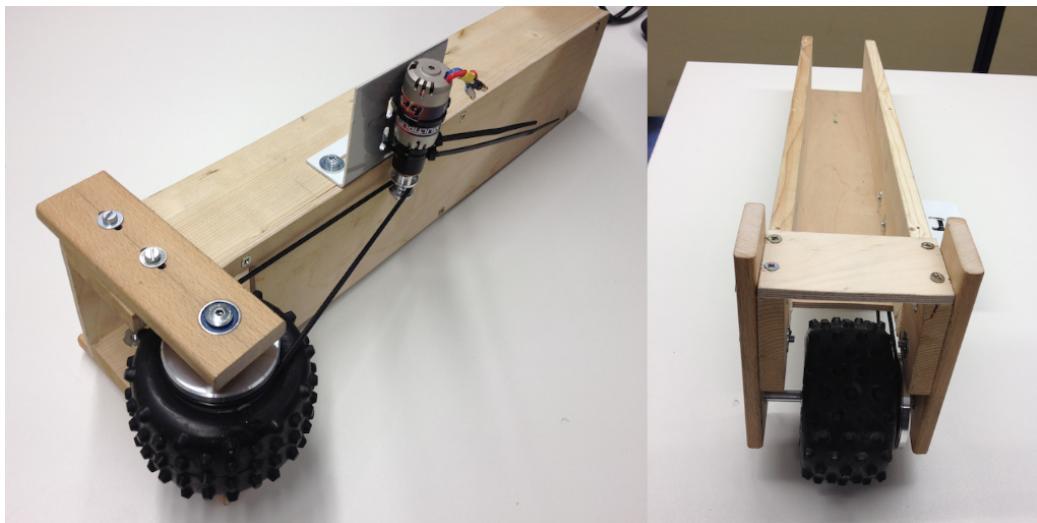


Abbildung 11: Schussvorrichtung

Anschliessend wird ein Mechanismus gesucht, mit welchem die Bälle gleichmässig zum Beschleunigungsrad geführt werden können, damit die Wurfweite nicht beeinflusst wird. Die Idee ist es, mit einem umschlingenden Band die Bälle nacheinander zuzuführen. Beim Versuch wird als Band eine 0.1 mm dicke Präzisionsstahlfolie verwendet. Diese zeichnet sich durch eine hohe Stabilität, Aufrollbarkeit und ein geringes Gewicht aus. Beim Test ist das Band auf der einen Seite befestigt, umschlingt alle Tennisbälle und wird kurz vor dem Rad durch einen Schlitz im Holz nach draussen geführt. Für dieses System wurde noch kein Prototyp gefertigt.

### 8.1.2 Drehvorrichtung

Beim Test der Drehvorrichtung wird darauf geachtet, dass genau die Komponenten verwendet werden, welche auch für die schlussendliche Lösung vorgesehen sind. Der ganze Versuch wird daher auf einer 1/4 Zoll dicken Aluminium Platte aufgebaut. Als Antrieb dient ein Schrittmotor mit 200 Schritten pro Umdrehung (QSH 4218, QMot.eu). Die Übersetzung wird mit zwei Zahnrädern ( $z_1=25$  und  $z_2=120$ ) realisiert. Die Idee ist es, den Turm schlussendlich direkt auf dem grossen Zahnrad aufzubauen, um weitere Komponenten zu sparen. Für die Lagerung, welche ausschliesslich axiale Kräfte aushalten muss, werden zwei UBC Bearing Axial-Rillenkugellager 51104 verwendet. Diese Lagerung ermöglicht das Drehen des grossen Zahnrades und zugleich ein spielfreies Einstellen, was für die Genauigkeit sehr entscheidend sein wird. Der Test ist erfolgreich, da festgestellt wird, dass die gewählten Komponenten zum angestrebten Resultat führen. Denn erstens dreht sich das grosse Zahnrad optisch betrachtet ausreichend schnell und zweitens ist genügend Kraft vorhanden, um den Turm zu drehen, da das Zahnrad von Hand nicht blockiert werden kann.

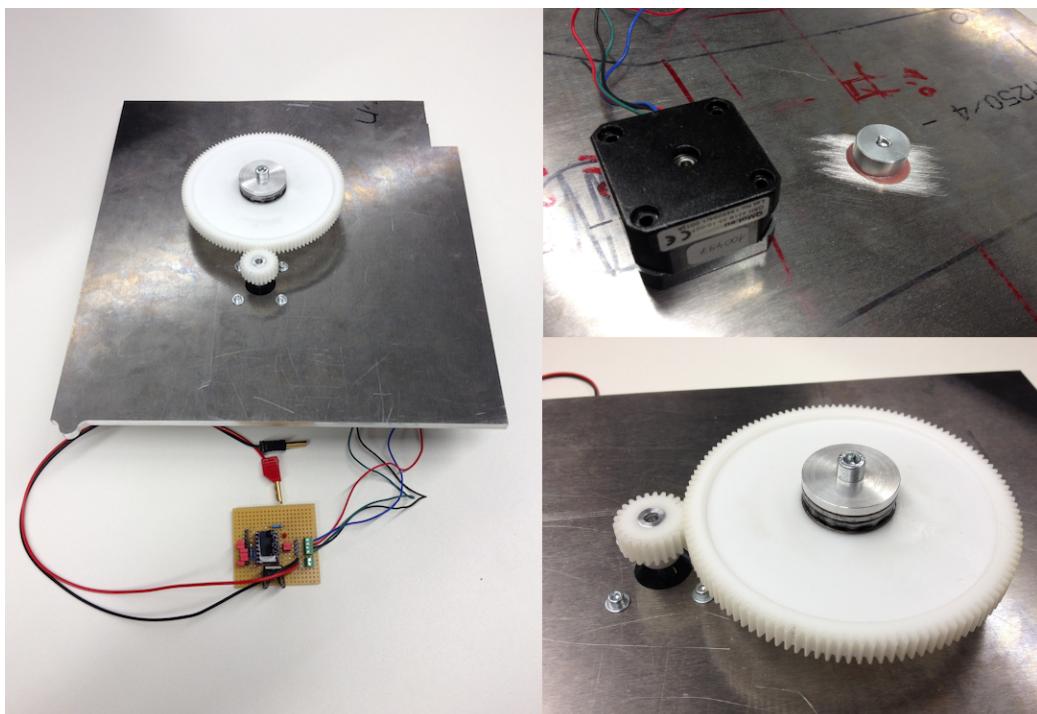


Abbildung 12: Drehvorrichtung

## 8.2 Ultraschallsensor HC-SR04

Diese Messung wird gemeinsam mit Gruppe 39 durchgeführt.

Ein sehr verbreitetes Modul für die Distanzmessung mittels Ultraschall ist das Modul HC-SR04. Dieses misst Distanzen mittels der Laufzeit von Schall. Dazu wird ein Ultraschall Impuls ausgesendet. Dieser wird von einem Objekt in der Umgebung reflektiert. Die Reflektion wird mit einem Ultraschallempfänger aufgefangen und in ein digitales Signal umgewandelt. Aufgrund der Länge dieses digitalen Signals und der Schallgeschwindigkeit kann

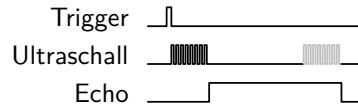


Abbildung 13: Zeitdiagramm der Ansteuerung des Ultraschallsensors HC-SR04

nund die Distanz des Objekts bestimmt werden.

$$D = \frac{T \cdot c_{Luft}}{2}$$

$D$  Distanz

$T$  Pulsweite des Signals

$c_{Luft}$  Schallgeschwindigkeit in Luft

Mit diesem Sensor werden Messungen durchgeführt, um festzustellen, ob es geeignet ist, einen Eimer zu detektieren.

### 8.2.1 Messmittel

Gerät	Typ	Nummer
Speisegerät	Hameg 8040	SN 409128765
Oszilloskop	Agilent MSO6052A	Inv. Nr. 45; S/N: MY44001905
Pulsgenerator	Hameg 8035	Inv. Nr. 44
Mainframe	Hameg 8001	Inv. Nr. 108

Tabelle 19: Messmittel

Die Messungen werden im Raum B332c durchgeführt.

### 8.2.2 Ansteuerung

Pin	Beschreibung
VCC	+5V DC
Trig	Trigger-Eingang (Startsignal)
Echo	Echo-Feedback
GND	Masse (0V)

Tabelle 20: Pinbelegung

### 8.2.3 Testeimer

Als Testeimer wird der Abfalleimer aus dem Raum C200 verwendet.

Eigenschaft	Wert
Durchmesser oben	38 cm
Durchmesser unten	33 cm
Höhe	48 cm
Farbe	Schwarz (matt)
Material	Kunststoff
Hersteller	Helit
Typ	61062

Tabelle 21: Definition Testeimer

### 8.2.4 Messung Messgenauigkeit

Die folgenden Werte sind statistisch aus mindestens 1000 Einzelmessungen ermittelt.

Abstand [cm]	Impuls mean [ms]	Std. Dev. [ $\mu$ s]
50	2.987	2.4
60	3.503	2.4
70	4.060	10
80	4.766	24
90	5.230	10
100	5.807	11
110	6.413	13
120	7.040	16
130	7.722	22
140	8.229	16
150	8.854	15
160	9.500	43
170	10.06	22
180	n.a.	n.a.

Tabelle 22: Messwerte Messgenauigkeit

Anschliessend wird eine weitere Messung durchgeführt. Dabei wird eine Holzplatte mit einem Abstand von 180 cm verwendet. Als Platte dient ein Regalbrett aus dem Raum B332c. Der Median beträgt 10.45 ms bei einer Standardabweichung von 9.7  $\mu$ s.

Die Standardabweichung ist ein Mass für das Rauschen des Signals. Um mit einem Eimer die selbe Standardabweichung zu erhalten wie mit einem flachen Gegenstand, darf die Messdistanz nur etwa ein Drittel sein.

→ Deutlich besseres Signal auf flachen Gegenständen als auf Runden.

### 8.2.5 Messung seitliche Empfindlichkeit

Um die seitliche Empfindlichkeit zu testen, wird der Eimer unter einem bestimmten Winkel vor dem Sensor aufgestellt. Der Abstand wird dabei so eingestellt, dass der Sensor den Eimer gerade noch erkennt. Die erzielte Distanz wird gemessen.

Zwischen 25° und 30° hat der Sensor in einem Abstand von 75 bis 90 cm einen blinden Bereich, in welchem der Eimer nicht erkannt wird.

Winkel [°]	Messbereich [cm]
0	180
5	123
10	120
15	119
20	113
25	106
30	104
35	77
40	0

Tabelle 23: Messwerte seitliche Empfindlichkeit

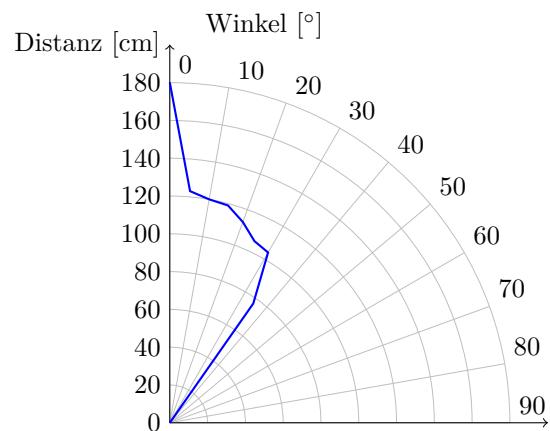


Abbildung 14: Diagramm seitliche Empfindlichkeit

### 8.2.6 Fazit

Für eine Distanzmessung gegen einen flachen Gegenstand kann der Sensor verwendet werden und erzielt eine hohe Genauigkeit. Der Sensor ist jedoch nicht geeignet, um den Eimer zu finden, da der Sensor über einen zu breiten und zu ungenau definierten Winkel empfindlich ist. Der HC-SR04 wird somit nicht weiter als Sensor zur Detektion des Eimers weiterverfolgt.

### 8.3 Infrarot Sensor GP2Y0A710K0F

Diese Messung wird gemeinsam mit Gruppe 39 durchgeführt.

Das Modul GP2Y0A710K0F von Sharp ist ein Infrarotsensor, mit welchem Distanzen gemessen werden können. Die Messung basiert auf Triangulation. Der Sensor beinhaltet eine Infrarot LED (Light emitting diode) mit einer Linse. Das vom Objekt reflektierte Licht fällt über eine weitere Linse auf eine Reihe von Photoempfängern. Damit wird gemessen, unter welchem Winkel das reflektierte Licht auf den Sensor trifft. Die Distanz lässt sich wie folgt berechnen:

$$D = d \cdot \arctan(\alpha)$$

$D$  Distanz zum Objekt

$d$  Abstand der Linsen (38mm)

$\alpha$  Winkel des zurückreflektierten Lichts gegenüber der Sensorebene

Preislich bewegt sich der Sensor im selben Rahmen wie Ultraschall Module.

#### 8.3.1 Eckdaten

Eigenschaft	Wert
Messbereich	1 ... 5.5 m
Interface	Analog
Strombedarf	<50 mA
Spannung	4.5 - 5.5 V

Tabelle 24: Eckdaten (Sharp Corporation, 2006)

#### 8.3.2 Testkorb

Als Testkorb wird der Abfallkorb aus dem Raum C200 verwendet.

Eigenschaft	Wert
Durchmesser oben	38 cm
Durchmesser unten	33 cm
Höhe	48 cm
Farbe	schwarz (matt)
Material	Kunststoff
Hersteller	Helit
Typ	61062

Tabelle 25: Definition Testkorb

#### 8.3.3 Messmittel

Die Messungen werden im Raum B332c durchgeführt. Die Messstrecke liegt dabei auf der ersten Tischreihe. Der Sensor ist am Ende der Wand montiert.

#### 8.3.4 Messung Abtastung

Um die Funktionsweise des Sensors besser zu verstehen, wird zunächst die Abtastung des Sensors ermittelt. Dazu wird die ausgesandte Infrarotstrahlung mittels einer Photodiode (SFH213) gemessen. Um die Diode zu entladen, wird ein Widerstand mit 100 kΩ parallel an die Diode angeschlossen.

Gerät	Typ	Nummer
Speisegerät	Hameg HM8040	SN 409128765
Mainframe	Hameg 8001-2	Inv. Nr. 108
Oszilloskop	Agilent MSO6052A	Inv. Nr. 45
Signalgenerator Servo	SM Modellbau Unitest 2	SN: 25494.3

Tabelle 26: Messmittel

Die Messung zeigt, dass der Sensor mit Impulspaketen arbeitet. Die Pulse haben eine Pulsweite von  $155 \mu\text{s}$  und eine Periodendauer von 1 ms. Ein Impulspaket besteht aus acht Pulsen und wird alle 16 ms wiederholt. Dieser Wert deckt sich mit dem vom Hersteller angegebenen Wert von  $16.5 \text{ ms} \pm 3.7 \text{ ms}$ . vgl. (Sharp Corporation, 2006)

### 8.3.5 Messung Messgenauigkeit

Die Messung der Messgenauigkeit wird bei geschlossenen Storen durchgeführt. Zudem ist die Beleuchtung bis auf die Tafelbeleuchtung eingeschaltet. Die Werte werden aus mindestens 100 Messungen bestimmt.

Bei den Messungen zeigt sich, dass das Abtastintervall im Signal sichtbar ist und somit nicht gefiltert wird.

Abstand [cm]	Vout (mean) [V]	Std. Dev [mV]
50	3.09	542
60	3.09	1.15
70	2.94	6.8
80	2.71	10.7
90	2.46	19.0
100	2.18	27.0
110	2.33	11.6
120	1.83	26.2
130	1.58	23.6
140	1.58	29.4
150	1.33	30.0
160	1.21	33.5
170	0.979	44.5
180	0.871	32.1
190	0.818	24.7
200	0.776	26.1
210	0.809	24.1
220	0.868	29.7

Tabelle 27: Messwerte Messgenauigkeit

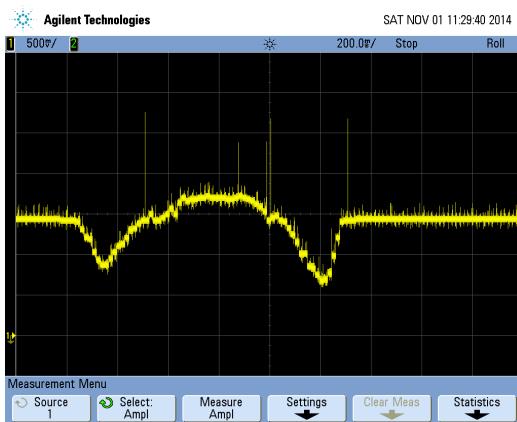
Ausserdem zeigt sich, dass das Ergebnis stark vom seitlichen Versatz des Eimers gegenüber der Sensorachse abhängig ist.

