

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

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

Eidesstattliche Erklärung	I
Management Summary	II
1 Projektmanagement	1
1.1 Projektplanung	2
1.2 Risikoanalyse allgemein	5
2 Einleitung	6
3 Aufgabenstellung	7
3.1 Gerät	7
3.2 Randbedingungen	8
3.3 Eigene Anforderungen	9
4 Benötigte Funktionen	10
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
5 Lösungskonzepte	12
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
6 Produktbeschreibung und Funktion	19
6.1 Drehvorrichtung	19
6.2 Ballbeschleunigung	20
6.3 Ballnachführung	21
6.4 Bilderkennung	21
6.5 Signalübertragung	21
7 Berechnungen	24
7.1 Spielfeld	24
7.2 Berechnungen Ballwurf	25
8 Tests und Versuche	26
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
9 Schlussdiskussion	40
9.1 Erfahrungen	40
9.2 Offene Punkte/Risiken/Ausblick	40

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

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:

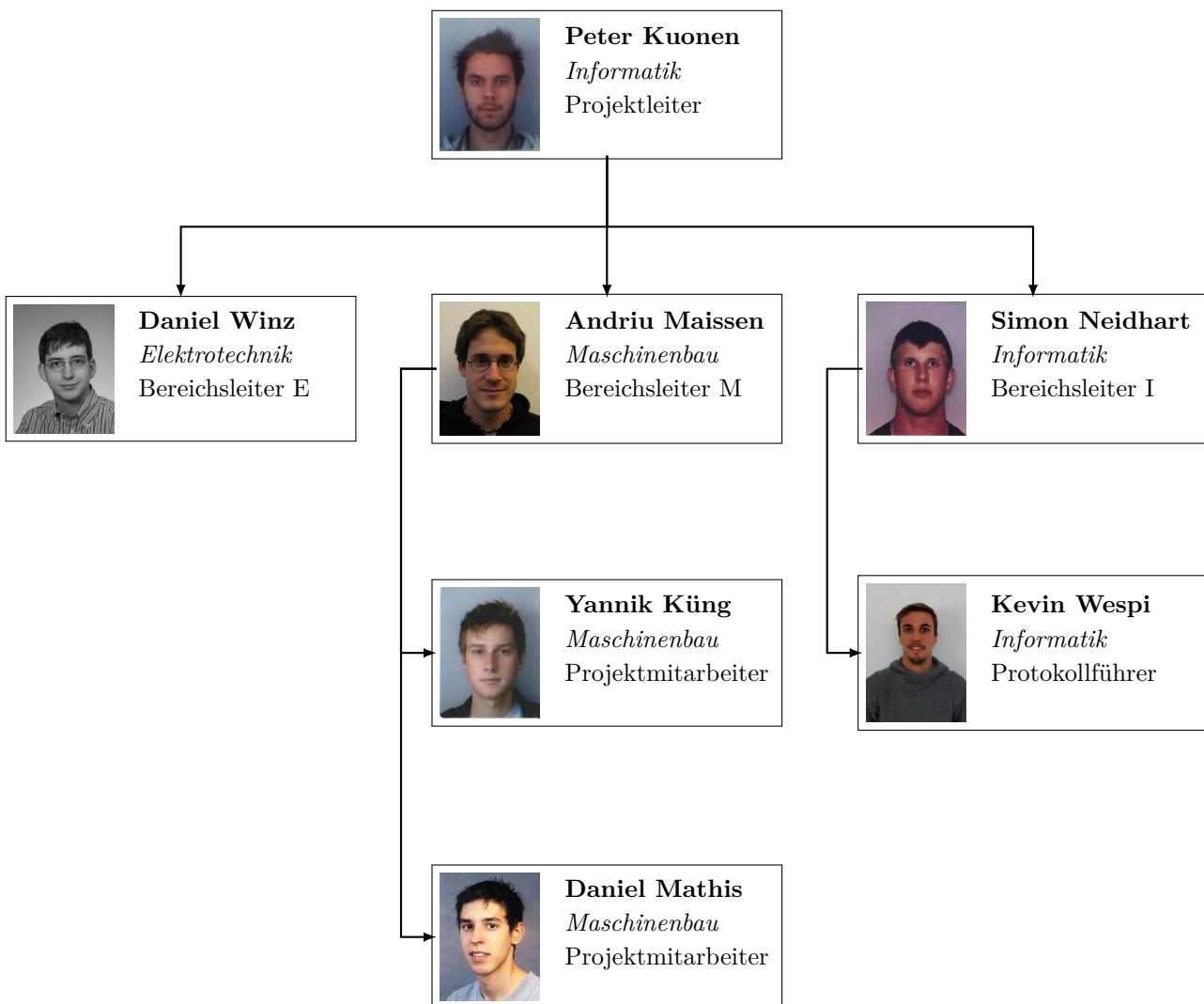


Abbildung 1: Organigramm

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.

