

Ballschussmaschine

Unihockey

Studienarbeit HS 17

Version: 1.0

Autor: Sieber Ralph
Manuel Gmür
E-Mail: rsieber@hsr.ch
mgmuer@hsr.ch

Dozent: Hanspeter Gysin
Themengebiet: Produktentwicklung
Studiengang: M/I

Matrikelnummer:

Erstellt am: 21. September 2017
Letzte Änderung am: 22. Dezember 2017

Abstract

Problem	Das Unihockey ist eine international vielpraktizierte Sportart. Eine Ballschussmaschine, welche auf Abruf dem Torhüter Bälle gezielt zuschießt würde eine vielversprechende neue Trainingsmethode darstellen. Dabei muss die Maschine in der Lage sein, möglichst realitätsnahe Torschüsse zu machen. Auf dem freien Markt ist nämlich für Unihockey kein vergleichbares Gerät verfügbar.
Ziel	Ein modular aufgebauter Prototyp einer Ballschussmaschine soll die zentralen Funktionen einer solchen Maschine unter Beweis stellen.
	Weil besonders das individuelle Training im Zentrum steht, soll der Zielbereich, die Schuss-Geschwindigkeit und –Kadenz beliebig einstellbar sein. Durch die Maschine soll es dem Torhüter auch möglich sein, alleine zu trainieren und an seine Grenzen zu gehen, unabhängig von seinem Niveau.
Methode Vorgehen	Im Rahmen einer Semesterarbeit wird das Projekt nach den Innovationsphasen: Klären, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten durchgeführt. Anschliessend werden alle Teile beschafft und der Prototyp zusammengebaut. In der Testphase werden Verbesserungen vorgenommen und alle weiteren Erkenntnisse dokumentiert.
Wesentliche Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Detaillierte Konzeptphase führte zu einem grossen Ideenpool • Ausarbeiten eines Prototyps • Beschaffung des ausgearbeiteten Prototyps • Beweis von Funktionalität des Prototyps in den Grundfunktionen • Aufzeigen von Optimierungsmöglichkeiten • Vollständige, nachvollziehbare Dokumentation
Empfehlungen	Es sollen mehr Tests mit dem Prototyp durchgeführt werden. Ein modularer Aufbau und eine Vielfalt an Einstellmöglichkeiten ermöglichen es gezielte Anpassungen vorzunehmen. Durch ausführliche Testreihen sollen weitere Erkenntnisse gesammelt werden, was zu einer laufenden Verbesserung der Maschine führen soll.
	Ist der Prototyp ausgereift und zuverlässig einsetzbar, könnte mit der Suche nach einem Industrie-Partner für eine Kleinserie begonnen werden.

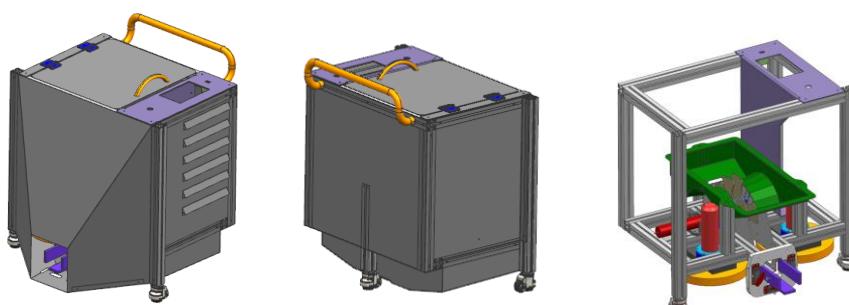


Abbildung 1 Ausgearbeitetes Modell vom Prototyp im NX10 (rechts ohne Verkleidung)

Änderungsnachweis

Version	Änderungsgrund	Kürzel	Datum
1.0	Erstellung des Dokumentes	Mgmuer rsieber	22.12.17