### 8.3.6 Messung Durchfahren eines Objektes

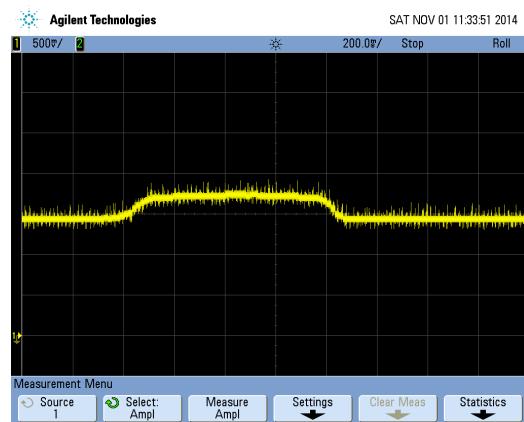
Der Eimer wird vor dem Sensor durchfahren. Anschliessend wird der Eimer mit weissem Papier beklebt und der Versuch erneut durchgeführt. Der Eimer hat dabei eine Distanz von 2 m zum Sensor. Die Wand hinter dem Sensor hat einen Abstand von 2.6 m zum Sensor.

### 8.3.7 Messung Scan mit Servomotor

Als letzter Versuch wird der Sensor auf ein Servo montiert und hin und her gedreht. Damit wird ein Scan, wie er in einer Anwendung durchgeführt wird, nachgebildet. Die Dauer eines Scans beträgt 0.72 s. Der Abstand



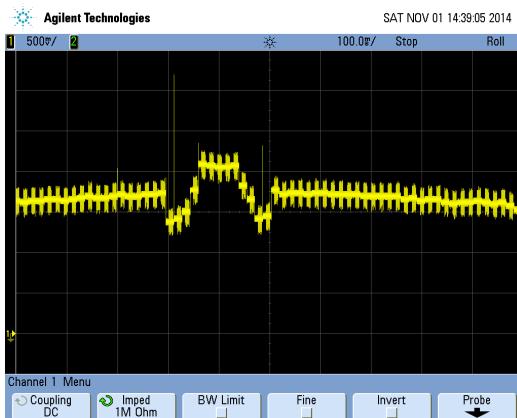
Schwarzer Korb



Weisser Korb

Abbildung 15: Durchfahren des Korbes

zwischen Eimer und Sensor beträgt 1.39 m. Die Wand hinter dem Eimer hat eine Distanz von 2 m zum Sensor. Auch dieser Versuch wird mit einem schwarzen und mit einem weissen Eimer durchgeführt.



Schwarzer Korb



Weisser Korb

Abbildung 16: Scan mit Korb

### 8.3.8 Fazit

Der Sensor ist nicht geeignet, um den Korb zu finden. Aufgrund der schwarzen Farbe und der runden Form wird der Korb nur in der Mitte erkannt. An den Rändern ist die Reflektion in Richtung Sensor zu schwach um den Korb erkennen zu können.

## 8.4 BLDC Ansteuerung

Diese Messung wird gemeinsam mit Gruppe 32 durchgeführt.

### 8.4.1 Aufbaubeschreibung

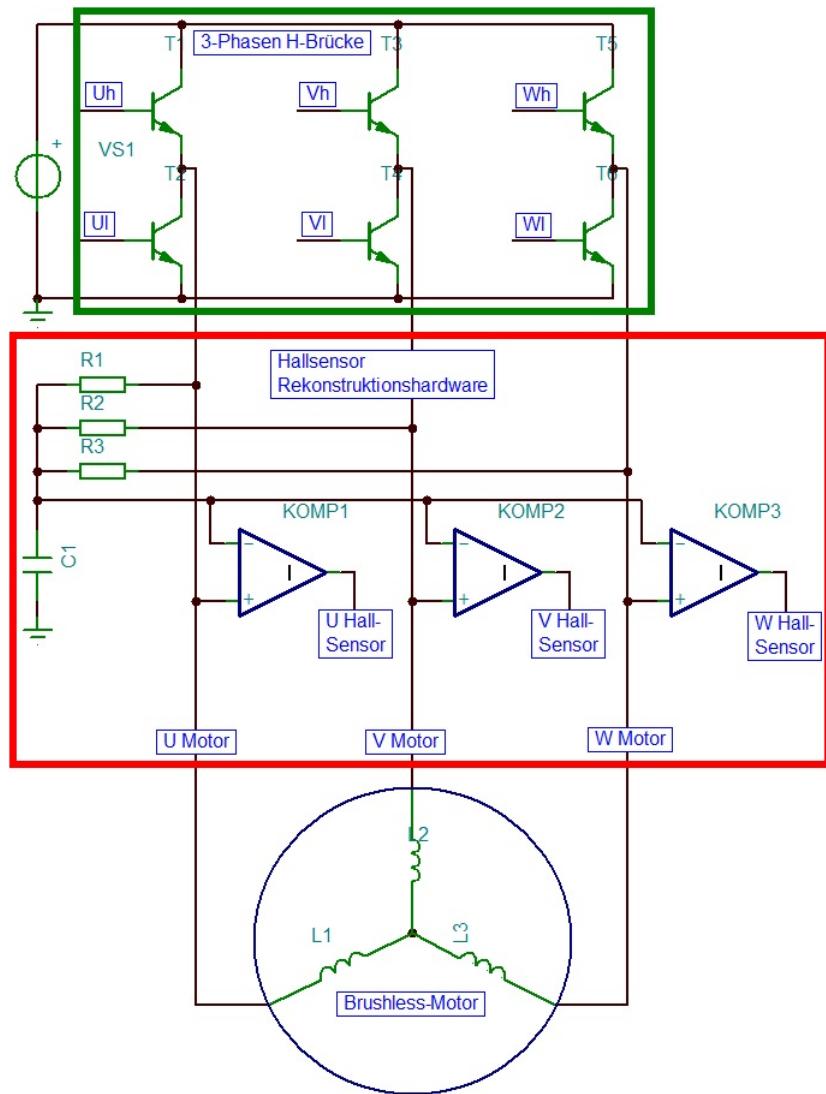


Abbildung 17: Schema des Brushless-Versuchsaufbaus

Das Schema des Gesamtaufbaus des Tests ist in der Abbildung 17 ersichtlich. Die 3-Phasen H-Brücke im oberen grünen Rechteck wird direkt vom FPGA<sup>1</sup> angesteuert. Die Hardware dieser Brücke ermöglicht eine voll galvanisch getrennte Ansteuerung mit 3.3 V Logikpegeln. Diese Brücke wurde zur Verfügung gestellt und direkt verwendet. Die Rekonstruktion der Hallsensoren-Signale findet im rot markierten Teil des Aufbaus statt. Dieser Part wird auf einer Laborplatte aufgebaut und gelötet. Die so generierten Signale  $U_{\text{Hallsensor}}$ ,  $V_{\text{Hallsensor}}$ ,  $W_{\text{Hallsensor}}$  werden einem FPGA geliefert. Anhand dieser Signale steuert das FPGA die H-Brücken-Transistoren mit den Signalen

<sup>1</sup>Field-Programmable Gate Array

$U_h, U_l, V_h, V_l, W_h, W_l$ . Die im FPGA enthaltene Konfiguration besteht aus simplen AND-Verknüpfungen, die die anliegenden Signale sehr schnell und effizient verarbeiten können. Auf diese Weise ist es möglich, den Motor sehr schnell anzusteuern. In der Abbildung 18 ist der gesamte Aufbau abgebildet. Man beachte die markierten Felder. Am linken unteren Rand ist der Motor befestigt. In der Mitte des Bildes ist die Hardware zur Rekonstruktion der Hallsensoren-Signale. Die generierten Signale werden dem FPGA in der unteren rechten Ecke zugeführt. Diese Signale werden logisch verknüpft und danach die sechs Signale generiert, um die H-Brücke in der rechten oberen Hälfte anzusteuern. Die H-Brücken wiederum treiben den Motor an. Die im FPGA enthaltene Logik basiert auf

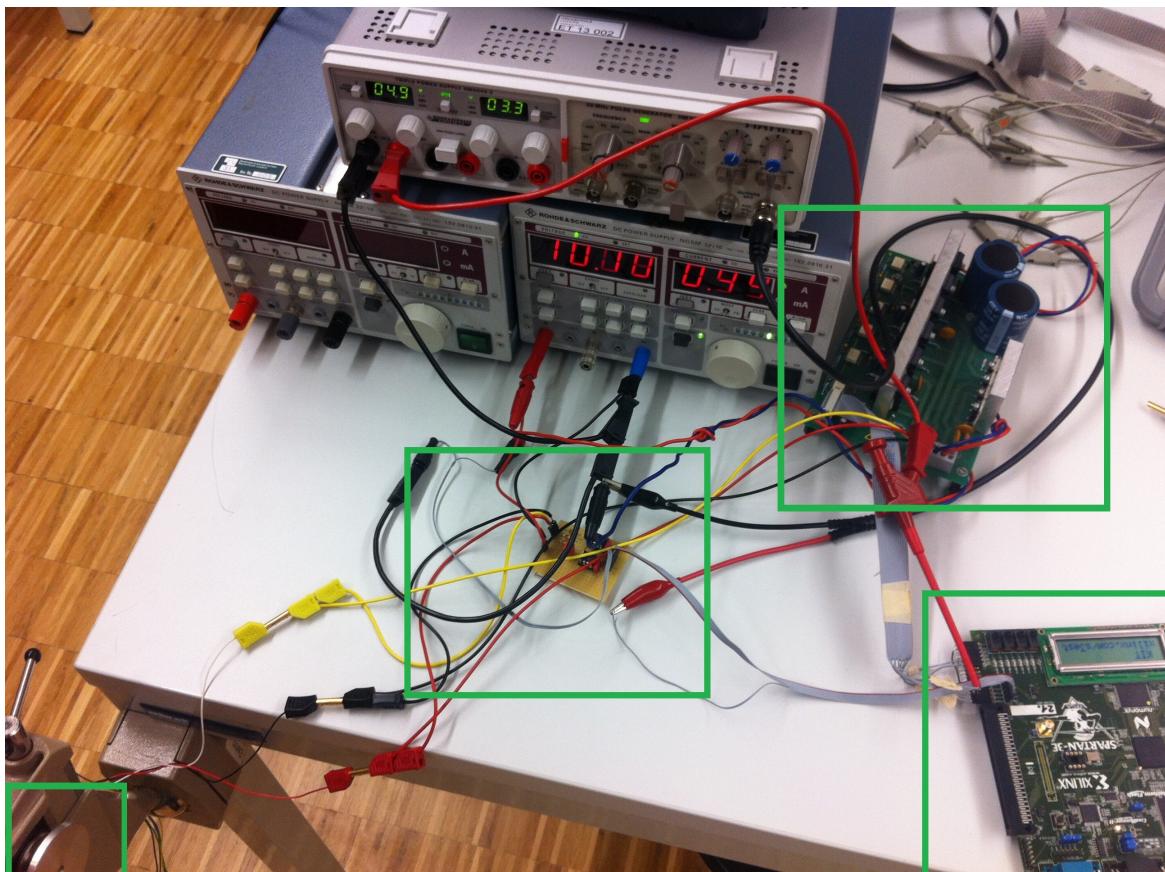


Abbildung 18: Testaufbau

der Wahrheitstabelle, die in Tabelle 28 abgebildet ist.

$H_1$	$H_2$	$H_3$	$U_h$	$U_l$	$V_h$	$V_l$	$W_h$	$W_l$	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

Tabelle 28: Wahrheitstabelle der Ansteuerung

#### 8.4.2 Messmittel

Gerät	Typ	Nummer
Speisegerät	Rohde & Schwarz NGSM 32/10	Inv.-Nr. 009
Oszilloskop	Agilent MSO6052A	Inv.-Nr. 48; S/N: MY44001903
Mainframe	Hameg HM8001-2	SN: 059520046
Speisegerät	Hameg HM8040-3	SN: 015405014
Pulsgenerator	Hameg HM8035	Inv.-Nr. 44

Tabelle 29: Messmittel des Versuchsaufbaus

#### 8.4.3 Resultat

Mit dem beschriebenen Aufbau konnte ein BLDC-Motor erfolgreich angesteuert werden. Wie in Abbildung 18 am linken unteren Rand zu erkennen ist, ist an der Motorwelle eine Aluminiumplatte montiert. Mit dieser und einem Magneten konnte der Motor mittels einer Wirbelstrombremse belastet werden. Auf diese Weise konnte rund 120 W elektrische Leistung umgesetzt werden. Dabei stellte sich heraus, dass die PWM nachgeregelt werden muss, wenn eine Last getrieben wird. Weiter bietet der Aufbau, so wie er getestet wurde, keine Möglichkeit den Motor ohne äussere Manipulation zu starten.

Diese beiden Tatsachen sprechen dafür, dass das Prinzip grundsätzlich funktioniert. Für die Realisierung würde sich ein eigenes Board anbieten, auf dem ein eigener Controller die Regelung und die Zwangskommutierung beim Starten des Motors übernimmt.

## 8.5 Bildverarbeitung

### 8.5.1 Versuchsbeschreibung

Für die Erkennung des Korbes wird ein Testprogramm in Java (mit der Entwicklungsumgebung Netbeans) geschrieben. Es werden Fotos des Korbes aus verschiedenen Blickwinkeln und auf unterschiedlichem Hintergrund angefertigt. Mittels dem OpenCV-Framework (Soham Gandhi, 2014), welches frei erhältlich ist, werden verschiedene Algorithmen auf das Bild angewendet um den Korb vom Hintergrund abzugrenzen. Als Grundlage für ein Verständnis der Bildverarbeitung werden folgende Unterlagen verwendet: (Holger Kreißl, 2014) und (Julia Peterwitz, 2006);

### 8.5.2 Vorbereitung

Zu Testzwecken werden verschiedene Fotos von einem schwarzen Korb angefertigt. Es gibt zwei unterschiedliche Hintergrundszenarien. Bei jedem Hintergrund wird der Korb an 3 verschiedenen Stellen platziert.



Abbildung 19: Beispielbild mit Hintergrund einfarbig



Abbildung 20: Beispielbild mit Hintergrund enthält schwarz

Abbildung 20 zeigt einen Hintergrund bei dem zusätzlich noch schwarze Farbe vorkommt. Dies erhöht den Schwierigkeitsgrad den Korb zu erkennen, da der Suchvorgang falsche Informationen verwerten kann. Bei Abbildung 19 ist der Hintergrund möglichst einfarbig gehalten um ein gegensätzliches Szenario zu Abbildung 20 zu erhalten.

### 8.5.3 Erkennung

Im folgenden Abschnitt wird beschrieben, wie das Vorgehen zur Erkennung des Korbes gewählt wurde. Ebenfalls werden die Ergebnisse präsentiert.

Als erstes wird eines der Beispielbilder geladen.

Es folgen diese Schritte:

- Das Bild wird geladen und in ein HSV-Bild umgewandelt
  - HSV steht für einen Farbwertebereich der mit Hue, Saturation, Value beschrieben wird.
  - Im Folgenden ein Bild des HSV-Farbbereichs:

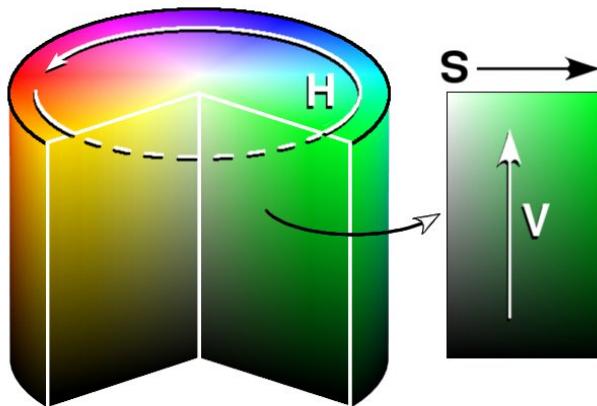


Abbildung 21: HSV-Farbspektrum (Wikibooks, 2012)

- Es folgt eine HSV-Filterung. Dafür sind beim erstellten Programm drei Slider angebracht, um mit den Werten zu experimentieren und die optimalen Ergebnisse zu erzielen, beim Erzeugen eines Schwarz-Weiss Bildes.
  - Die zwei Slider für Hue und Saturation sind auf den Minimumwert 0 und Maximalwert 256 eingestellt. Diese können so belassen werden.
  - Der dritte Slider steht für den Value, mit welchem die dunklen Werte gefiltert werden. Hier wird mit einer Grundeinstellung von Minimum null und Maximal 15 gearbeitet.
    - \* Zum Experimentieren kann der Slider verschoben werden und der Filter erneut angewendet werden.
- Nach der Filterung ist das Bild noch von „Farbrauschen“ erfüllt. Dieses Rauschen wird mit dem „Eroden“ herausgefiltert.
  - Für das Erodieren wird mit einem  $5 \times 5$  Pixel grossem Filter gearbeitet. Alles was diesem Wert entspricht wird von Weiß in Schwarz umgewandelt.
  - So werden kleine ungewollte weisse Pixel aus dem Bild entfernt.
  - Dieser Vorgang wird zwei Mal auf das Bild angewendet.
- Nach dem Erodieren muss noch ein „Dilate“ ausgeführt werden.
  - Damit wird ungewolltes Entfernen rückgängig gemacht indem die Pixelflächen wieder vergrössert werden.
  - Hier wird mit einem Wert von  $15 \times 15$  Pixeln gearbeitet.