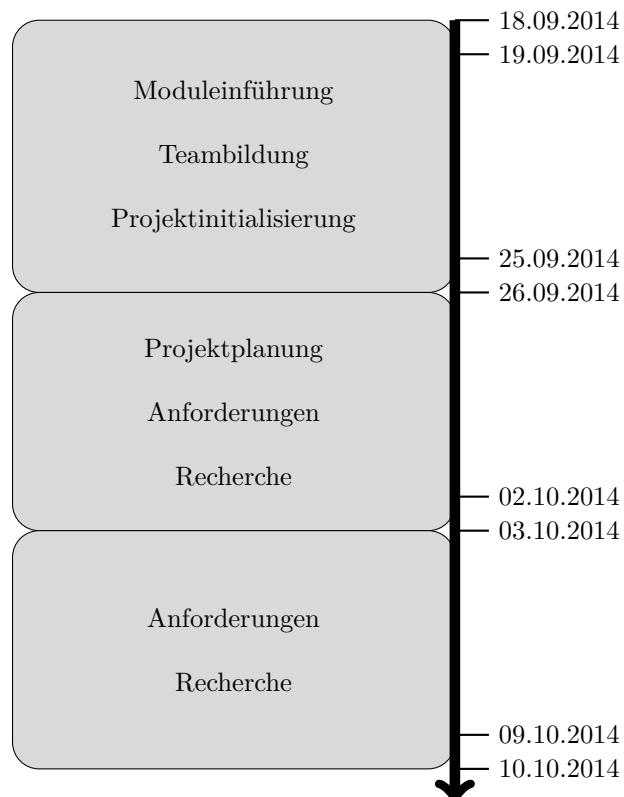


Abbildung 2: Planung Meilenstein 1 (Initialisierungsphase)

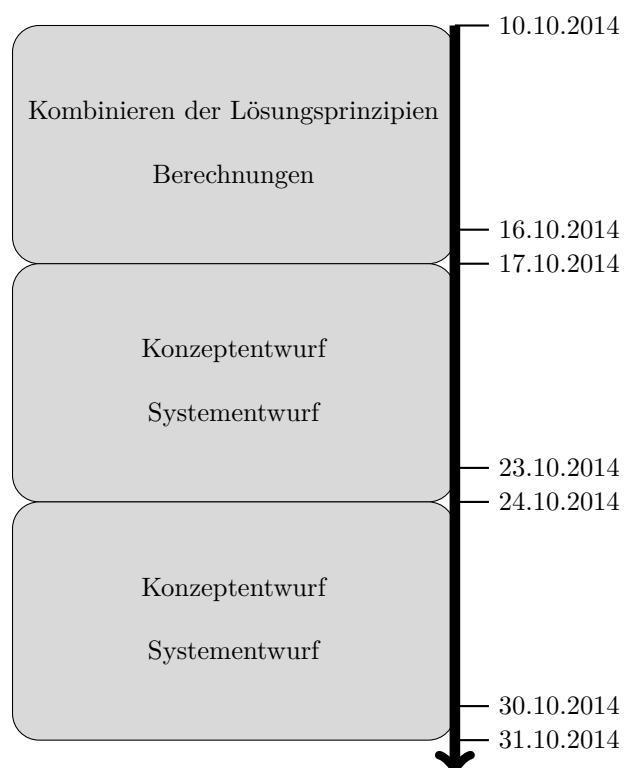


Abbildung 3: Planung Meilenstein 2 (Konzeptphase)

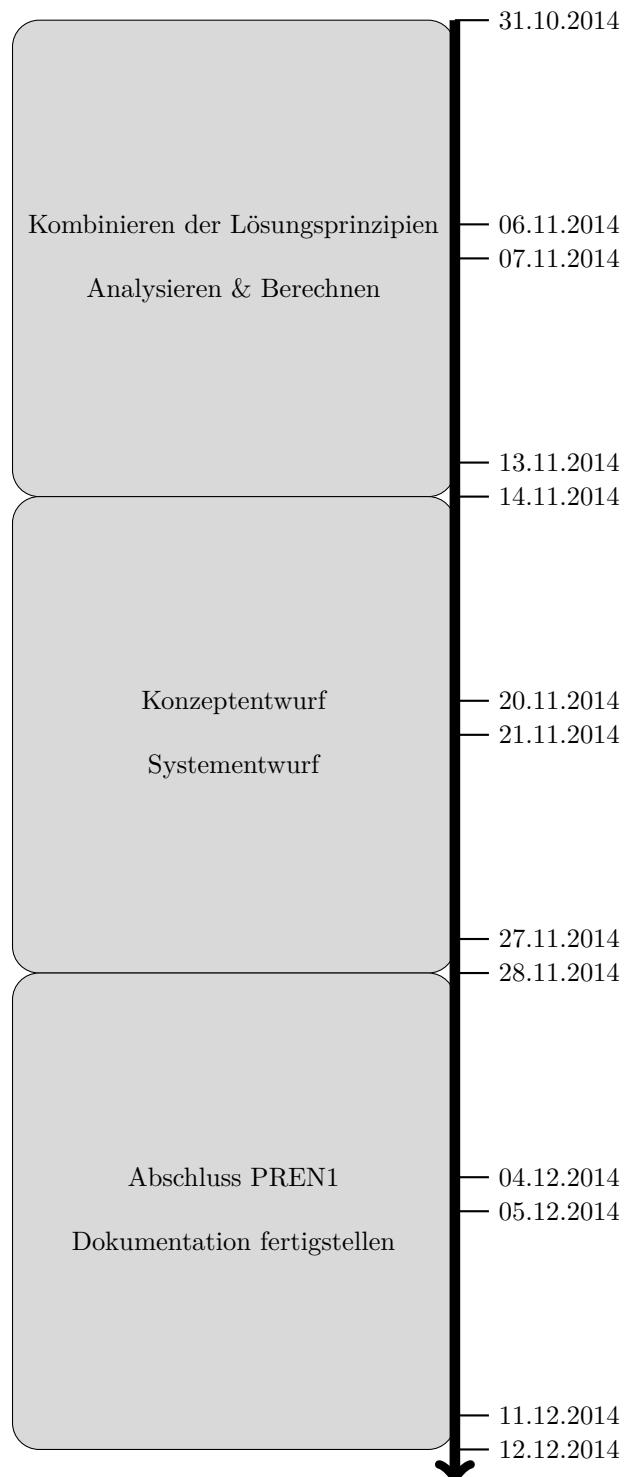


Abbildung 4: Planung Meilenstein 3 (Systementwurfsphase)