Inhalt

Abstract	2
1 Einleitung	6
2 Grundlagen	7
2.1 Projektorganisation.....	7
2.2 Terminplan	7
3 Klärung der Aufgabenstellung	8
3.1 Zusammenfassung.....	8
3.2 Auszüge aus dem Pflichtenheft	8
3.2.1 Systemabgrenzung.....	8
3.2.2 Technische Kriterien (Angaben zum Produkt).....	9
3.2.3 Allgemeine, kommerzielle und wirtschaftliche Kriterien.....	10
3.3 Nice to have Kriterien	10
3.4 Marktanalyse.....	10
3.4.1 Produktionsfirmen.....	15
3.5 Patentrecherche	16
4 Konzipieren	18
4.1 Zusammenfassung.....	18
4.2 Morphologischer Kasten / Gliederung in Teifunktionen	18
4.2.1 Funktion 1: Aufbau	20
4.2.2 Funktion 2: Magazin	22
4.2.3 Funktion 3: Zielvorrichtung	26
4.2.4 Funktion 4: Freigabe.....	29
4.2.5 Funktion 5: Antrieb / Beschleuniger	32
4.3 Untersuchungen zu Teilkonzeptvarianten.....	35
4.3.1 Schussbereich (F1 , F3)	35
4.3.2 Schlagimpuls/Stoss F5	36
4.3.3 Deviationsmomente (F1, F3, F5)	38
4.3.4 Beschleunigen mit Linearmotor	39
4.3.5 Beschleunigen mit Druckfeder (F4V5)	40
4.3.6 Beschleunigung mit Spiralfeder (F5V7)	43
4.3.7 Beschleunigen mit Druckluft (F5V6)	45
5 Entwerfen	46
5.1 Zusammenfassung.....	46

5.2	Grobentwürfe	46
5.2.1	Grobentwurf 1.....	46
5.2.2	Grobentwurf 2.....	47
5.2.3	Grobentwurf 3.....	49
5.3	Nutzwertanalyse.....	51
5.4	Funktionsmuster.....	52
5.5	Entscheid	53
6	Ausarbeiten	54
6.1	Antriebe.....	54
6.1.1	Antrieb Beschleuniger	54
6.1.2	Antrieb Drehscheibe	55
6.1.3	Antrieb Zielvorrichtung.....	57
6.2	Konstruktion mechanisch	58
6.2.1	Gerüst / Chassis	60
6.2.2	Zielvorrichtung / „Mündung“.....	62
6.2.3	Beschleuniger.....	65
6.2.4	Trichter.....	71
6.2.5	Drehscheibe	74
6.2.6	Verkleidung	75
6.3	Steuerung.....	77
6.3.1	Anforderung.....	77
6.3.2	SPS Steuerung.....	78
6.3.3	Steuerung mit Mikrocontroller.....	81
6.3.4	Konzeptentscheid Steuerung.....	83
6.4	Elektronik	83
6.4.1	Aufbau Steuerung.....	83
6.4.2	Steuerung Beschleuniger	84
6.4.3	Steuerung Drehscheibe	92
6.4.4	Steuerung Zielvorrichtung.....	93
6.4.5	Arduino.....	94
6.4.6	Touchscreen.....	96
6.4.7	Stromversorgung	101
6.5	Berechnungen	105
6.5.1	Berechnung Anlaufzeit Drehscheibe.....	105
6.5.2	Energieerhaltung in der Scheibe bei Schuss	106
7	Schlussfolgerungen, Ausblicke und Empfehlung	109
7.1	Bilder von aktuellem Stand	109
7.2	Erkenntnisse und Empfehlungen	112
7.2.1	Konstruktion mechanisch – Gerüst / Chassis.....	112
7.2.2	Konstruktion mechanisch – Zielvorrichtung / „Mündung“.....	113
7.2.3	Konstruktion mechanisch - Beschleuniger	114
7.2.4	Konstruktion mechanisch – Trichter.....	114
7.2.5	Konstruktion mechanisch – Drehscheibe	117
7.2.6	Konstruktion mechanisch – Verkleidung	118