- Das „Dilate“-Element wird zweimal auf das Bild angewendet.
- Nach diesen Massnahmen sollte nur noch der Korb als weisse Fläche auf dem Bild zu sehen sein und der Rest ist schwarz.

Ergebnis für die Abbildung 19 nach dem Anwenden der Filter sieht folgendermassen aus:

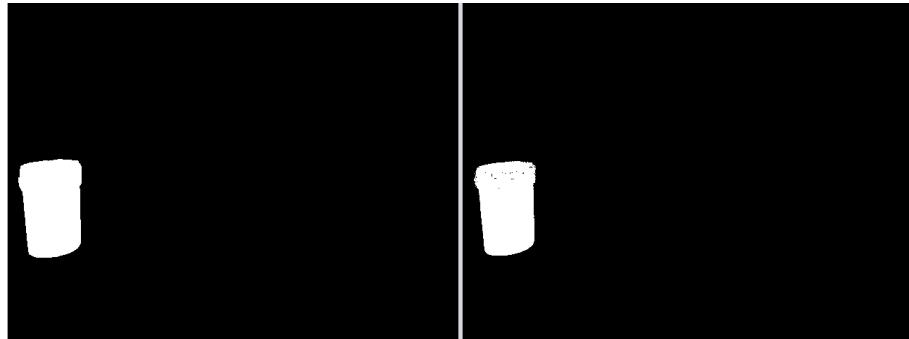


Abbildung 22: Links nach Erode und Dilate - Rechts nur mit HSV Filterung

#### 8.5.4 Testprogramm

Anbei sieht man ein Screenshot des Testprogramms:

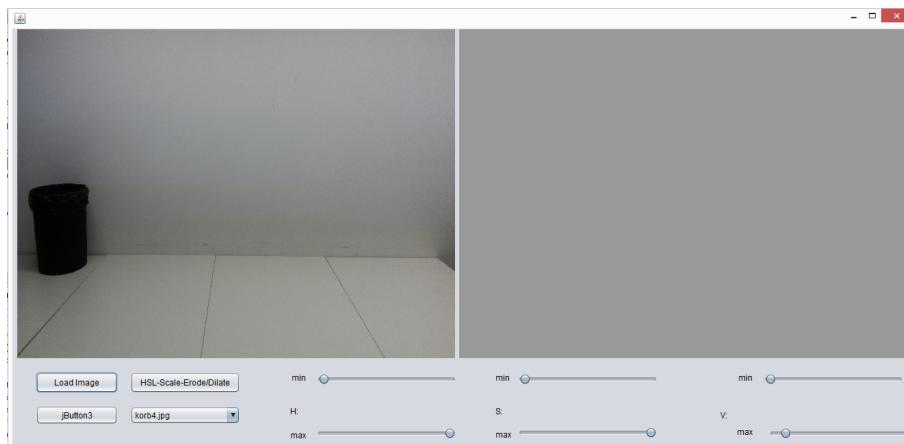


Abbildung 23: Screenshot Testprogramm

Abbildung 23 zeigt die Einstellungsmöglichkeiten des Testprogramms. Es können mittels Slider die Werte für Hue, Saturation und Value angepasst werden. Nach einem Klick auf den Button wird der Filter mit den angegebenen HSV-Werten ausgeführt und in den zwei Bereichen dargestellt. Rechts nur der HSV-Filter und links mit dem ausgeführten "Erode" und "Dilate" (wie in Abbildung 22 ersichtlich ist).

Über den Load Image Button können verschiedene Bilder geladen werden, welche im Dropdownmenü zur Verfügung stehen.

## 9 Schlussdiskussion

### 9.1 Erfahrungen

Zu Beginn war es wichtig, die Teammitglieder kennenzulernen, um so ein möglichst breites Vorwissen aufzubauen. Anhand dieses Vorwissens, konzentrierten wir uns schnell auf eine Lösung, welche fliegen sollte. Die uns anschliessend in Auftrag gegebene Risikoanalyse zeigte jedoch auf, dass diese Lösung ein zu hohes Risiko darstellt. Ebenfalls wurde uns die Wichtigkeit eines strukturierten Ablaufes bewusst. Des Weiteren war es nicht ganz einfach, die Aufgabenstellung in die verschiedenen Teilsysteme zu unterteilen und zu diesen möglichst viele Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Rückblickend betrachtet, gelang uns dies jedoch gut. Eine weitere Schwierigkeit waren die Berichte, welche abgegeben werden mussten. Deren Inhalt, aus unserer Sicht, nicht immer klar definiert war und uns daher etwas aus dem Zeitplan brachte. Ebenfalls finden wir es einerseits gut, dass wir mit dem Drehturm eine - mehr oder weniger - einfache Lösung gefunden haben, andererseits schade, weil die Abteilung Informatik hier wenig zu tun hat. Im Grossen und Ganzen konnten wir jedoch viel von der Interdisziplinarität dieses Projektes profitieren und haben deshalb auch einiges über die Schnittstellen zwischen Informatik, Mechanik und der Elektronik erlernt. Die Dynamik, die in der Gruppe herrschte, wurde von uns als äusserst kollegial und lösungsorientiert empfunden und so freuen wir uns auf das Modul PREN2 mit diesem Team.

### 9.2 Offene Punkte/Risiken/Ausblick

Die anfängliche Euphorie und die damit verbundene Idee zu fliegen konnte mit den im PREN1 getätigten Arbeiten mit gutem Gewissen begraben werden. Zu Beginn war es noch schwierig von unserem Traum loszulassen, doch unser neues Konzept konnte sich immer mehr beweisen, bis schlussendlich alle Gruppenmitglieder davon überzeugt waren. Für die Teilkunktionsmuster wurden bereits einige CAD-Modelle erstellt. Diese können nach Anpassungen auch teilweise für PREN2 verwendet werden. Die Informatiker haben im Zusammenhang mit der Technologierecherche ebenfalls bereits einige Codezeilen geschrieben. Diese können unter Umständen auch weiterverwendet werden. Nach der bereits für PREN1 geleisteten Arbeit schaut das ganze Team optimistisch auf PREN2. Die Fertigstellung des Produktes gilt klar als Hauptaufgabe für PREN2. Um dies zu erreichen, ist eine reibungslose Kommunikation unter den Teilkomponenten essentiell. Ein Augenmerk gilt auch der Bauweise, die möglichst leicht erfolgen soll. Weiterhin sollen uns eine gute Planung und Aufteilung der anfallenden Arbeit auf die einzelnen Teammitglieder dabei helfen, unser Produkt so zu erstellen, dass dieses schnell und effizient arbeitet.

## Abbildungsverzeichnis

1	Organigramm . . . . .	1
2	Planung Meilenstein 1 (Initialisierungsphase) . . . . .	2
3	Planung Meilenstein 2 (Konzeptphase) . . . . .	3
4	Planung Meilenstein 3 (Systementwurfsphase) . . . . .	4
5	Spielfeld . . . . .	7
6	Drehturm . . . . .	19
7	Drehvorrichtung . . . . .	20
8	Balllager, Ballbeschleunigung und Ballnachführung . . . . .	20
9	Kommunikationsablauf . . . . .	22
10	Spielfeld . . . . .	24
11	Schussvorrichtung . . . . .	26
12	Drehvorrichtung . . . . .	27
13	Zeitdiagramm der Ansteuerung des Ultraschallsensors HC-SR04 . . . . .	28
14	Diagramm seitliche Empfindlichkeit HC-SR04 . . . . .	30
15	Durchfahren des Korbes . . . . .	33
16	Scan mit Korb . . . . .	33
17	Schema des Brushless-Versuchsaufbaus . . . . .	34
18	Testaufbau BLDC Treiber . . . . .	35
19	Beispielbild mit Hintergrund einfarbig . . . . .	37
20	Beispielbild mit Hintergrund enthält schwarz . . . . .	37
21	HSV-Farbspektrum . . . . .	38
22	Links nach Erode und Dilate - Rechts nur mit HSV Filterung . . . . .	39
23	Screenshot Testprogramm . . . . .	39

## Tabellenverzeichnis

1	Risikoanalyse allgemein . . . . .	5
2	Grundanforderungen aus Aufgabenstellung . . . . .	7
3	Randbedingungen aus Aufgabenstellung . . . . .	8
4	Eigene Anforderungen an ein Flugobjekt . . . . .	9
5	Eigene Anforderungen an ein Bodenobjekt . . . . .	9
6	Morphologischer Kasten Bereich für Art der Bewegung . . . . .	10
7	Morphologischer Kasten Bereich für Ballbeförderung . . . . .	10
8	Morphologischer Kasten Bereich für Korberkennung . . . . .	11
9	Morphologischer Kasten Bereich für Balllager . . . . .	11
10	Morphologischer Kasten Bereich für Übermittlung Start- / Endsignal . . . . .	11
11	Morphologischer Kasten Bereich für Energieversorgung . . . . .	11
12	Morphologischer Kasten Bodenobjekt fahrend . . . . .	12
13	Risikoanalyse Bodenobjekt fahrend . . . . .	13
14	Morphologischer Kasten Flugobjekt . . . . .	14
15	Risikoanalyse Flugobjekt . . . . .	15
16	Morphologischer Kasten Bodenobjekt stehend . . . . .	16
17	Risikoanalyse Bodenobjekt stehend . . . . .	17
18	Gegenüberstellung Varianten . . . . .	18
19	Messmittel Messungen HC-SR04 . . . . .	28
20	Pinbelegung HC-SR04 . . . . .	28
21	Definition Testeimer . . . . .	29
22	Messwerte Messgenauigkeit HC-SR04 . . . . .	29
23	Messwerte seitliche Empfindlichkeit HC-SR04 . . . . .	30

24	Eckdaten GP2Y0A710K0F . . . . .	31
25	Definition Testkorb . . . . .	31
26	Messmittel Messungen GP2Y0A710K0F . . . . .	32
27	Messwerte Messgenauigkeit GP2Y0A710K0F . . . . .	32
28	Wahrheitstabelle der Ansteuerung für den BLDC Treiber . . . . .	35
29	Messmittel des Versuchsaufbaus für den BLDC Treiber . . . . .	36

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- Adrian Omlin. (2014). *Aufgabenstellung PREN1 Herbstsemester 2014* (Bericht). Hochschule Luzern - Technik & Architektur.
- Holger Kreißl. (2014). *Bildverstehen - Grundlagen Bilderkennung und Bildverstehen*. Zugriff auf <http://www.kreissl.info/bilderkennung.php> ([Online; abgerufen am 11. Oktober 2014])
- Julia Peterwitz. (2006). *Grundlagen: Bildverarbeitung / Objekterkennung*. Zugriff auf [http://www9.in.tum.de/seminare/hs.SS06.EAMA/material/01\\_ausarbeitung.pdf](http://www9.in.tum.de/seminare/hs.SS06.EAMA/material/01_ausarbeitung.pdf) ([Online; abgerufen am 10. Oktober 2014])
- Sharp Corporation. (2006). *GP2Y0A710K0F Distance Measuring Sensor Unit Measuring distance: 100 to 550 cm Analog output type* (Datasheet). 22-22 Nagaike-cho, Abeno-ku, Osaka 545-8522, Japan: Autor.
- Soham Gandhi. (2014). *How to Use OpenCV with Java under NetBeans IDE*. Zugriff auf <http://www.codeproject.com/Tips/717283/How-to-Use-OpenCV-with-Java-under-NetBeans-IDE> ([Online; abgerufen am 11. Oktober 2014])
- Wikibooks. (2012). *GIMP/ Band2/ Farbmodelle — Wikibooks, Die freie Bibliothek*. Zugriff auf [http://de.wikibooks.org/w/index.php?title=GIMP/\\_Band2/\\_Farbmodelle&oldid=644737](http://de.wikibooks.org/w/index.php?title=GIMP/_Band2/_Farbmodelle&oldid=644737) ([Online; abgerufen am 3. Dezember 2014])

## A Anhang: Brainstorming

- Beförderung Ball
  - Katapult
  - Ballwurfmaschine (2 Rollen)
  - Abwerfen
  - Rakete (alle Bälle zusammen)
  - Rampe
  - Steinschleuder
  - Kanone (Feder)
  - Druckluft
  - Schwarzpulver
  - Tennisschläger
  - Töff (Vorderrad blockieren)
- Ausrichtung / Fahren / Fliegen
  - Raupe
  - Räder
  - Laufen
  - Drehturm
  - Hovercraft
  - Fliegen
    - \* Helikopter
    - \* Zeppelin
    - \* Jetpack
- Erkennen des Korbs (finden)
  - Ultraschall
  - Laser
  - Kamera
  - Suchtier
- Balllager
  - Sack
  - Eierschachtel
  - Rohrmagazin
  - Rampe
  - Trommelmagazin
  - Kapsel
  - Trichter
  - Kiste
- Übertragung Startsignal

- Funk
- Infrarot
- Ultraschall
- USB
- RS232
- Spracherkennung
- Endsignal
  - Explosion
  - Feuerwerk
  - Konfetti
  - Tonsignal
  - Lichtsignal
  - Flugmanöver
  - Rauchzeichen
  - Bannerschlepp
- Energieversorgung
  - Akku
  - Netzgerät
  - Benzin / Diesel / Kerosin
  - Druckluft
  - Atomreaktor
  - Solar
  - Windenergie
  - Hamster im Laufrad
  - Wasserkraft
  - potenzielle Energie
  - Feder
  - Schwungrad

# PRODUKTENTWICKLUNG 1

HOCHSCHULE LUZERN

TECHNIK & ARCHITEKTUR

---

## Brushless DC Treiber

Konzeptbeschreibung

---

*Autoren:*

Yves STUDER  
Daniel WINZ  
Ervin MAZLAGIĆ

*Projektgruppe:*  
PREN-ET

Horw  
6. Januar 2015

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Fachgruppe Elektrotechnik</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Brushless Motoransteuerung</b>	<b>2</b>
2.1	Theorie der Ansteuerung . . . . .	2
2.2	Neuer Ansatz . . . . .	3
2.3	Ansteuerungshardware . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Prinziptest</b>	<b>5</b>
3.1	Messmittel . . . . .	5
3.2	Resultat . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Fallback</b>	<b>7</b>
4.1	Konzeptbeschreibung . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Encoder &amp; Drehzahlgeber</b>	<b>8</b>
5.1	Magnetischer Drehzahlgeber . . . . .	8
<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b>		<b>10</b>

# 1 Fachgruppe Elektrotechnik

Elektrotechnik-Studierenden aus mehreren Gruppen haben sich zusammengeschlossen um gemeinsame Probleme anzugehen. Dabei handelt es sich um die benötigte Hard- und Software, um Motoren anzusteuern und gegebenenfalls zu regeln. In diesem Zusammenschluss werden drei Gruppen gebildet, um Lösungen für DC-, Stepper- und Brushless-Motoren auszuarbeiten. Die Idee besteht darin, dass nicht jede Gruppe 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 teamübergreifende Arbeiten im Rahmen des PREN erlernt und geübt werden. Somit wird Idee der Interdisziplinarität im erweiterten Sinn Rechnung getragen. Die Gruppen und deren Mitglieder sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Projekt	Team
DC Motoren	19, 33, 39
Schrittmotor	27, 33, 38
BLDC Motor	27, 32

Tabelle 1: Übersicht der PREN-ET Projektgruppen

# 2 Brushless Motoransteuerung

## 2.1 Theorie der Ansteuerung

Brushless-Motoren (BLDC-Motoren) sind Synchron-Drehstrom-Motoren. Das bedeutet, sie werden mittels eines kontinuierlichen magnetischen Drehfeldes in Bewegung gesetzt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Läufer dem Drehfeld synchron folgen kann, daher auch die Namensbezeichnung des Motors. Falls der Läufer dem Drehfeld nicht folgen kann, wird keine Spannung vom Rotor in die Statorwicklung induziert, die der Erregerspannung entgegenwirkt. Daraus folgt, dass ein immenser Strom fließt, der nur von der Wicklungsimpedanz des Motors begrenzt wird. Das Drehmoment ist abhängig vom Polradwinkel und erreicht sein Maximum bei einem Polradwinkel von  $90^\circ$ . Die Kommutierung wird entweder als Sinuskommutierung oder als Blockkommutierung ausgeführt. Die Sinuskommutierung bildet die Sinusform eines dreiphasigen Netzes nach. Die Sinusform kann auch mit einem Rechtecksignal angenähert werden. Dabei spricht man von einer Blockkommutierung. Diese ist einfacher zu realisieren, aber erreicht nicht das selbe Drehmoment wie eine Sinuskommutierung. In diesem Projekt wird aufgrund der einfacheren Implementierung eine Blockkommutierung realisiert.