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)

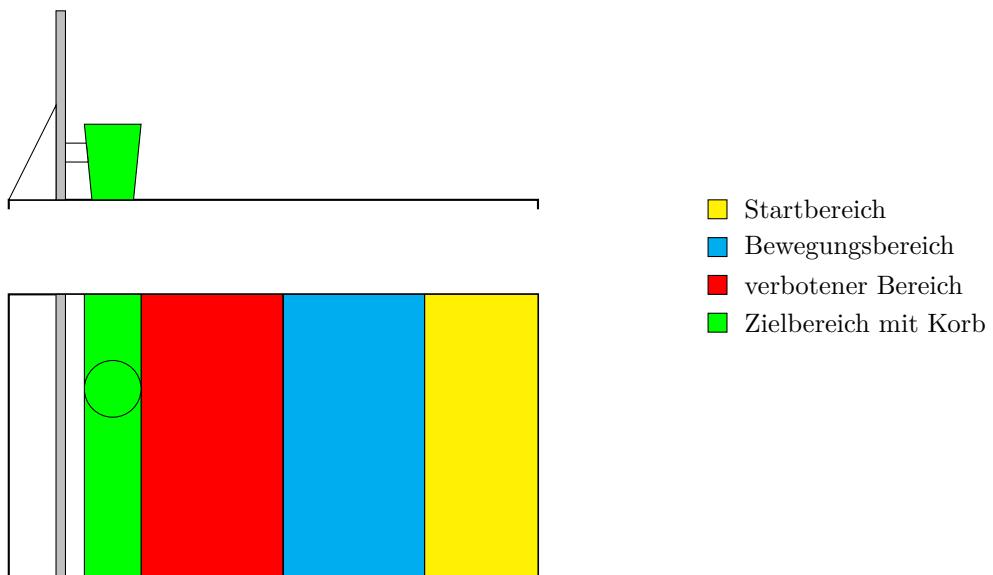


Abbildung 5: Spielfeld

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 cm		Doz
Höhe Korb	40 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	≤ 3 min	1 min	E, I, M
Effizienz	5 Bälle im Korb		E, I, M
Abfluggewicht	≤ 2 kg (ohne Bälle)	≤ 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	≤ 3 min	1 min	E, I, M
Effizienz	min. 3 Bälle im Korb	5 Bälle im Korb	E, I, M
Gewicht	≤ 8 kg	≤ 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 ± 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.

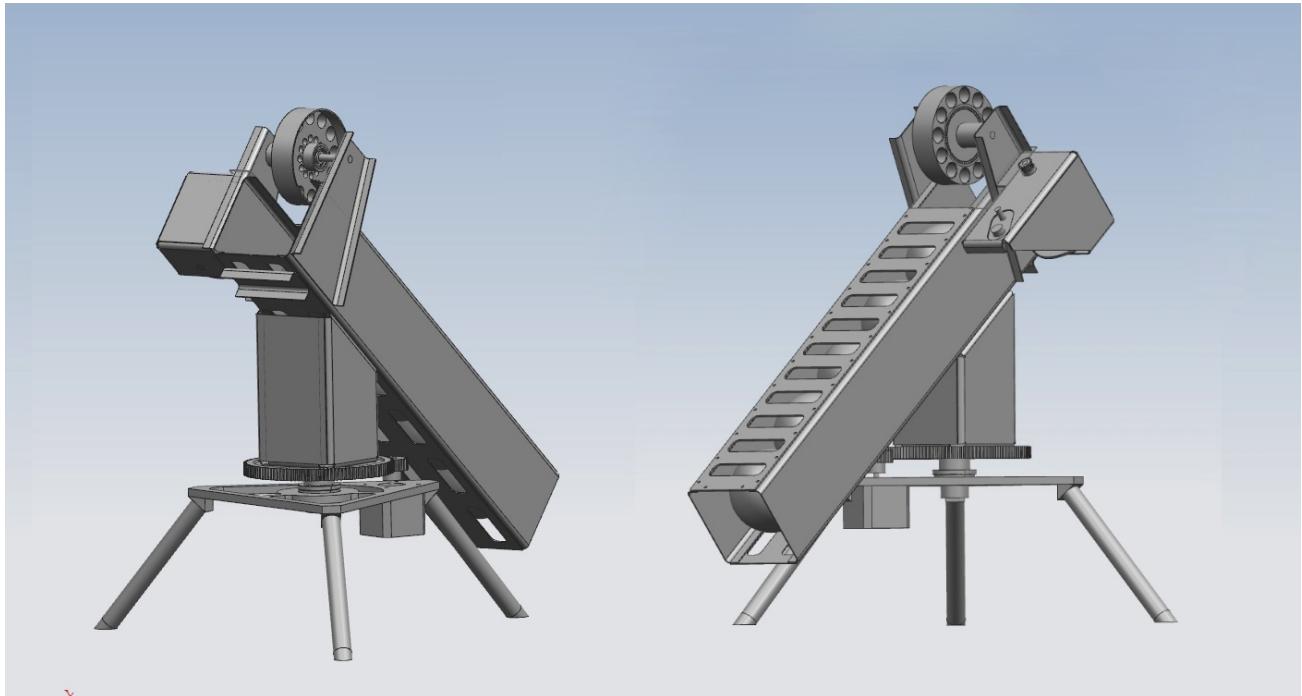


Abbildung 6: Drehturm

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° , mit einer Übersetzung von $z_1/z_2=4.8$ ergibt das eine Ausrichtgenauigkeit von 0.375° . 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

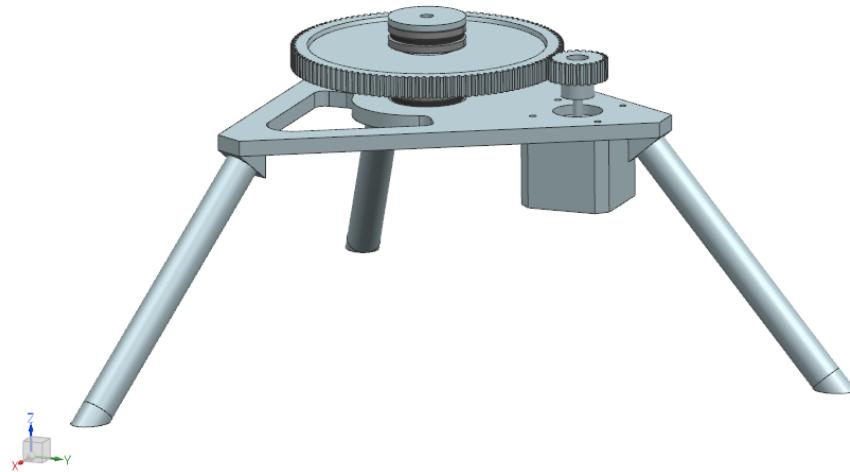


Abbildung 7: Drehvorrichtung

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

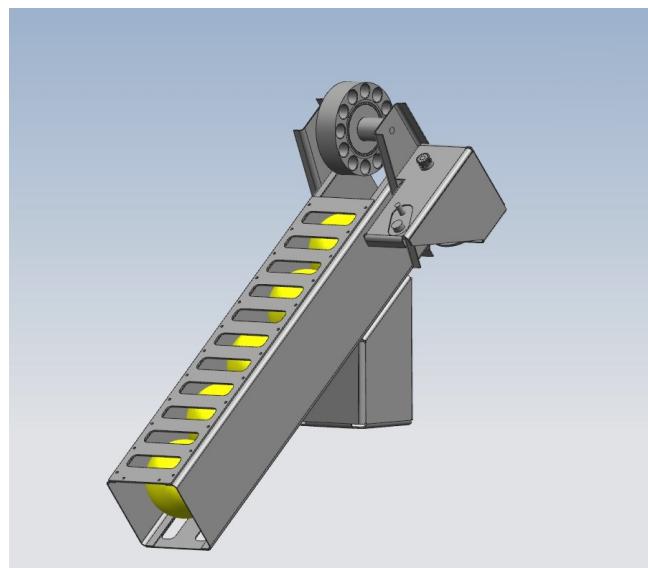


Abbildung 8: Balllager, Ballbeschleunigung und Ballnachführung

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 geeignet 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 Balllagers verlaufendes Band realisiert. Dieses wird durch eine an der Aussenseite des Balllagers angebrachten Trommel aufgewickelt und zieht so die einzelnen Bälle in Richtung Abschussrad. Durch einen Spalt in der Seitenwand des Balllagers 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