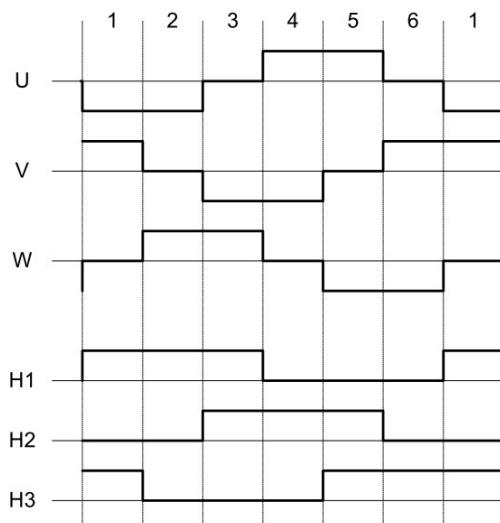


Abbildung 1: Zeitliche Darstellung der Ansteuerung mit Hall-Sensoren (Atmel Corporation, 2013)

Es gibt hauptsächlich drei Methoden, das Drehfeld zu generieren und zu regeln. Die einfachste Methode ist die

Zwangskommutierung: Dabei wird ein Drehfeld erzeugt und dem Motor aufgezwungen. Der Läufer muss dem Drehfeld folgen, der maximal zulässige Winkel von  $90^\circ$  zwischen dem Feld und dem Läufer muss eingehalten werden. Wird dieser Winkel überschritten, kommt der Motor zum Stillstand.

Die zweite Methode zur Regelung des Motors verwendet drei Hallsensoren, die im Motor integriert sind. Dies macht den Motor aufwändiger und dementsprechend teurer. Die Regelung mit Hallsensoren ist verhältnismässig einfach, da nach den Signalen die einzelnen Spulen direkt angesteuert werden können. Der Zusammenhang zwischen der Ansteuerung und den Hallsensor-Signalen ist in Abbildung 1 ersichtlich. Dabei stehen  $U$ ,  $V$  und  $W$  für die Phasenströme und  $H_1$ ,  $H_2$  und  $H_3$  für die entsprechenden Signale der Hallsensoren. Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass wenn ein Hallsensor eine Änderung anzeigen, ein Nulldurchgang im entsprechenden Stromverlauf stattgefunden hat. Dies ist der Zeitpunkt, zu dem die Kommutierung durchgeführt werden muss.

Für die dritte Möglichkeit bildet man einen virtuellen Sternpunkt und detektiert mit Komparatoren die Sternpunkt durchgänge. In der Controller-Logik muss der Zeitunterschied der Kommutierung bis zum Durchschreiten des Sternpunktes gemessen werden. Diese Zeit muss noch einmal abgewartet werden, bevor die Kommutierung durchgeführt wird. Falls der Motor über einen Anschluss für den Sternpunkt verfügt, kann auch dieser verwendet werden. Da die Position des Rotors auf diese Weise beim Stillstand nicht ermittelt werden kann, muss der Motor mit einer Zwangskommutierung gestartet werden.

## 2.2 Neuer Ansatz

In einem modifizierten Ansatz wird versucht, die Hallsensor-Signale aus den Ansteuerungen des Motors zu gewinnen. Hierzu wird eine Schaltung pro Phase benötigt, um die Nulldurchgänge beim virtuellen Sternpunkt detektieren zu können. Die Abbildung 2 zeigt die Schaltung, mit der dieser Ansatz realisiert werden kann. Mit

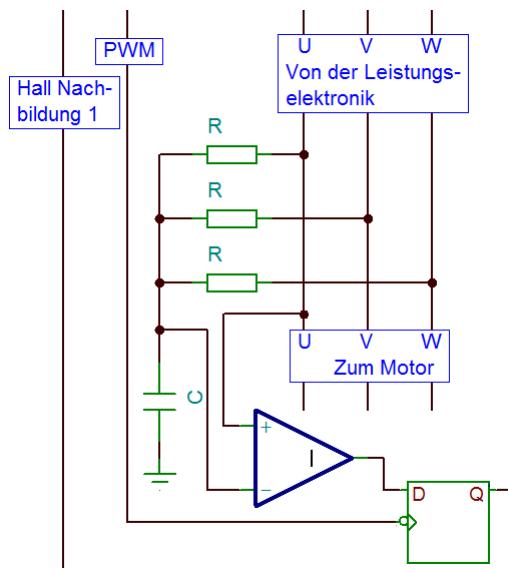


Abbildung 2: Schema des Rekonstruktionsprinzip (Tobias Plüss, 2014)

dem Flip-Flop aus Abbildung 2 kann die PWM aus dem Sensorsignal unterdrückt werden. Diese rekonstruierten Hallsensor-Signale können direkt logisch verknüpft und genutzt werden, um den Motor mit einer Dreiphasen-H-Brücke anzusteuern (Tobias Plüss, 2014). Anhand des zeitlichen Verlaufs, der aus Abbildung 1 zu entnehmen ist und der Ansteuerung einer H-Brücke, ergibt sich die Wahrheitstabelle, die in Tabelle 2 ersichtlich ist. Das Signal  $U_h$  symbolisiert den Highside<sup>1</sup>-Transistor der Phase U auf der H-Brücke und die Spalte  $U_l$  entspricht dem Lowside-Transistor.

<sup>1</sup>Transistor, der gegen die Versorgungsspannung schaltet. Typischerweise aufwendiger anzusteuern, da am Gate eine Spannung von einigen Volt über der Versorgungsspannung angelegt werden muss.

$H_1$	$H_2$	$H_3$	$U_h$	$U_l$	$V_h$	$V_l$	$W_h$	$W_l$	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

Tabelle 2: Wahrheitstabelle der Ansteuerung

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

Die Tabelle in Abbildung 2 kann pro Signal zu folgenden logischen Verknüpfung vereinfacht werden.

### 2.3 Ansteuerungshardware

In Kapitel 3.2 zeigten sich einige Punkte, die für ein eigenes Board für die Brushless-Motoransteuerung sprechen. Auf diesem Board wird ein eigener Controller eingesetzt, der als Kommunikationsschnittstelle SPI verwendet. Die benötigten Pins sind in der Tabelle 3 ersichtlich. Der Controller wird benötigt, um eine Zwangskommutierung vorzunehmen, um den Motor in eine Initialdrehung zu versetzen. Sobald der Motor dreht, kann der neue Ansatz funktionieren. Weiter wird auf dem Controller eine Regelung implementiert, um die Drehzahl des Motors zu regeln. Zusätzlich kann der Winkel zwischen Detektion und Kommutierung angepasst werden, wenn dies notwendig ist.

Die Kommunikation mit dem Controller soll über SPI geschehen. Darüber sollen die Solldrehzahl und gegebenenfalls Parameter eingestellt werden können. Alle weiteren Schritte, wie die benötigte Zwangskommutierung am Anfang und die Regelung, werden eigenständig vom Boardcontroller vorgenommen.

Pin	Funktion
SCK	Bustakt
MISO	Master in Slave out
MOSI	Master out Slave in
CS	Chip select
Int	Interrupt
Reset	Reset

Tabelle 3: Schnittstelle des Brushless-Boards

### 3 Prinziptest

Das Schema des Gesamtaufbaus des Tests ist in der Abbildung 3 ersichtlich. Die 3-Phasen H-Brücke im oberen grünen Rechteck wird direkt vom FPGA<sup>2</sup> angesteuert. Die Hardware dieser Brücke ermöglicht eine voll galvanisch getrennte Ansteuerung mit 3.3V Logikpegeln. Diese Brücke wurde zur Verfügung gestellt und direkt verwendet. Die Rekonstruktion der Hallsensoren-Signale findet im rot markierten Teil des Aufbaus statt. Dieser Part wird auf einer Laborplatte aufgebaut und gelötet. Die so generierten Signale  $U_{\text{Hallsensor}}$ ,  $V_{\text{Hallsensor}}$ ,  $W_{\text{Hallsensor}}$  werden einem FPGA geliefert. Anhand dieser Signale steuert das FPGA die H-Brücken-Transistoren mit den Signalen  $U_h$ ,  $U_l$ ,  $V_h$ ,  $V_l$ ,  $W_h$ ,  $W_l$ . Die im FPGA enthaltene Konfiguration besteht aus simplen AND-Verknüpfungen, die die anliegenden Signale sehr schnell und effizient verarbeiten können. Auf diese Weise ist es möglich, den Motor sehr schnell anzusteuern. In der Abbildung 4 ist der gesamte Aufbau abgebildet. Man beachte die markierten Felder.

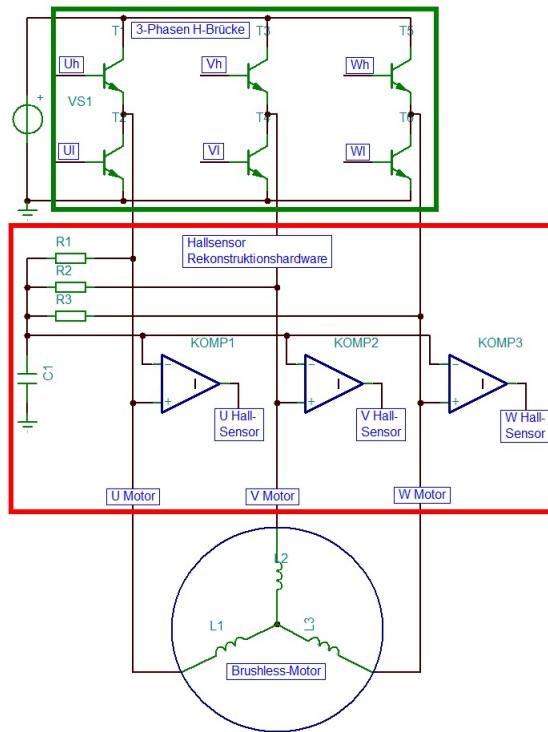


Abbildung 3: Schema des Brushless-Versuchsaufbaus

Am linken unteren Rand ist der Motor befestigt. In der Mitte des Bildes ist die Hardware zur Rekonstruktion der Hallsensoren-Signale. Die generierten Signale werden dem FPGA in der unteren rechten Ecke zugeführt. Diese Signale werden logisch verknüpft und danach die sechs Signale generiert, um die H-Brücke in der rechten oberen Hälfte anzusteuern. Die H-Brücke wiederum treibt den Motor an. Die im FPGA enthaltene Logik basiert auf der Wahrheitstabelle, die in Tabelle 2 abgebildet ist.

#### 3.1 Messmittel

Gerät	Typ	Nummer
Speisegerät	Rohde & Schwarz NGSM 32/10	Inv.-Nr. 009
Oszilloskop	Agilent MSO6052A	Inv.-Nr. 48; S/N: MY44001903
Mainframe	Hameg HM8001-2	SN: 059520046
Speisegerät	Hameg HM8040-3	SN: 015405014
Pulsgenerator	Hameg HM8035	Inv.-Nr. 44

Tabelle 4: Messmittel des Versuchsaufbaus

<sup>2</sup>Field-Programmable Gate Array

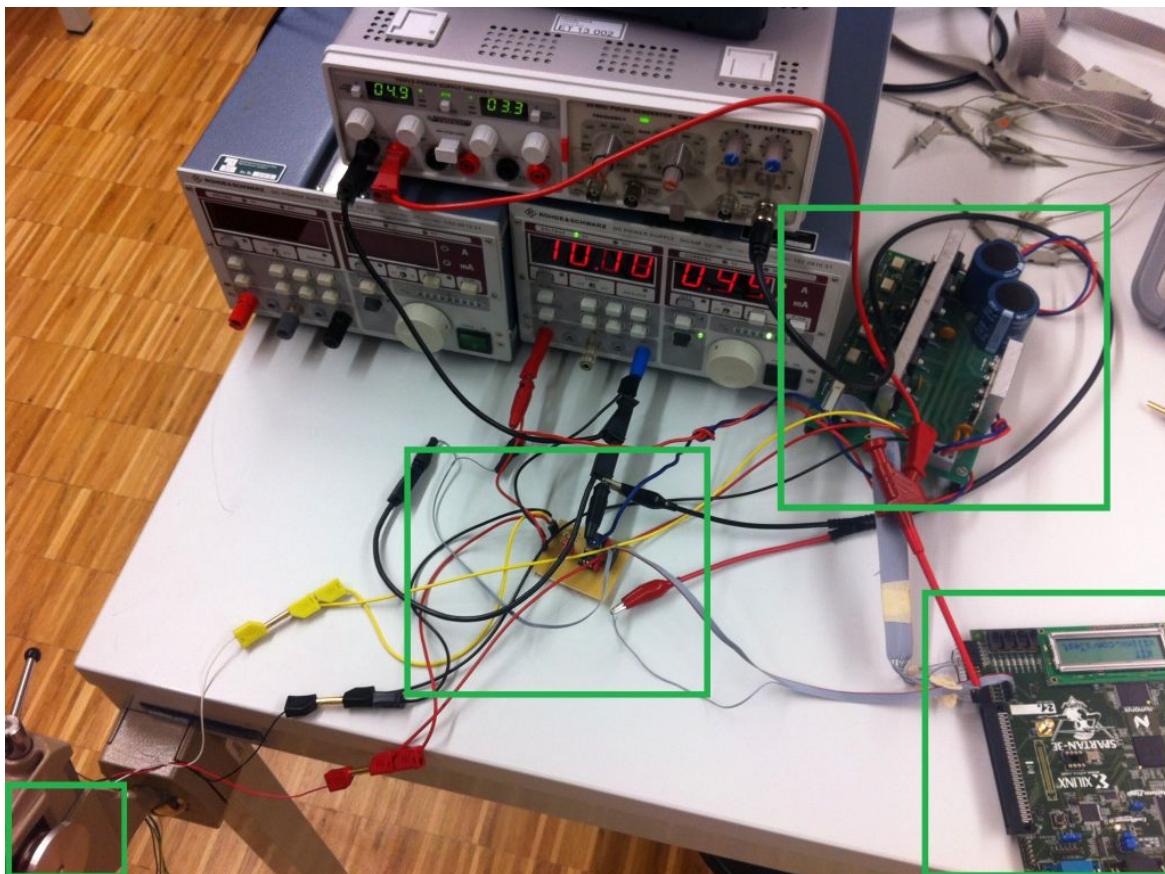


Abbildung 4: Testaufbau

### 3.2 Resultat

Mit dem beschriebenen Aufbau konnte ein BLDC-Motor erfolgreich angesteuert werden. Wie in Abbildung 4 am linken unteren Rand zu erkennen ist, ist an der Motorwelle eine Aluminiumplatte montiert. Mit dieser und einem Magneten konnte der Motor mittels einer Wirbelstrombremse belastet werden. Auf diese Weise konnte rund 120W elektrische Leistung umgesetzt werden. Dabei stellte sich heraus, dass die PWM nachgeregelt werden muss, wenn eine Last getrieben wird. Weiter bietet der Aufbau, so wie er getestet wurde, keine Möglichkeit den Motor ohne äussere Manipulation zu starten.

Diese beiden Tatsachen sprechen dafür, dass das Prinzip grundsätzlich funktioniert. Für die Realisierung würde sich ein eigenes Board anbieten, auf dem ein eigener Controller die Regelung und die Zwangskommutierung beim Starten des Motors übernimmt.

## 4 Fallback

Ist der Einsatz des vorgesehenen BLDC-Treibers nicht möglich, so muss eine alternative Ansteuerung erfolgen. Eine solche kann mit einer handelsüblichen Steuerung aus dem Modellbau erfolgen. Eine solche BLDC-Steuerung ist per PWM angesteuert, wobei die im Modellbau üblichen Signale gelten, wie in der Abbildung 5 dargestellt.

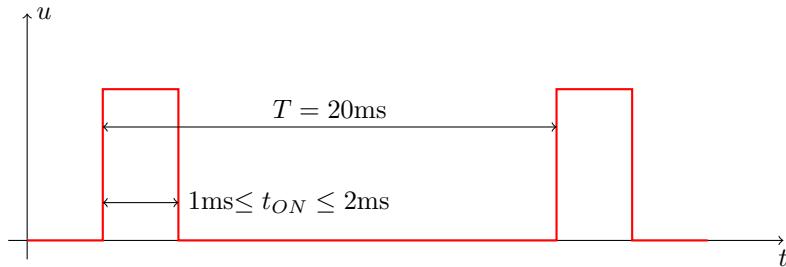


Abbildung 5: Signalverlauf eines typischen Modellbau-PWM Signals

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, beispielsweise einen Mikrocontroller. Solche BLDC-Steuerungen werden im Modellbau typischerweise als *Regler* bezeichnet und sind auch für hohe Leistungen durchaus preiswert.

### 4.1 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 mit Impulsen einen Segmentdurchlauf des Rotationskörpers wiedergibt, wie in Abbildung 6 dargestellt. Dieses Feedback wird mittels eines Mikrocontrollers ausgewertet und regelt damit den Input der Steuerung mit

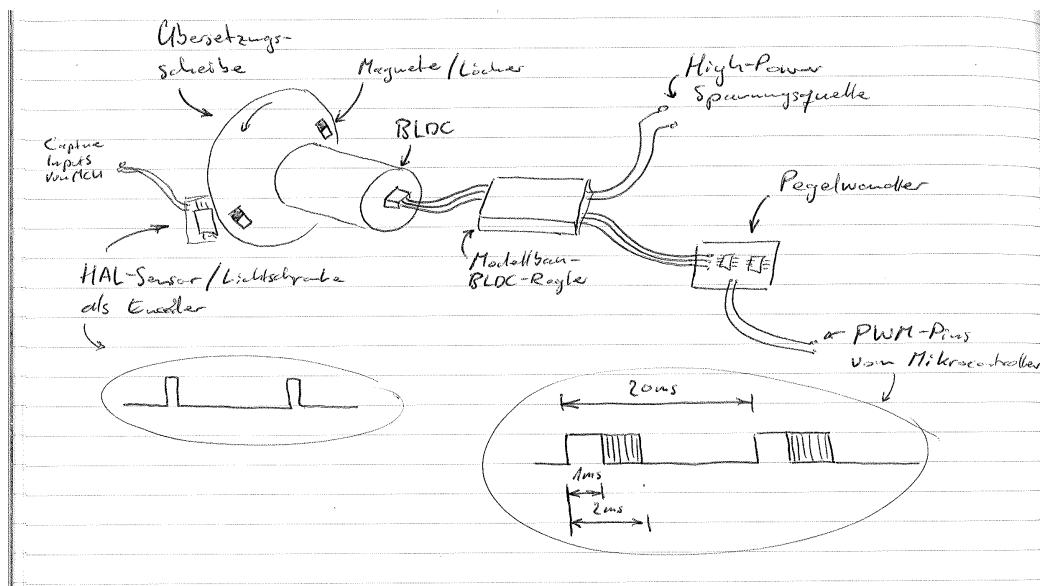


Abbildung 6: Erste Skizze des Fallback-Konzepts

dem PWM-Signal, beziehungsweise 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 diesen Fallback verwendet. Je nach Mikrocontroller ist ein Pegelwandler für die PWM-Signale notwendig.

## 5 Encoder & Drehzahlgeber

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

Encoder sind relativ teuer und der Einsatz des Brushlessmotors verlangt lediglich nach einem Feedback zur Rotation beziehungsweise 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 mit optischen oder magnetischen Elementen. Als optisches Messinstrument kann eine Lichtschranke mit Reflexionsstreifen

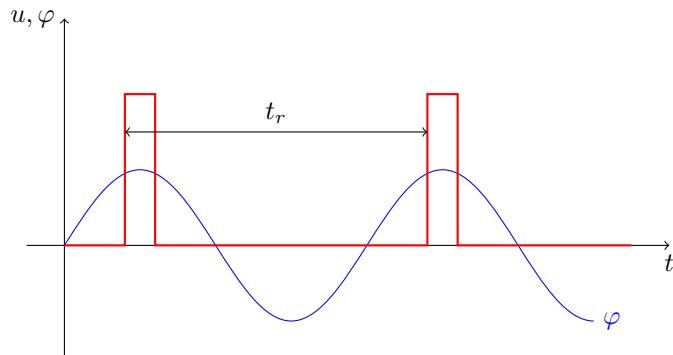


Abbildung 7: Vereinfachtes Puls-Feedback eines Hall-Effekt-Schalters

oder Löchern eingesetzt werden. Diese verlangen nur nach einer geringfügigen Modifikation des rotierenden Körpers und sind relativ günstig. Optische Messtechnik hat den Nachteil, das 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 einer solchen Messtechnik verlangt jedoch nach einer Modifikation der Mechanik, da Magnete in den rotierenden Körper eingebaut werden müssen. Dies birgt ein gewisses Risiko für mechanische Unwucht des Rotationskörpers.

### 5.1 Magnetischer Drehzahlgeber

Um einen eigenen magnetischen Drehzahlgeber zu erstellen wird ein sogenannter 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 typischerweise 2 Magnete oder ein Vielfaches davon in den rotierenden Körper eingebaut. Bei der Rotation des Körpers entstehen durch das Passieren der Magnete am Hall-Effekt-Schalter Impulse. Aus diesen Impulsen lässt sich mit einer Zeitmessung direkt die Drehzahl bestimmen. Die Abbildung 7 illustriert das Prinzip anhand eines Beispiels mit einem Magneten am Rotationskörper. Ein solches Verfahren lohnt sich bei schnellen 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 8). Interessant ist diese Art von Drehzahl-Geber insbesondere durch ihren geringen Preis, denn solche Hall-Effekt-Schalter, wie der AH180N, befinden sich im Preissegment von unter einem Franken.

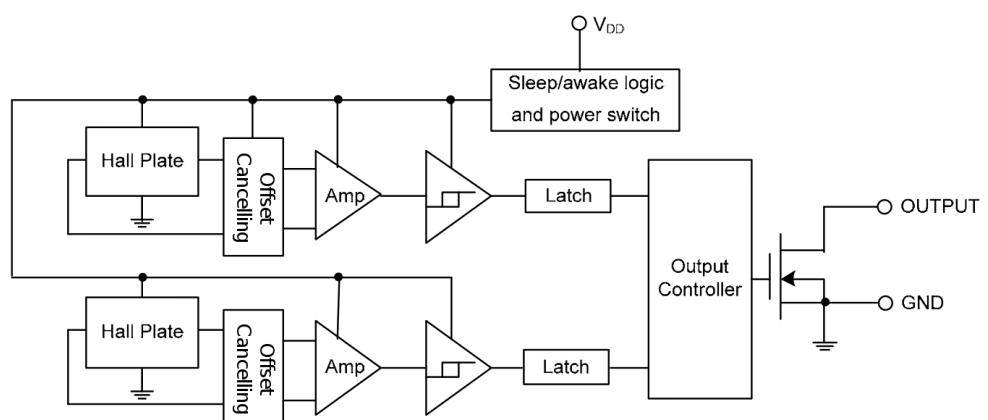


Abbildung 8: Funktionelles Blockschaltbild des Hall-Effekt-Schalters AH180N (Diodes Incorporated, 2012)

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- Atmel Corporation. (2013). *Atmel AVR443: Sensor-based Control of Three Phase Brushless DC Motor* (App. Note). 1600 Technology Drive, San Jose, CA 95110 USA: Autor. (2596C-AVR-07/2013)
- Diodes Incorporated. (2012). *AH180N, MICROPOWER OMNIPOLE HALL-EFFECT SWITCH* (Datasheet). 4949 Hedgcoxe Road, Suite 200, Plano, TX 75024 USA: Autor.
- Tobias Plüss. (2014, November). Hochschule Luzern, Technik und Architektur. (In einem Gespräch)

## Abbildungsverzeichnis

1	Zeitliche Darstellung der Ansteuerung mit Hall-Sensoren . . . . .	2
2	Schema des Rekonstruktionsprinzip (Tobias Plüss, 2014) . . . . .	3
3	Schema des Brushless-Versuchsaufbaus . . . . .	5
4	Testaufbau . . . . .	6
5	Signalverlauf eines typischen Modellbau-PWM Signals . . . . .	7
6	Erste Skizze des Fallback-Konzepts . . . . .	7
7	Vereinfachtes Puls-Feedback eines Hall-Effekt-Schalters . . . . .	8
8	Funktionelles Blockschaltbild des Hall-Effekt-Schalters AH180N . . . . .	9

## Tabellenverzeichnis

1	Übersicht der PREN-ET Projektgruppen . . . . .	2
2	Wahrheitstabelle der Ansteuerung . . . . .	4
3	Schnittstelle des Brushless-Boards . . . . .	4
4	Messmittel des Versuchsaufbaus . . . . .	5

# PRODUKTENTWICKLUNG 1

HOCHSCHULE LUZERN

TECHNIK & ARCHITEKTUR

---

## Stepper Treiber

Konzeptbeschreibung

---

*Autorin:*

Bettina WYSS  
Daniel WINZ

*Projektgruppe:*  
PREN-ET

Horw  
6. Januar 2015

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Fachgruppe Elektrotechnik</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Schrittmotor</b>	<b>2</b>
2.1	Schritte . . . . .	2
2.2	Wicklungen . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Stepper Motoransteuerung</b>	<b>4</b>
3.1	Grundsätzliches zur Ansteuerung . . . . .	4
3.2	Treiberstufe . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Stepper Driver L6480</b>	<b>5</b>
4.1	Funktionsbeschreibung . . . . .	5
4.2	Schnittstelle . . . . .	5
4.3	Typical Application . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Ausblick</b>	<b>7</b>
	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b>	<b>8</b>

# 1 Fachgruppe Elektrotechnik

Elektrotechnik-Studierenden aus mehreren Gruppen haben sich zusammengeschlossen um gemeinsame Probleme anzugehen. Dabei handelt es sich um die benötigte Hard- und Software, um Motoren anzusteuern und gegebenenfalls zu regeln. In diesem Zusammenschluss werden drei Gruppen gebildet, um Lösungen für DC-, Stepper- und Brushless-Motoren auszuarbeiten. Die Idee besteht darin, dass nicht jede Gruppe 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 teamübergreifende Arbeiten im Rahmen des PREN erlernt und geübt werden. Somit wird Idee der Interdisziplinarität im erweiterten Sinn Rechnung getragen. Die Gruppen und deren Mitglieder sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Projekt	Team
DC Motoren	19, 33, 39
Schrittmotor	27, 33, 38
BLDC Motor	27, 32

Tabelle 1: Übersicht der PREN-ET Projektgruppen

## 2 Schrittmotor

Schrittmotoren oder auch Stepper genannt, sind Synchronmotoren, bei welchen der Rotor um einen bestimmten Winkel gedreht werden kann. So ist die Rotorposition ohne zusätzliche Sensoren bekannt. Dabei ist zu beachten, dass der Motor keine Schritte verliert, was bei Überlast geschehen kann. Da die meisten Schrittmotorensysteme Open- Loop Systeme sind, entsteht eine dauernde Positionsabweichung bei einem Schrittverlust. Grundsätzlich wird zwischen zwei Schrittmotortypen unterschieden:

- Permanentmagnetmotor
- Reluktanzmotor

Der Permanentmagnetmotor besitzt als Rotor einen Permanentmagneten. Beim Reluktanzmotor besteht der Rotor aus einem gezahnten Weicheisenkern. Permanentmagnetmotoren erreichen eine kleinere Schrittfrequenz, besitzen jedoch ein grösseres Drehmoment als Reluktanzmotoren. Die Kombination aus Reluktanzmotor und Permanentmagnetmotor ist ein Hybridmotor. Ein Hybridmotor verbindet die Vorteile von Reluktanz- und Permanentmotor.

### 2.1 Schritte

Der Vollschrittbetrieb kann einphasig oder auch zweiphasig gesteuert werden. Beim einphasigen Vollschrittbetrieb sind immer zwei gegenüber liegende Pole aktiv. Beim zweiphasigen Vollschrittbetrieb werden jeweils zwei nebeneinander liegende Pole aktiv. Im Halbschrittbetrieb werden die beiden Vollschrittbetriebsarten kombiniert. So kann der Schrittwinkel halbiert werden. Zusätzlich kann der Schrittmotor mit Mikroschritten betrieben werden. Dabei folgt der Strom der sinusförmigen Referenzspannung. (Vgl. Seite 4)

Wie bei anderen Motoren hat auch bei Schrittmotoren die Anzahl Polpaare einen Einfluss auf dessen Drehzahl.

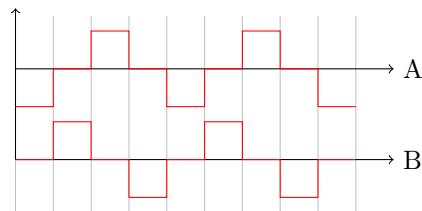


Abbildung 1: Vollschritt

Die Polpaare bilden eine Untersetzung zwischen der elektrischen und der mechanischen Rotation. Die meisten

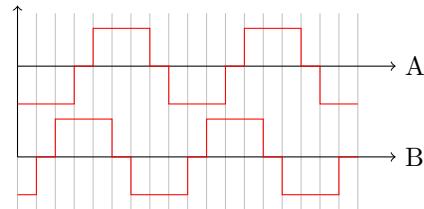


Abbildung 2: Halbschritt

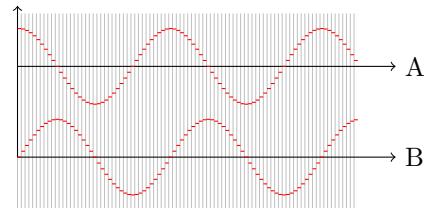


Abbildung 3: Mikroschritt

gängigen Schrittmotoren besitzen 50 Polpaare. Da eine elektrische Umdrehung aus vier Schritten besteht ergeben sich bei 50 Polpaaren 200 Schritte für eine Umdrehung. Dies ergibt eine Schrittauflösung von  $1.8^\circ$  bei Vollschriftbetrieb.

## 2.2 Wicklungen

Ein Schrittmotor besitzt zwei getrennte Wicklungen. Diese sind rechtwinklig zueinander angeordnet. Bei Motoren mit mehr als einem Polpaar sind entsprechend mehr Wicklungen verbaut. Beim Aufbau der Wicklungen wird zwischen unipolaren und bipolaren Wicklungen unterschieden. Die unipolare Wicklung besitzt einen Mittelabgriff. Dieser wird meistens mit der Versorgungsspannung verbunden. Die beiden anderen Enden werden nun mit einer Lowside Treiberstufe angesteuert. Dadurch kann der magnetische Fluss mit einem geringen elektronischen Aufwand umgekehrt werden. Jedoch ist immer nur eine Hälfte der Wicklung aktiv. Zudem ist die Herstellung aufwendiger und somit auch teurer. Bei einer bipolaren Wicklung fehlt der mittlere Abgriff. Die Umkehrung des magnetischen Fluxes muss über die Umkehrung der angelegten Spannung erfolgen. Deshalb muss für beide Wicklungen jeweils eine Brückenschaltung verwendet werden. Da bei bipolaren Schrittmotoren immer die gesamte Wicklung verwendet wird, kann damit ein grösseres Drehmoment erzeugt werden als mit einem gleich grossen unipolaren Schrittmotor. Die Ansteuerung der beiden Wicklungsarten ist in Abbildung 4 ersichtlich. (Prof. Dr. Wolfgang Matthes, 2007)

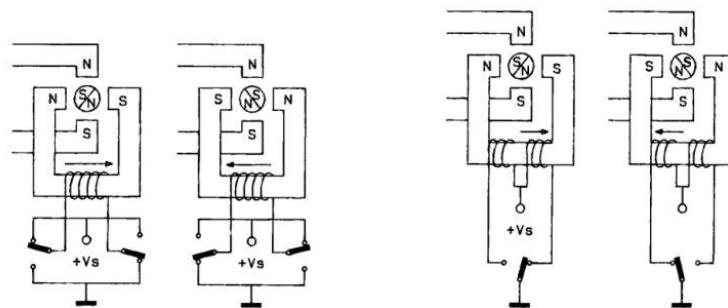


Abbildung 4: bipolarer und unipolarer Betrieb (Prof. Dr. Wolfgang Matthes, 2007)

### 3 Stepper Motoransteuerung

#### 3.1 Grundsätzliches zur Ansteuerung

Grundsätzlich besteht die Ansteuerung aus drei Teilen, wie in Abbildung 5 gezeigt. Um die Ansteuerung zu realisieren, gibt es eine Vielzahl von integrierten Schaltkreisen. Diese unterscheiden sich wie folgt:

- **Interfaces:** Einzelanschlüsse, einfache Busschnittstellen oder Mikrocontrollerschnittstellen wie SPI, I<sub>2</sub>C
- **Steuerfunktionen:** Einzelne Schritte oder Bewegungsabläufe (Motion Control Function)
- **Schaltungsintegration:** Steuerung und Treiberstufe als getrennte Schaltkreise, oder in einem Schaltkreis zusammengefasst.