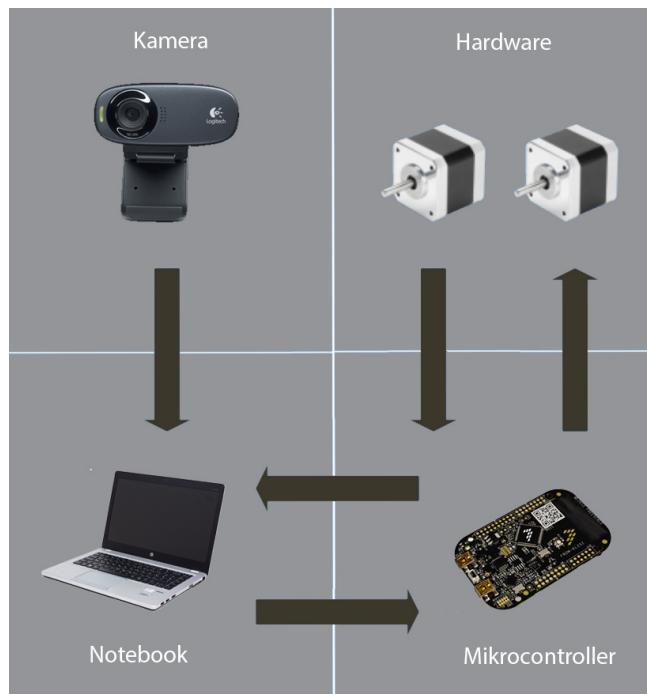


Abbildung 9: Kommunikationsablauf

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

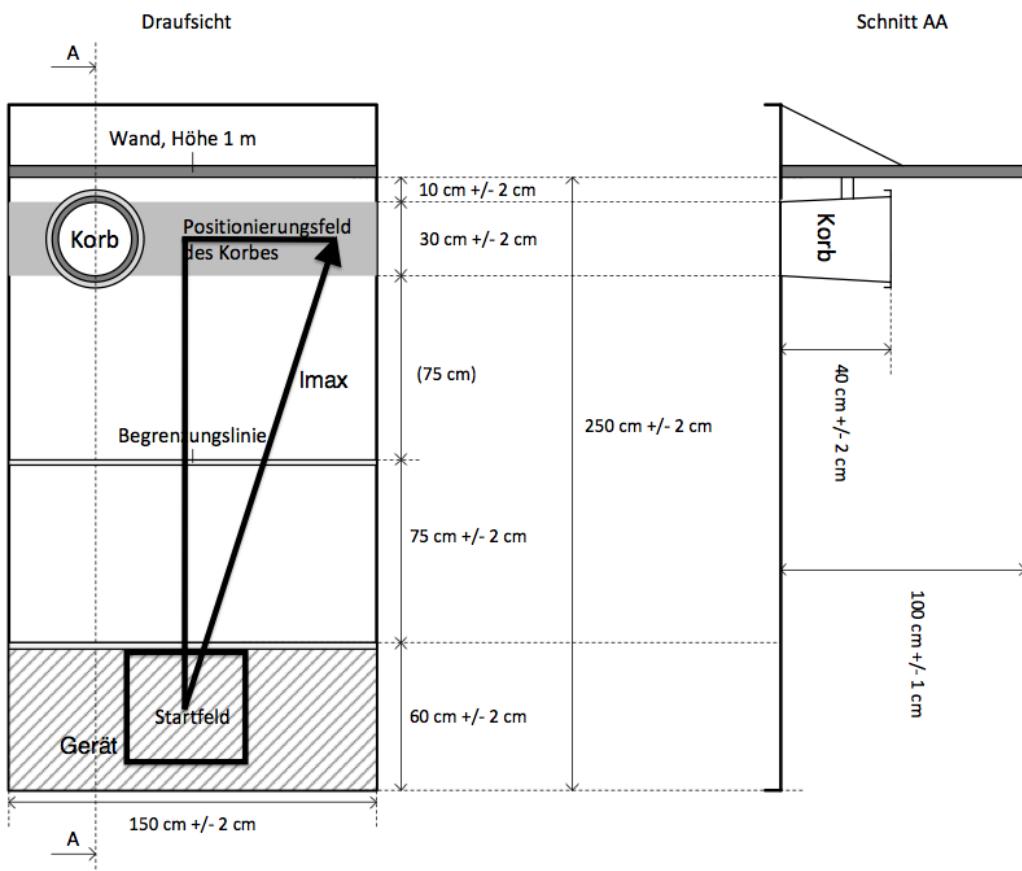


Abbildung 10: Spielfeld

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 α von 65° 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° 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° :

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

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

Winkel 70° :

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

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

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° erreicht. Für die von uns gewählte Variante Bodenobjekt stehend (Siehe Kapitel 5.4 und Kapitel 6.) wird der Abschusswinkel voraussichtlich 50° 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.

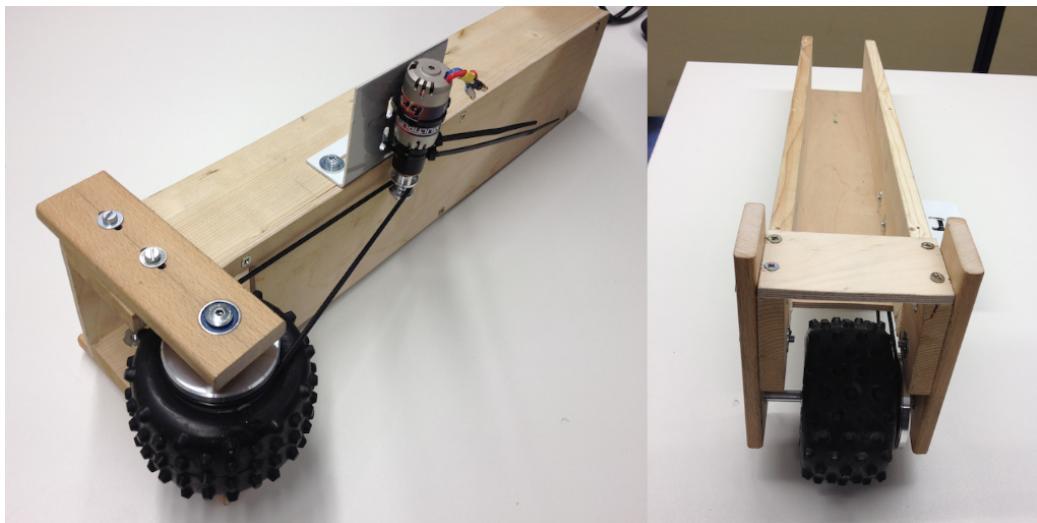


Abbildung 11: Schussvorrichtung

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.