(Prof. Dr. Wolfgang Matthes, 2007)

Der gewählte integrierte Schaltkreis ist der L6480 von STMicroelectronics. Dieser wird über die SPI Schnittstelle gesteuert und besitzt eine Motion Contol Engine. Die Treiberstufe wird extern realisiert. (Vgl. Kapitel 4)



Abbildung 5: Komponenten der Ansteuerung eines Schrittmotors

#### 3.2 Treiberstufe

Wird ein Schrittmotor unipolar betrieben, so können die vier Wicklungen direkt mit Lowside Treibern ansteuert werden. Für den bipolaren Betrieb benötigt man für beide Wicklungen je eine H- Brücke. Die einfachste Methode ist es, den Strom nur durch den Wicklungswiderstand zu begrenzen. Der Nachteil ist, dass die Zeitkonstante durch den Wicklungswiderstand und die Induktivität bestimmt ist, und so bei höheren Schritt frequenten der gewünschte Strom und damit das Drehmoment nicht mehr erreicht wird. Deshalb wird ein zusätzlicher Vorwiderstand in Serie geschaltet, und so die Zeitkonstante verkleinert. Typische Verhältnisse sind vierfacher- oder fünffacher Widerstand, was eine vierfache bzw. fünffache Speisespannung voraussetzt. Diese Methode wiederum führt zu einer höheren Verlustleistung in den Widerständen. Im Ruhezustand ist es sinnvoll, den Strom soweit zu senken, dass das Haltemoment nicht unterschritten wird. Eine Spannungsumschaltung hat den weiteren Vorteil, dass so beim Anfahren eine steilere Stromkurve erreicht werden kann. (Vgl. Abbildung 6) Der Schrittmotor kann

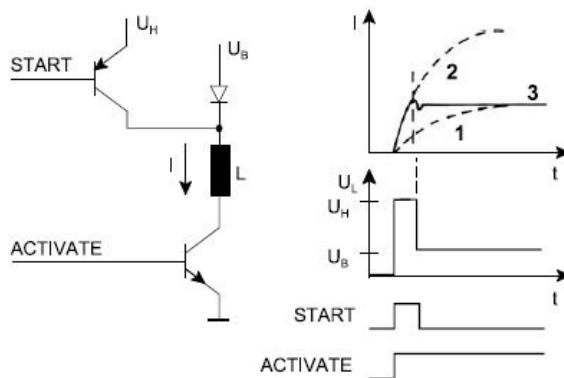


Abbildung 6: Spannungsumschaltung (Thomas Hopkins, 2012)

alternativ auch stromgesteuert betrieben werden. Dabei folgt der Stromverlauf dem Verlauf einer Referenzspannung (Sollwert). Der Stromverlauf wird auf den Sollwert geregelt. Die Betriebsspannung muss so nicht stabilisiert werden.

## 4 Stepper Driver L6480

Wie bereits im Kapitel 3.1 erwähnt, wird der L6480 von STMicroelectronics verwendet.

### 4.1 Funktionsbeschreibung

Diese Schrittmotorensteuerung ist für den Betrieb von zweiphasigen (Vgl. Kapitel 2) Schrittmotoren mit Mikrosteps (Vgl. Kapitel 2) geeignet. Der L6480 erreicht eine maximale Auflösung von einem 1/128 Schritt. Die Steuerung generiert intern die PWM- Signale für die Motorenansteuerung. Alternativ kann auch mit Vollschritten oder Halbschritten gearbeitet werden. Die beiden H- Brücken werden extern mit N-Kanal MOSFETs realisiert. Es können Bewegungsprofile konfiguriert werden, so dass die Motoren definiert anfahren, abbremsen oder ein Punkt direkt angefahren werden kann. So kann der Aufwand bei der Mikrocontrollerprogrammierung verringert werden. Die Befehle werden über eine SPI- Schnittstelle übertragen. Die absolute Position ist in einem 22- Bit Register gespeichert. Der Bereich liegt dementsprechend zwischen  $-2^{21}$  und  $2^{21} - 1$ . (STMicroelectronics, 2012)

### 4.2 Schnittstelle

Der steuernde Mikrocontroller benötigt 8 Pins für die Kommunikation mit dem L6480 (STMicroelectronics, 2012) :

Pin	IO	Funktion
$\overline{FLAG}$	Output (Open Drain)	Wird bei einem Fehler intern auf GND gezogen.
$\overline{BUSY} / \text{SYNC}$	Output (Open Drain)	Wird während dem Ausführen eines Befehls intern auf GND gezogen.
$\overline{STBY/RESET}$	Input	Standby- und Resetmodus, falls extern GND anliegt.
STCK	Input	Im Step-Clock- Mode führt jede positive Flanke an diesem Pin zu einem Schritt.
<b>SPI</b>		
$\overline{CS}$	Input	Chip Select: Falls extern GND anliegt, startet die Kommunikation. Um die Kommunikation zu beenden, muss $\overline{CS}$ extern auf High gehalten werden.
CK	Input	Serial Clock: Synchronisierung der Kommunikation.
SDO	Output	Slave Data Out: Daten für den Mikrocontroller.
SDI	Input	Slave Data In: Befehle und Daten für den L6480.

Tabelle 3: Schnittstelle des Treibers L6480

### 4.3 Typical Application

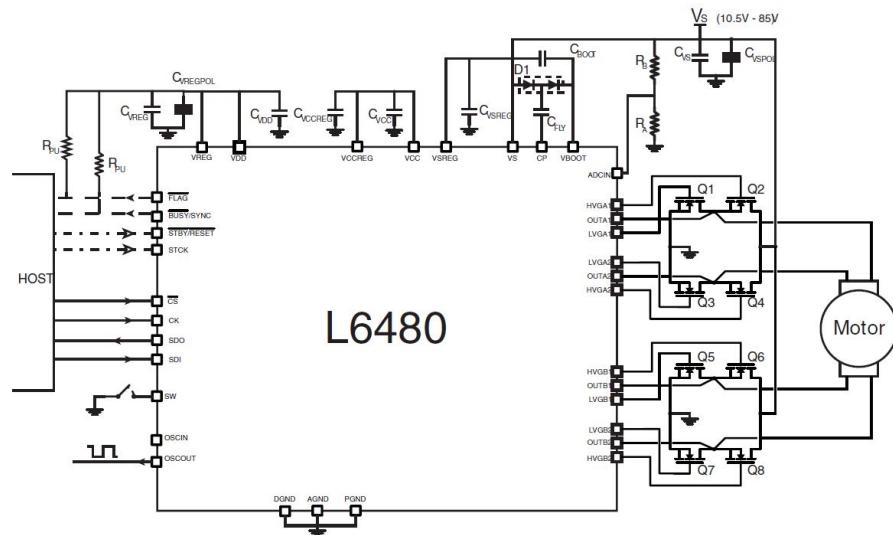


Abbildung 7: Typical Application (STMicroelectronics, 2012)

## 5 Ausblick

In einem nächsten Schritt soll der L6480 bestellt und in einer Testschaltung getestet werden. Weiter soll ein Schema und ein Layout geplant und produziert werden, welche alle Teammitglieder in ihrem Projekt verwenden können, falls sie dies benötigen.

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- Prof. Dr. Wolfgang Matthes. (2007). Schrittmotoren (Einführung) [Software-Handbuch]. Peukinger Weg 34, 59423 Unna.
- STMicroelectronics. (2012). *L6480, cSPIN™: microstepping motor controller with motion engine and SPI* (Datasheet). 39, Chemin du Champ des FillesPlan-Les-Ouates, CH1228 Geneva: Autor.
- Thomas Hopkins. (2012). *AN235 Application note, Stepper motor driving* (App. Note). 39, Chemin du Champ des FillesPlan-Les-Ouates, CH1228 Geneva: STMicroelectronics. (Doc ID 1679 Rev 2)

## Abbildungsverzeichnis

1	Vollschritt . . . . .	2
2	Halbschritt . . . . .	3
3	Mikroschritt . . . . .	3
4	bipolarer und unipolarer Betrieb . . . . .	3
5	Komponenten der Ansteuerung eines Schrittmotors . . . . .	4
6	Spannungsumschaltung . . . . .	4
7	Typical Application . . . . .	6

## Tabellenverzeichnis

1	Übersicht der PREN-ET Projektgruppen . . . . .	2
3	Schnittstelle des Treibers L6480 . . . . .	5

# PRODUKTENTWICKLUNG 1

HOCHSCHULE LUZERN

TECHNIK & ARCHITEKTUR

---

## DC Treiber

Konzeptbeschreibung

---

*Autoren:*

Ervin MAZLAGIĆ  
Flavio KREILIGER

*Projektgruppe:*  
PREN-ET

Horw  
6. Januar 2015

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Fachgruppe Elektrotechnik</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Konzept</b>	<b>2</b>
2.1	Annahmen und Abschätzungen . . . . .	2
2.2	Ziel . . . . .	2
2.3	Funktionsweise . . . . .	3
2.4	Regelung . . . . .	3
	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b>	<b>6</b>

# 1 Fachgruppe Elektrotechnik

Elektrotechnik-Studierenden aus mehreren Gruppen haben sich zusammengeschlossen um gemeinsame Probleme anzugehen. Dabei handelt es sich um die benötigte Hard- und Software, um Motoren anzusteuern und gegebenenfalls zu regeln. In diesem Zusammenschluss werden drei Gruppen gebildet, um Lösungen für DC-, Stepper- und Brushless-Motoren auszuarbeiten. Die Idee besteht darin, dass nicht jede Gruppe 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 teamübergreifende Arbeiten im Rahmen des PREN erlernt und geübt werden. Somit wird Idee der Interdisziplinarität im erweiterten Sinn Rechnung getragen. Die Gruppen und deren Mitglieder sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Projekt	Team
DC Motoren	19, 33, 39
Schrittmotor	27, 33, 38
BLDC Motor	27, 32

Tabelle 1: Übersicht der PREN-ET Projektgruppen

## 2 Konzept

Das Stellen eines fremderregten Gleichstrommotors erfolgt über die angelegte Ankerspannung. Eine variable Ankerspannung kann mittels einer zeitlichen Mittelung der anliegenden Spannung realisiert werden. Somit ist es möglich eine fremderregte Gleichstrommaschine mittels einer konstanten Gleichspannung einzustellen. Die Mittelung der Ankerspannung bildet die Basis des vorliegenden Konzepts für den DC-Motor-Treiber.

### 2.1 Annahmen und Abschätzungen

Für das vorliegende Konzept gilt die Annahme, dass das Erregerfeld mittels Permanentmagneten realisiert und das Erregerfeld konstant ist. Diese Annahme ist gewählt, da fremderregte Gleichstrommaschinen ohne Permanentmagneten einen Erregerstrom benötigen, welcher das Erregerfeld erzeugt. Im einfachsten Fall ist dies eine Konstantstromquelle. Eine solche Maschine benötigt mehr elektrische Energie und erfordert zusätzlichen Hardwareaufwand.

Die Drehzahl einer idealen fremderregten Gleichstrommaschine mit konstantem Erregerfeld korreliert mit dem Faktor  $-1$  zum Strom. Der Strom einer solchen Maschine korreliert wiederum mit der Belastung (Schlienz, 2009, p.163). Dieses Verhalten zwischen Belastung und Drehzahl ist in Abbildung 1 dargestellt.

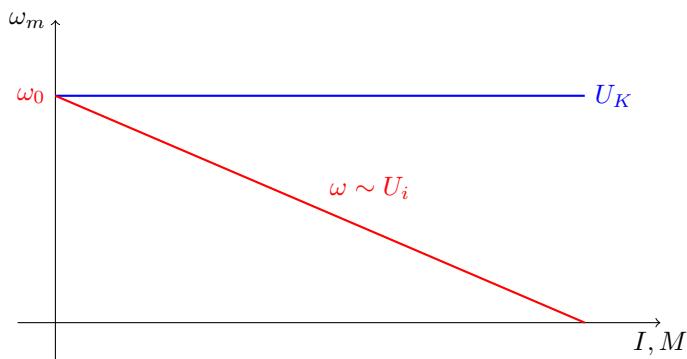


Abbildung 1: Winkelgeschwindigkeit einer idealen fremderregten Gleichstrommaschine

### 2.2 Ziel

Es ist eine Hardware zu entwickeln, welche es ermöglicht, die Winkelgeschwindigkeit einer fremderregten Gleichstrommaschine mit Permanentmagneten zu regeln.

## 2.3 Funktionsweise

Um die Klemmenspannung der Gleichstrommaschine zu stellen, wird eine H-Brücke verwendet. Diese kann je nach Bedarf individuell ausgelegt werden. Die Ansteuerung der H-Brücke erfolgt mittels des Treiberchips A3941 von Allegro Microsystems. Das Interface, welches der Treiberchip zur Verfügung stellt, wird mittels eines Mikrocontrollers bedient, welcher ebenfalls individuell gewählt ist.

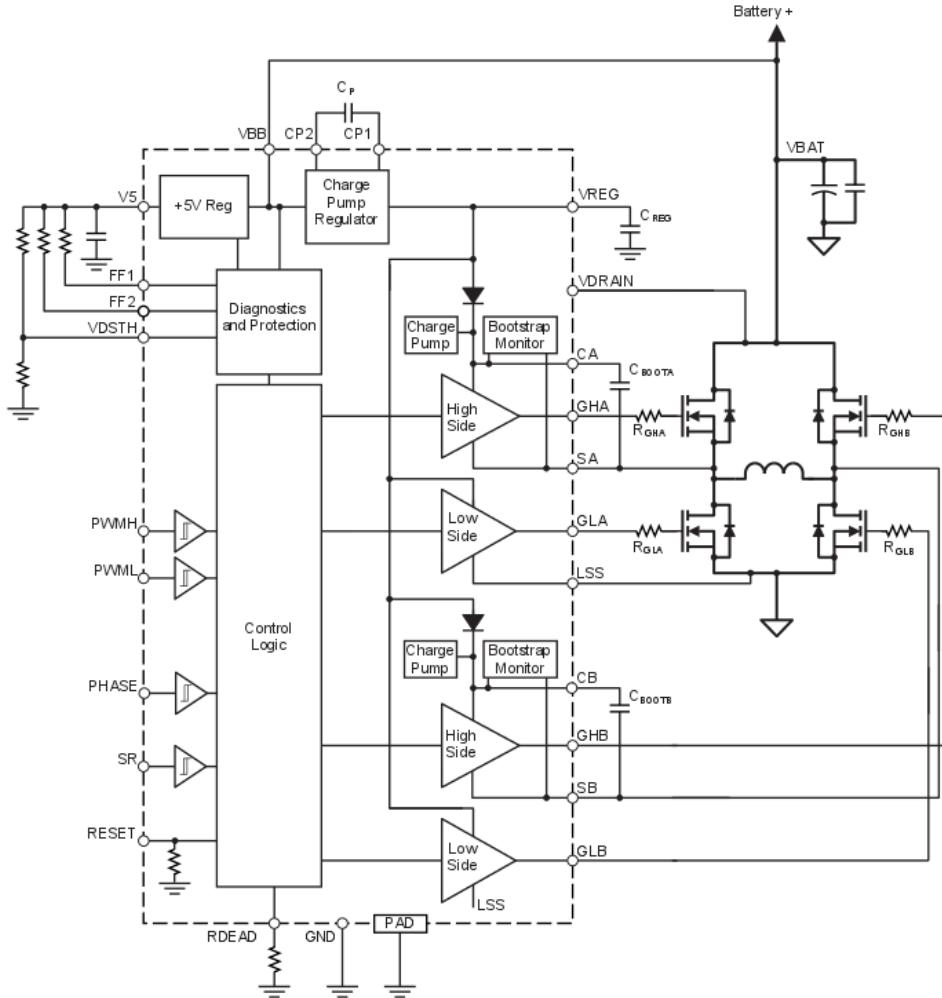


Abbildung 2: Blockschaltbild des A3941 (Allegro MicroSystems, LLC, 2011)

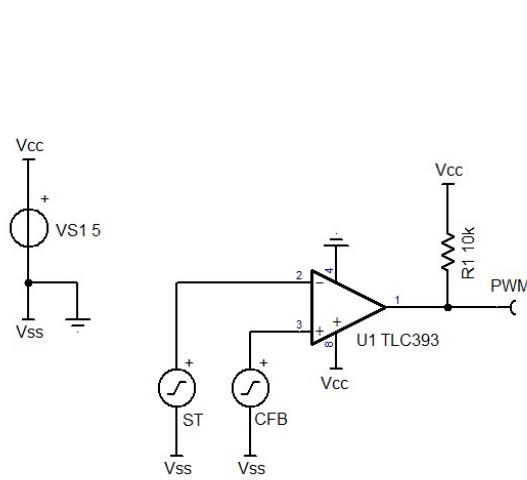
Die Regelung der Winkelgeschwindigkeit eines angeschlossenen Motors kann mit verschiedenen Ansätzen realisiert werden. Gemeinsam ist dabei stets die Stellgröße, welche durch das PWM Signal gegeben ist, als auch die Winkelgeschwindigkeit der Maschine, welche die Regelgröße darstellt.

Die Regelung muss auf einem Feedback der Winkelgeschwindigkeit basieren. Wird von einer idealen Maschine ausgegangen, muss dieses Feedback nicht zwingend durch einen Encoder generiert werden, sondern kann implizit durch den Strom gegeben sein, wie in Abbildung 1 dargestellt. Mit den getroffenen Annahmen aus Abschnitt 2.1 kann somit auf ein explizites Feedback der Winkelgeschwindigkeit verzichtet werden.

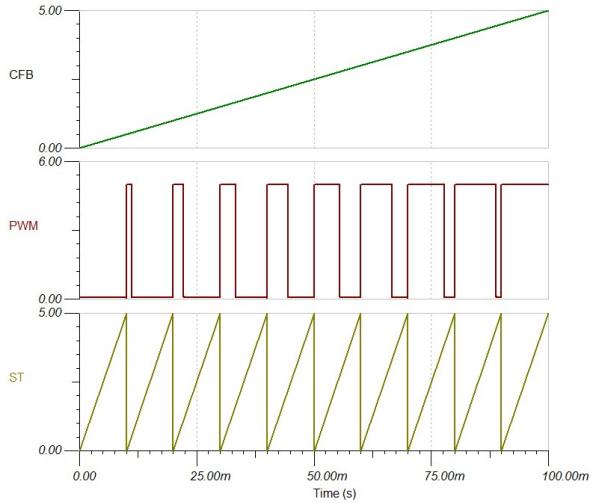
## 2.4 Regelung

Für die Ansteuerung der H-Brücke bzw. des Treiberchips A3941 wird ein PWM Signal benötigt. Dieses kann in Hardware auf dem Treiberboard implementiert werden, mittels eines Sägezähngenerators und einem Komparator. Der zweite Komparatoreingang wird dazu an das Feedback des Stromes angeschlossen, was ein zur Winkelgeschwindigkeit angepasstes PWM Signal generiert.

Alternativ zu dieser Regelung kann das Feedback des Stromes auch zu einem Mikrocontroller geführt werden, welcher dieses auswertet und ein passendes PWM Signal generiert.

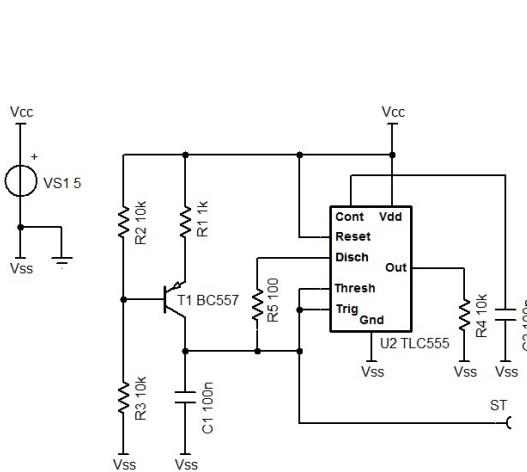


(a) Prinzipschema mit dem Komparator TLC393



(b) Simulationsergebnisse für lineares Feedback

Abbildung 3: Simulation eines PWM-Generator mit Komparator



(a) Sägezahntgenerator mit Timer TLC555

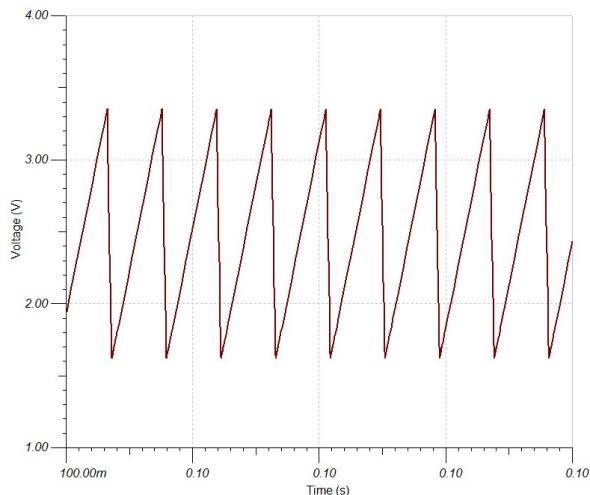
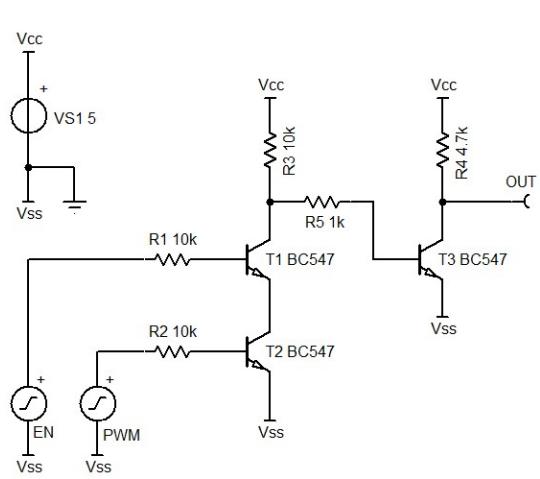
(b) Simulationsergebnis ( $f_{ST} \approx 9.3\text{kHz}$ )

Abbildung 4: Simulation eines Sägezahngenerators

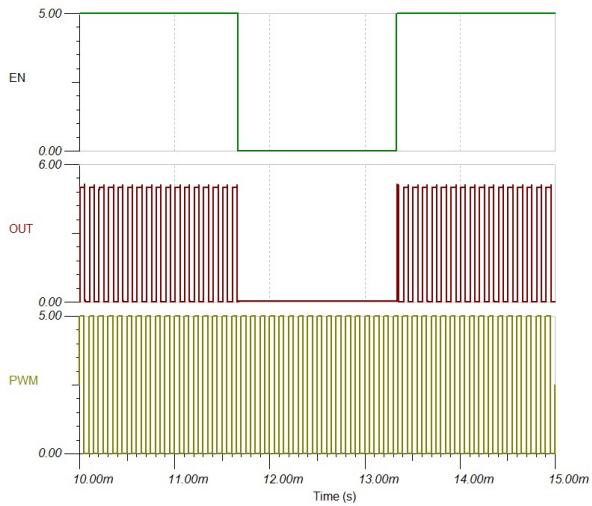
Ein passender Baustein zur Erzeugung ist der Timer TLC555, wie in der Abbildung 4 dargestellt. Das Feedback des Stromes kann dabei auf verschiedene Weisen implementiert werden. Einerseits gibt es eine kostengünstige Variante mittels dem Einsatz eines Shunt-Widerstands. Dieser bietet im Idealfall ein lineares Verhalten. In der Realität führt der Einfluss der Temperatur zu einer deutlichen Nichtlinearität dieses Messmittels. Eine Alternative zum Shunt-Widerstand bietet der Einsatz von Hall-Effekt-Stromwandlern, welche den Strom linearisiert als Spannungssignal ausgeben. Ein solcher Baustein ist der ACS712 der Allegro Microsystems, welcher im SMD Format verfügbar ist, bis zu einem Strom von 30A.

Ist eine genaue Drehzahl nicht von Bedeutung, kann auf die Regelung der Winkelgeschwindigkeit verzichtet werden. Dies gilt insbesondere, wenn eine hohe Übersetzung vorliegt, welche verhindert, dass die Winkelgeschwindigkeit der Gleichstrommaschine einbricht, bei entsprechender Belastung. Für diesen Fall kann das PWM fix eingestellt werden und lediglich mit einem Enable Signal gearbeitet werden. Dies lässt sich mit einer logi-

schen AND Funktion realisieren für das PWM Signal. Eine mögliche Implementierung ist in der Abbildung 5 dargestellt.



(a) AND-Schaltung mit NPN-Transistoren



(b) Simulationsergebnisse

Abbildung 5: Simulation einer AND-Schaltung realisiert mit Bipolartransistoren

## Literatur- und Quellenverzeichnis

Allegro MicroSystems, LLC. (2011). *A3941, Automotive Full Bridge MOSFET Driver* (Datasheet). 115 Northeast Cutoff Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.: Autor.

Schlienz, U. (2009). *Schaltnetzteile und ihre Peripherie* (4. Aufl.). Vieweg+Tuebner.

## Abbildungsverzeichnis

1	Winkelgeschwindigkeit einer idealen fremderregten Gleichstrommaschine . . . . .	2
2	Blockschaltbild des A3941 . . . . .	3
3	Simulation eines PWM-Generator mit Komparator . . . . .	4
4	Simulation eines Sägezahngenerators . . . . .	4
5	Simulation einer AND-Schaltung realisiert mit Bipolartransistoren . . . . .	5

## Tabellenverzeichnis

1	Übersicht der PREN-ET Projektgruppen . . . . .	2
---	--	---

Projektmodul Produktentwicklung PREN 14 / 15

## Aufgabenstellung PREN1 Herbstsemester 2014

15. September 2014  
Adrian Omlin

# Autonomer Ballwerfer

1	Einleitung .....	2
2	Aufgabe .....	2
2.1	Ausblick auf PREN 2 .....	2
3	Randbedingungen .....	3
3.1	Spielfeld .....	3
3.2	Tennisbälle .....	4
3.3	Korb .....	4
3.4	Zu realisierendes System .....	4
3.5	Wettbewerbskriterien .....	5
3.6	Material und Beschaffung .....	5
3.7	Kosten .....	6
4	Ausführung und Bewertung PREN 1 .....	6

Modulverantwortlicher: Ernst Lüthi

Fachliche Begleitung:  
De Angelis Marco  
Habegger Jürg  
Joss Marcel  
Klaper Martin  
Koller Thomas  
Lang Udo  
Lustenberger Stefan  
Lüthi Ernst  
Mettler Rolf  
Omlin Adrian  
Thalmann Markus  
Vogel Martin

## 1 Einleitung

Die aktuellen Herausforderungen in der Produktentwicklung lassen sich meist nicht mehr von einer einzelnen Disziplin lösen. Deshalb erarbeiten an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur Teams aus Studierenden der Studiengänge Elektrotechnik, Informatik und Maschinentechnik Lösungen zu einer interdisziplinären, exemplarischen Aufgabenstellung.

In PREN 1 im Herbstsemester erarbeitet jedes Team ein Lösungskonzept. In PREN 2 im folgenden Frühlingssemester bauen die Teams basierend auf ihrem Lösungskonzept ein Funktionsmuster, um die Tauglichkeit des Konzepts zu beweisen.

Zentral in PREN ist die strukturierte, professionelle Projektabwicklung unter Anwendung des in Kontext 1 und 2 sowie in den fachspezifischen Modulen Gelernten. Die Arbeit soll in späteren Projektaufgaben als Beispiel für die Vorgehensweise und die Projektdokumentation dienen.

## 2 Aufgabe

Das Gerät, das Sie im HS14 und FS15 realisieren, muss möglichst viele der fünf Tennisbälle, die Sie vorgängig erhalten, in möglichst kurzer Zeit in einen Korb befördern. Der Korb befindet sich seitlich verschiebbar auf einem Spielfeld (Abbildung 1). Vor dem Startsignal befindet sich ihr Gerät im Startfeld. Der Korb wird erst unmittelbar vor dem Startsignal positioniert. Nach dem Startsignal darf das Spielfeld bis zur Begrenzungslinie befahren, beschritten, bekrochen, überflogen, überragt und auch überworfen werden. Das Feld zwischen Begrenzungslinie und Korb darf nur überworfen oder überflogen werden. Ein Überragen, Überfahren etc. der Begrenzungslinie ist also nicht erlaubt.

Ihr Gerät soll möglichst leicht sein.

Das Spielfeld, der Korb, die Tennisbälle und das zu realisierende Gerät sind in Kapitel 3 genauer beschrieben.

Die Hauptaufgabe in PREN 1 ist das Erarbeiten eines Konzeptes. Aus diesem Gesamtkonzept soll auch im Detail ersichtlich sein, wie das Gesamtfunktionsmuster, das Sie in PREN 2 realisieren werden, aufgebaut sein wird.

Der Lösungsansatz für einzelne kritische Teilprobleme muss in PREN 1 durch den Aufbau von Teifunktionsmustern verifiziert werden.

### 2.1 Ausblick auf PREN 2

In PREN 2 wird das System basierend auf dem in PREN 1 erarbeiteten Lösungskonzept aufgebaut und ausgetestet.

Als Höhepunkt findet im Rahmen des Kompetenznachweises im Sommer 2015 ein Wettbewerb statt, an dem Sie Ihr Gerät mit denen der anderen Teams messen. Ein Teil der Bewertungspunkte (10 bis 20% der Gesamtpunktzahl von PREN 2) wird entsprechend dem Wettbewerberfolg vergeben. Bewertet werden die Anzahl der Bälle im Korb, die dazu benötigte Zeit sowie das Gewicht des Geräts.

### 3 Randbedingungen

#### 3.1 Spielfeld

Das Spielfeld ist in Abbildung 1 dargestellt. Diese Abbildung ist nicht massstäblich. Der Korb lässt sich im Positionierungsfeld seitlich verschieben.