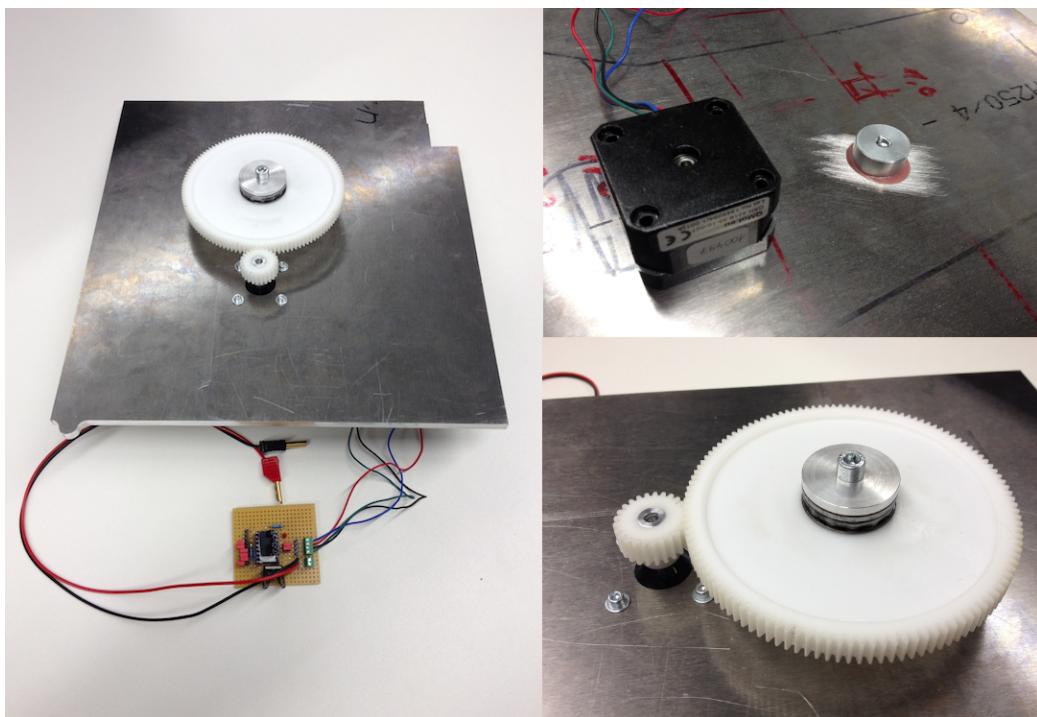


Abbildung 12: Drehvorrichtung

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

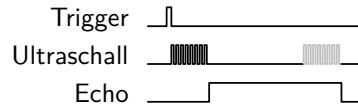


Abbildung 13: Zeitdiagramm der Ansteuerung des Ultraschallsensors HC-SR04

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. [μ 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 μ 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

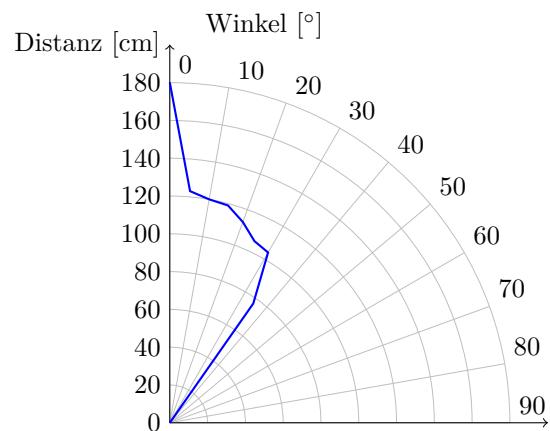


Abbildung 14: Diagramm seitliche Empfindlichkeit

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)

α 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

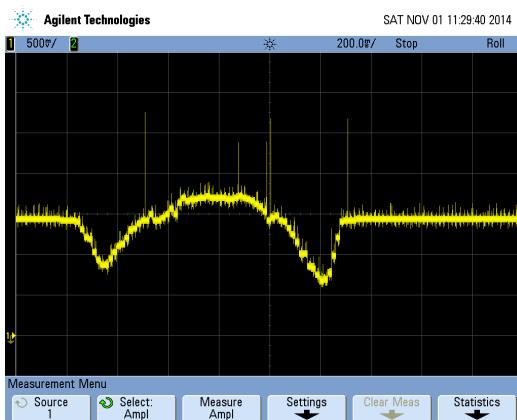
Ausserdem zeigt sich, dass das Ergebnis stark vom seitlichen Versatz des Eimers gegenüber der Sensorachse abhängig ist.

8.3.6 Messung Durchfahren eines Objektes

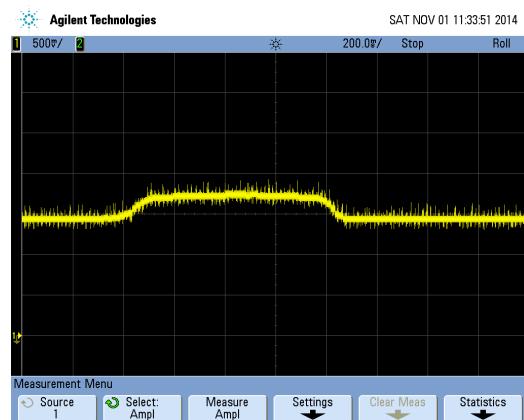
Der Eimer wird vor dem Sensor durchfahren. Anschliessend wird der Eimer mit weissem Papier beklebt und der Versuch erneut durchgeführt. Der Eimer hat dabei eine Distanz von 2 m zum Sensor. Die Wand hinter dem Sensor hat einen Abstand von 2.6 m zum Sensor.