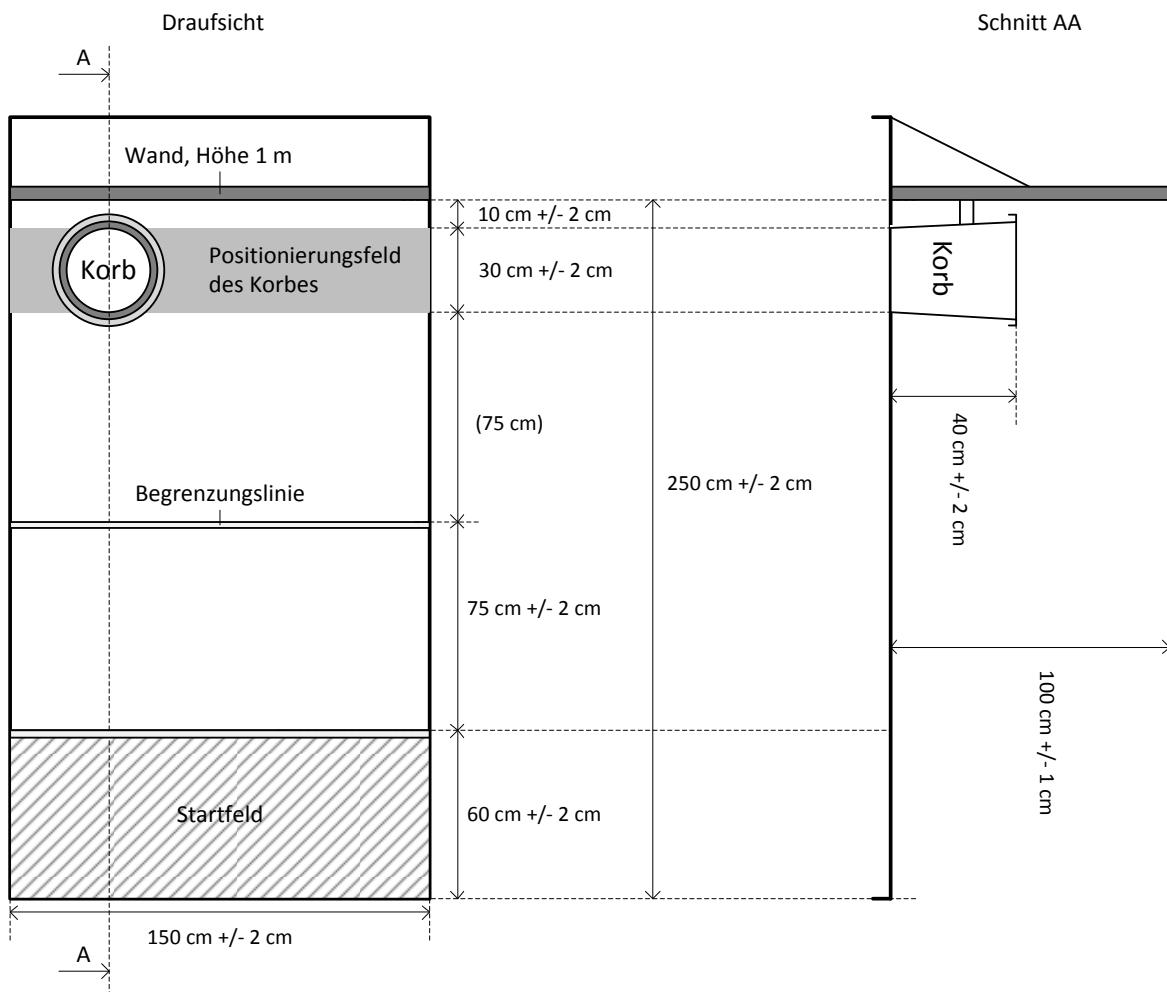


Abbildung 1: Spielfeld, Ansicht von oben und der Seite, nicht massstäblich

Das Spielfeld wird mit Spanplatten realisiert. Falls das Feld aus mehreren Platten aufgebaut werden muss, werden die Spanplatten mit Nägeln oder Senkkopfschrauben auf einem Grundrahmen befestigt. Es ist mit kleinen Fugen zu rechnen.

Die Oberfläche des Spielfeldes ist unbehandelt.

Das Spielfeld liegt auf dem Boden oder auf einem Tisch. Die Hindernisfreiheit über dem Feld beträgt 1.8 m. Der hindernisfreie Raum um das Feld beträgt mindestens 0.5 m.

Das Spielfeld darf nicht verändert werden. Es dürfen beispielsweise keine Führungsschienen oder Navigationsmittel angebracht werden.

Falls ein zusätzliches stationäres Rechengerät (PC / Laptop / Tablet / Smartphone..) verwendet wird, darf das neben dem Feld auf einem Tisch aufgestellt werden.

Hinter dem Korb wird das Spielfeld durch eine 1 m hohe Wand begrenzt.

Die Begrenzungslinie, die nicht überragt, überfahren etc. werden darf, ist mit einem ca. 2 cm breiten dunklen Klebband markiert. Der Rand des Startfeldes wird ebenfalls mit einem Klebband gekennzeichnet.

### 3.2 Tennisbälle

Es werden „normale“, käufliche Tennisbälle verwendet (Tretorn Micro X). Sie sind gelb. Ihre Masse liegt zwischen 55 und 60 g. Der Durchmesser beträgt zwischen 6.3 und 7.3 cm. Die Tennisbälle dürfen nicht verändert werden (keine Markierungen, keine Ösen etc.).

### 3.3 Korb

Der obere Rand des Korbes liegt 40 cm +/- 2 cm über der Oberfläche des Spielfeldes. Die Öffnung ist rund. Der Innendurchmesser der Öffnung beträgt mindestens 30 cm. Als „Korb“ wird ein schwarzer Abfalleimer, wie er an der HSLU eingesetzt wird, verwendet.

Der Korb wird durch eine ca. 10 cm breite, durchgehende Leiste an der Rückwand abgestützt. Ansonsten ist er nicht befestigt.

### 3.4 Zu realisierendes System

Ob Ihr Gerät mobil oder stationär ist, ist Ihnen überlassen.

Das System (Gerät, Steuerung, Kommunikation...) muss eine Eigenkonstruktion sein. Einzelne Systemkomponenten wie z.B. Servos, das Lenkgetriebe eines Modellautos, ein Sendemodul oder eine Kamera dürfen zugekauft und eingesetzt werden.

Das Gerät muss die Aufgabe autonom bewältigen. Nach dem Startbefehl dürfen keine Eingriffe mehr vorgenommen werden. Insbesondere muss das Gerät die Position des Korbes selbstständig finden.

Der Startbefehl muss drahtlos von einem Smartphone, Tablet, PC oder Laptop aus übermittelt werden. Auf dem gleichen Kommunikationsgerät muss optisch oder akustisch angezeigt werden, wann die Aufgabe abgeschlossen ist und die Zeit gestoppt werden kann. Das Kommunikationsgerät darf auch zusätzliche Aufgaben übernehmen (Ausführen von Berechnungen, Steuerung des Geräts....). Nebst dem Kommunikationsgerät ist ein zusätzlicher stationärer Rechner (PC / Laptop / Tablet / Smartphone..) erlaubt. Auch hier sind natürlich nach dem Start keine Eingriffe mehr erlaubt. Dieser Rechner sowie das Kommunikationsgerät darf auf einem Tisch neben dem Spielfeld aufgebaut werden.

Das Gerät darf den Spielfeldrand nicht umgreifen.

Das Gerät soll möglichst leicht sein. Die Energieversorgung (Akku, Speisegerät, Druckluftversorgung...), das zum Starten des Geräts verwendete Kommunikationsgerät sowie ein allenfalls eingesetzter zusätzlicher stationärer Rechner werden nicht mitgerechnet. Das Gerät soll sich möglichst einfach ohne diese Komponenten (z.B. Akku) wägen lassen. Zum Wägen ist am Gerät eine Aufhängevorrichtung vorzusehen, damit das Gerät mit einer Federwage gewogen werden kann.

Die maximalen Abmessungen des Gerätes – auch während des Ausführens der Aufgabe – betragen 0.5 m x 0.5 m x 1 m. Ein allfällig zusätzlich eingesetzter Rechner fällt nicht unter diese Größenbeschränkung. Falls Ihr Gerät fliegt, fällt ein Auftriebskörper nicht unter diese Größenbeschränkung. Auch dürfen Rotoren oder Flüge über das Mass hinausragen. Insbesondere bei Rotoren muss die Personensicherheit jederzeit gewährleistet sein. Die maximale Hindernisfreiheit gilt weiterhin.

### 3.5 Wettbewerbskriterien

Am Wettbewerb anlässlich des Kompetenznachweises in PREN 2 haben Sie vor dem Start maximal 5 Minuten Zeit, um das System startklar zu machen. Wenn gewünscht, sind in dieser Zeit zwei Probewürfe erlaubt.

Vor dem Startsignal darf das Gerät die in Abbildung 1 schraffierte Startfläche nicht überragen.

Das Startsignal erfolgt akustisch durch Zählen („Drei, Zwei, Eins, Start!“).

Die Positionierung des Korbes erfolgt erst während des Zählens.

Die Endzeit wird mit einer Stoppuhr gemessen. Die Zeit wird genommen, wenn Ihr Kommunikationsgerät unmissverständlich optisch oder akustisch „Stopp“ meldet. Gewertet werden die Bälle, die dann im Korb sind.

Die maximal zulässige Zeit beträgt 5 Minuten. Nach dieser Zeit wird der Vorgang abgebrochen und die Bälle im Korb werden gezählt.

Liegt nach der Spielzeit kein Ball im Korb, wird der Durchgang mit null Bewertungspunkten bewertet.

Für die Rangierung werden die Anzahl Bälle im Korb, die Zeit zum Ausführen der Aufgabe sowie die Masse des Geräts bewertet. Zur Bestimmung der Bewertungspunkte kann folgende Formel verwendet werden:

$$\text{Bewertungspunkte} = \text{Anzahl Bälle} + (5 \text{ [Min]} - \text{Spielzeit [Min]}) / [\text{Min}] + \text{Gewichtspunkte}$$

Für die Masse  $m$  des Gerätes werden folgende Gewichtspunkte vergeben:

$m \leq 2 \text{ kg}$ :	4 Punkte
$2 \text{ kg} < m \leq 4 \text{ kg}$ :	3 Punkte
$4 \text{ kg} < m \leq 6 \text{ kg}$ :	2 Punkte
$6 \text{ kg} < m \leq 8 \text{ kg}$ :	1 Punkte
$8 \text{ kg} < m$ :	0 Punkte

Ein Team mit 3 Bällen in genau 2 Minuten erhält also wie ein Team mit 4 Bällen in genau 3 Minuten 8 Bewertungspunkte, falls ihre Geräte zwischen 4 und 6 kg schwer sind.

### 3.6 Material und Beschaffung

Wird bereits in PREN 1 für Tests oder für den Aufbau von Funktionsmustern Material benötigt, so kann der Kauf beim betreuenden Dozierenden beantragt werden. Der Entscheid zur Beschaffung obliegt dem betreuenden Dozenten oder dem Dozententeam.

Damit Sammelbestellungen getätigt werden können, soll das beschaffte Material vorzugsweise von folgenden Lieferanten kommen:

- Conrad Electronic
- Distrelec
- Mädler
- Farnell

Wenn nötig, kann Material auch bei andern Lieferanten bestellt werden.

Wird Material vom Team selber eingekauft, können die Kosten zurückgefördert werden. Das ist nur bei Abgabe des Originals des Kaufbeleges möglich.

Es wird abgeraten, Material im Ausland zu bestellen, da die Lieferkosten und die Zollgebühren sehr hoch sind und oft beträchtliche Lieferzeiten bestehen.

Die Hochschule hat aus ehemaligen PREN-Durchführungen einiges an Material an Lager wie Servoantriebe, DC- und Schrittmotoren (detaillierte Liste siehe ILIAS). Dieses Material kann ausgeliehen werden.

### 3.7 Kosten

Für den Bau der Teilstücksmuster in PREN 1 und für die Realisierung des Systems in PREN2 stehen Ihnen als Team insgesamt CHF 600.- zur Verfügung. Davon dürfen maximal CHF 200.- in PREN 1 ausgegeben werden.

Aus diesem Betrag müssen sämtliche Kaufteile sowie allfällige Software bezahlt werden. Die Kosten für Normteile wie Schrauben, Lager, Rohmaterial, Widerstände, Kondensatoren usw. werden nicht verrechnet, sofern die Teile gemäss Lagerliste in den Werkstätten der HSLU - T&A am Lager sind. (Detaillierte Liste siehe ILIAS).

Die Verwendung von „gesponserten“ Komponenten ist möglich. Um kein Team zu benachteiligen, werden diese Komponenten, auch wenn der HSLU keine Auslagen entstehen, mit einem realistischen Preis in die Kostenrechnung einbezogen.

Private Laptops, Computer, Smartphones und Tablets fallen nicht in die Kostenrechnung. Verwendete Netz- und Ladegeräte fallen ebenfalls nicht in die Kostenrechnung, ausser wenn Sie extra für diese Anwendung beschafft und von der Hochschule Luzern bezahlt werden.

Das von der HSLU zum Bau der Teilstücksmuster ausgeliehene Material wird ebenfalls verrechnet, und zwar zum halben Listenpreis. Sobald Sie das Material in einwandfreiem Zustand zurückgeben, wird Ihnen der entsprechende Betrag wieder gutgeschrieben. Wenn Sie das Material in PREN 2 verwenden möchten, wird es Ihnen ebenfalls zum halben Kaufpreis verrechnet.

Die Nutzung von freien Softwarekomponenten oder –services ist zulässig und belastet die Kostenrechnung nicht.

Falls gewünscht, kann von der HSLU ein HCS08 µP-Starterkit ausgeliehen werden.

Es können Bauteile im Rapid Prototyping Verfahren mit dem 3-D Drucker (FDM Verfahren, Werkstoff ABS) der HSLU - T&A hergestellt werden.

Im Fablab lässt sich mit einem Lasergerät Plexiglas und Holz zuschneiden.

Die Kosten für die Arbeitszeit von Mitarbeitenden der HSLU - T&A zur Herstellung von Teilen sind in den oben erwähnten CHF 600.- nicht mit eingerechnet.

Jedem Team stehen für PREN 1 und PREN 2 zusammen folgende Hilfen zur Verfügung:

- maximal 25 h Maschinenlaufzeit des 3D-Druckers
- maximal 1 h Maschinenlaufzeit des Lasergeräts
- maximal 10 Arbeitsstunden des Werkstattpersonals Elektrotechnik
- maximal 10 Arbeitsstunden des Werkstattpersonals Maschinentechnik

## 4 Ausführung und Bewertung PREN 1

Neben der technischen Richtigkeit legen wir unser Augenmerk auch auf die professionelle Abwicklung des Projekts. Dazu gehören unter anderem:

- Kontinuierliche Projektplanung mit Vergleich von Planung und Realität
- Definition der Produktanforderungen in einer Anforderungsliste
- Dokumentation der Technologierecherche
- Risikomanagement
- Erarbeiten von Lösungsvarianten und systematische Lösungsfindung
- Vollständige, verständliche und nachvollziehbare Dokumentation des Gesamtkonzepts inkl. Designüberlegungen

Die Arbeit muss in einem Projektbericht dokumentiert werden. Der Aufbau der Dokumentation basiert auf den Inputs aus dem Kontextmodul 1.

Für die Zulassung zum Kompetenznachweis müssen die folgenden Punkte erfüllt sein:

- Technologierecherche und Anforderungsliste (Testat 1 in SW4)
- Evaluation der Lösungsprinzipien und Auswahl der optimalen Lösungskombination(en) (Testat 2 in SW8)
- Freigabe des Gesamtkonzepts.  
Dokumentation zu 80% fertig gestellt (Testat 3 in SW13)

Für den Kompetenznachweis werden die folgenden Kriterien mit der entsprechenden Gewichtung bewertet (PREN 1):

Kriterien	Gewichtung
<b>Teamarbeit und Arbeitsweise</b> Zusammenarbeit / Arbeitsplanung / Problemerfassung / Konfliktbewältigung / Systematik / Informationsbeschaffung / Interdisziplinarität / Projektmanagement / persönlicher Einsatz / Initiative / Effizienz / Arbeitsmenge	<b>20 %</b>
<b>Resultate und Ergebnisse</b> Innovationsgehalt / technische Machbarkeit / technische Richtigkeit / Einfachheit / Herstellbarkeit / sinnvoller Einsatz von Technologien / Vollständigkeit / Schnittstellen / Wirtschaftlichkeit / Nachvollziehbarkeit / Layout / Softwarearchitektur / Zuverlässigkeit / Ästhetik / Bedienbarkeit Technologierecherche / Produktanforderung (Teil-)Funktionsmuster	<b>50 %</b>
<b>Dokumentation</b> Formales / Aufbau / Integration der Disziplinen / Sprache / Vollständigkeit / Verständlichkeit / Glaubwürdigkeit / Kohärenz / Abbildungen / Tabellen / Quellenangaben	<b>20 %</b>
<b>Präsentation</b> Beginn / Schluss / Sprache / Inhalt / Verständlichkeit / Glaubwürdigkeit / Vorgehen / nonverbale Aspekte / Einsatz visueller Hilfsmittel	<b>10 %</b>

Wir erwarten eine Zusammenarbeit über die Grenzen der Disziplinen hinweg. Jede Disziplin muss einen nachweisbaren Beitrag zum Erfolg leisten.

Alle Mitglieder des Teams erhalten die gleiche Bewertung. In Ausnahmefällen können einzelne Teammitglieder separat bewertet werden.

Wird ein Team am Kompetenznachweis mit „FX“ bewertet, erhält es die Gelegenheit zur Nachbesserung. Das kann eine Teamaufgabe sein. Alle Teammitglieder erhalten in diesem Fall nach der Nachprüfung ein „F“ oder ein „E“. Es ist auch möglich, dass jedes Teammitglied zur Nachbesserung eine individuelle Aufgabe lösen muss. Nach der Nachprüfung wird für jedes Teammitglied einzeln entschieden, ob es ein „F“ oder ein „E“ erhält.