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



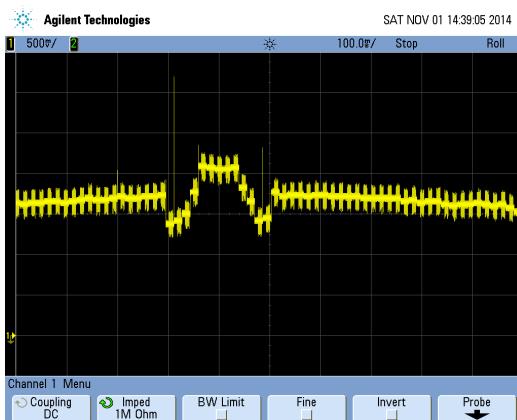
Schwarzer Korb



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

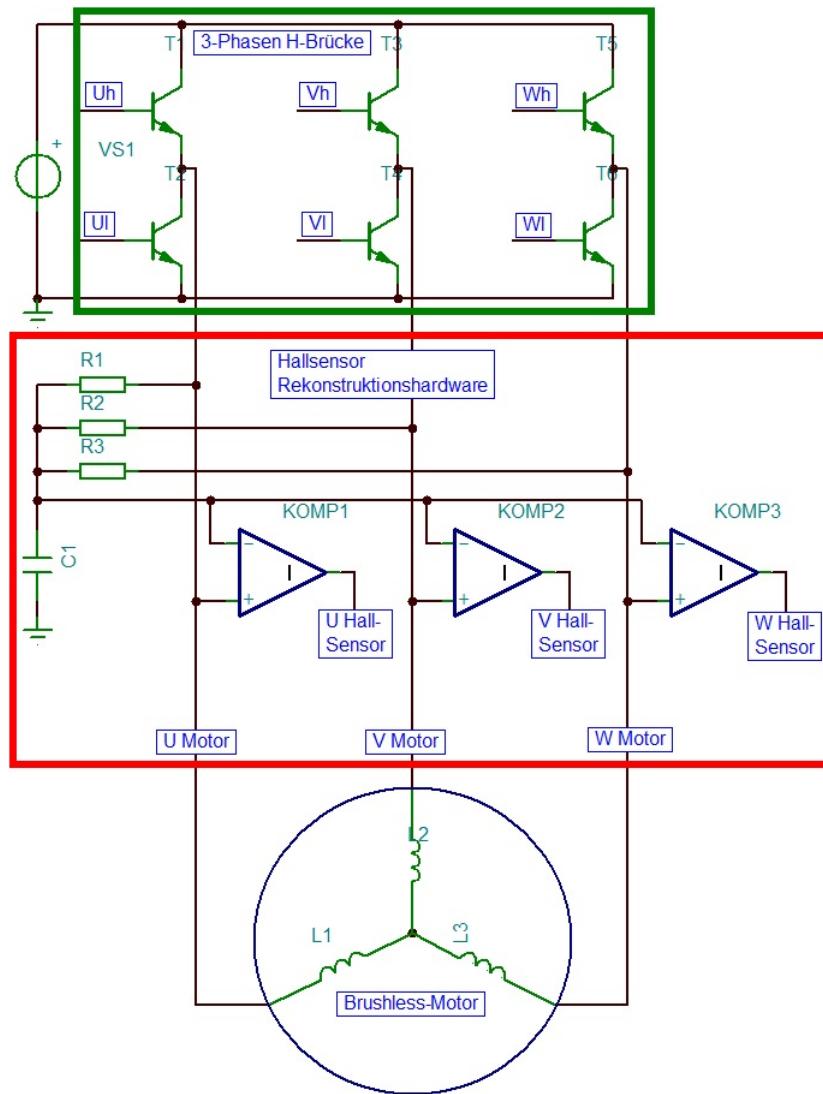


Abbildung 17: Schema des Brushless-Versuchsaufbaus

Das Schema des Gesamtaufbaus des Tests ist in der Abbildung 17 ersichtlich. Die 3-Phasen H-Brücke im oberen grünen Rechteck wird direkt vom FPGA¹ 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

¹Field-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

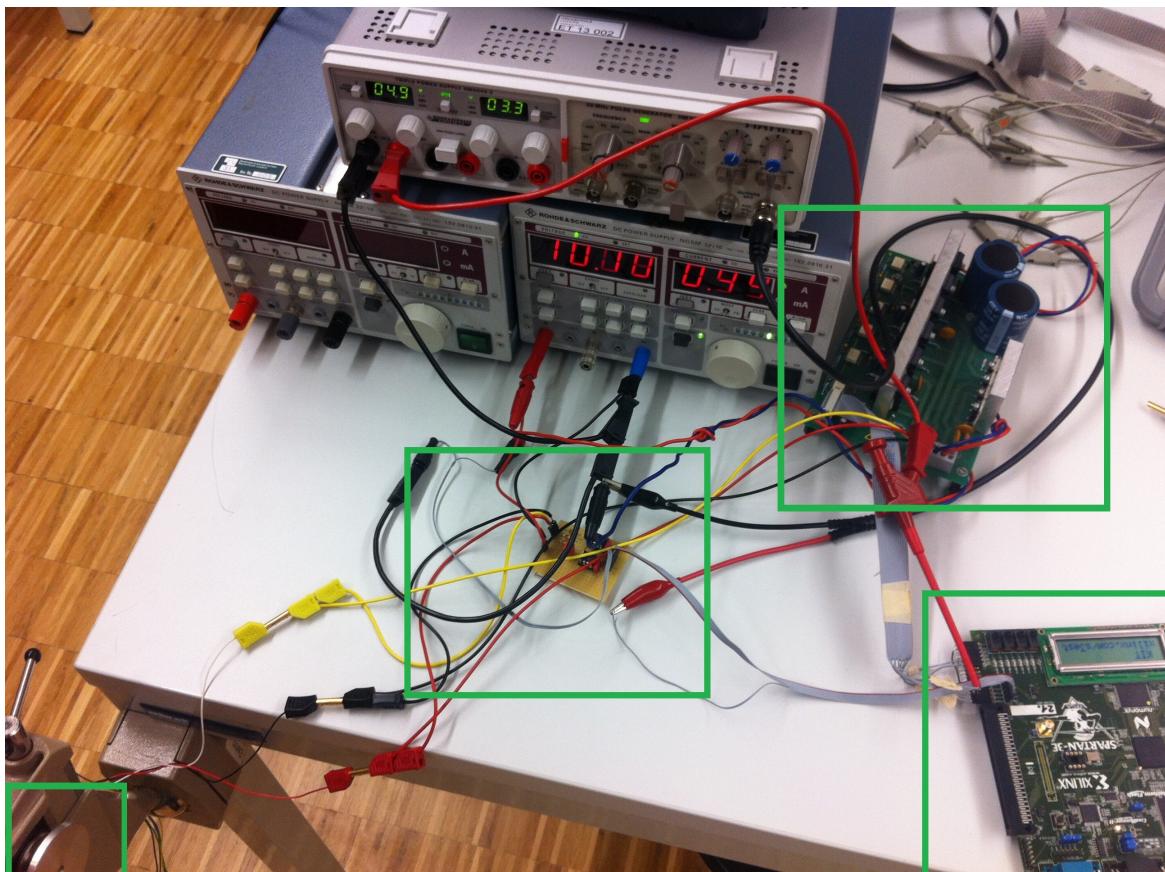


Abbildung 18: Testaufbau

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:

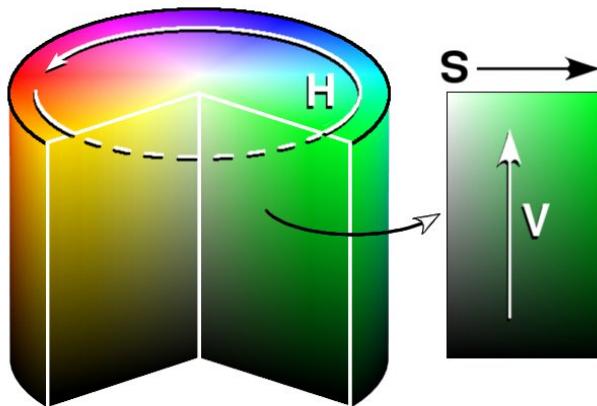


Abbildung 21: HSV-Farbspektrum (Wikibooks, 2012)

- 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 5×5 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 15×15 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:

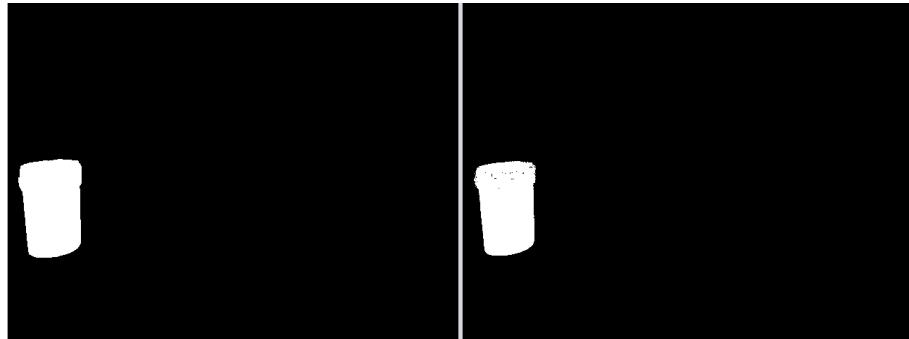


Abbildung 22: Links nach Erode und Dilate - Rechts nur mit HSV Filterung

8.5.4 Testprogramm

Anbei sieht man ein Screenshot des Testprogramms:

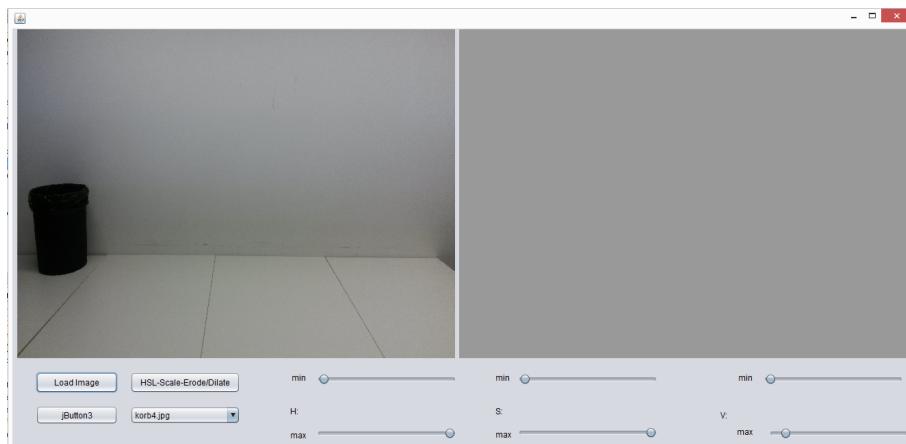


Abbildung 23: Screenshot Testprogramm

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 ([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 ([Online; abgerufen am 3. Dezember 2014])