7.2.7	Steuerung – Motoren für Beschleuniger	118
7.2.8	Steuerung – Überhitzung Arduino.....	119
7.2.9	Steuerung – Programm für automatischen Betrieb	119
7.2.10	Steuerung – Verkabelung.....	119
7.2.11	Steuerung – Not-Aus	120
7.2.12	Steuerung – Zuverlässigkeit	121
7.3	Vergleich mit Pflichtenheft	121
7.3.1	Technische Kriterien (Angaben zum Produkt).....	121
7.3.2	Allgemeine, kommerzielle und wirtschaftliche Kriterien.....	123
7.4	Nice to have Kriterien	124
7.5	Weiteres Vorgehen.....	124
8	Literaturverzeichnis	125
9	Erklärung zur Urheberschaft	126
Anhang	127
I	Aufgabenstellung.....	127
II	Pflichtenheft	127
III	Fragenkatalog	127
IV	Terminplan	127
V	Projektjournal	127
VI	Morphologischer Kasten mechanisch	127
VII	Morphologischer Kasten elektrische	127
VIII	Technische Zeichnungen	127
I	CAD-30003732 Ballschussmaschine UH	127
II	CAD-30004703 Blechtrichter mit Kinderteilen.....	127
III	CAD-30004654 Verkleidung mit Kinderteilen.....	127
IV	CAD-30004653 Vereinzler mit Kinderteilen	127
V	CAD-30003724 Beschleuniger mit Kinderteilen	127
VI	CAD-30003712 Zielvorrichtung mit Kinderteilen	127
VII	CAD-30003703 Gerüst mit Kinderteilen.....	127
IX	Schaltpläne	127
X	Kostenaufstellung.....	127
XI	Besprechungsprotokolle	127
XII	Interviews	127
XIII	Datenblätter (Auswahl)	128
XIV	CD....	128

1 Einleitung

Kontext	Im Unihockey ist das Training sehr wichtig. Durch Trainieren kann ein Spieler ausserhalb des Wettkampfes seine Fähigkeiten testen und an seiner Technik feilen. So entwickelt er sich weiter und wird besser.
	Für Feldspieler wurden schon seit jeher vielzählige Trainingsmethoden entwickelt um unterschiedlichste Attribute zu fördern. Leider gestaltet sich dies bei den Torhütern als eher schwierig. In Training wehren sie die Schüsse der Spieler ab, diese trainieren dabei oft eine, für sie zugeschnittene, Spielsituation. Das gezielte Torhüter-Training kommt dabei oft zu kurz. Ausserdem ist es dem Torhüter praktisch unmöglich alleine zu trainieren.
Problem	Eine Ballschussmaschine, welche auf Abruf dem Torhüter Bälle gezielt zuschießt würde eine vielversprechende neue Trainingsmethode darstellen. Dabei muss die Maschine in der Lage sein, möglichst realitätsnahe Torschüsse zu machen. Auf dem freien Markt ist für Unihockey nach Stand dieser Dokumentation kein vergleichbares Gerät verfügbar.
Ziel	Ein modular aufgebauter Prototyp einer Ballschussmaschine soll die zentralen Funktionen unter Beweis stellen.
	Weil besonders das individuelle Training im Zentrum steht, sollen der Zielbereich, die Schuss-Geschwindigkeit und –Kadenz beliebig einstellbar sein. Durch die Maschine soll es dem Torhüter auch möglich sein, alleine zu trainieren und an seine Grenzen zu gehen, unabhängig von seinem Niveau.
Methode Vorgehen	/Im Rahmen einer Semesterarbeit wird das Projekt nach den Innovationsphasen: Klären, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten durchgeführt. Anschliessend werden alle Teile beschafft und der Prototyp zusammengebaut. In der Testphase werden Verbesserungen vorgenommen und alle weiteren Erkenntnisse dokumentiert.
Überblick die Arbeit	überDie Arbeit beinhaltet die Ausarbeitung und Herstellung eines Prototyps für eine Ballschussmaschine. Mit dem Prototyp sollen die Funktionen des Gesamtkonzepts sowie die Funktionstüchtigkeit der Teilkonzepte gezeigt werden.

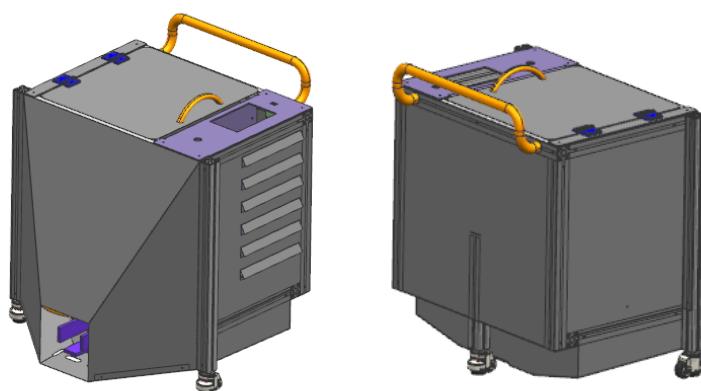
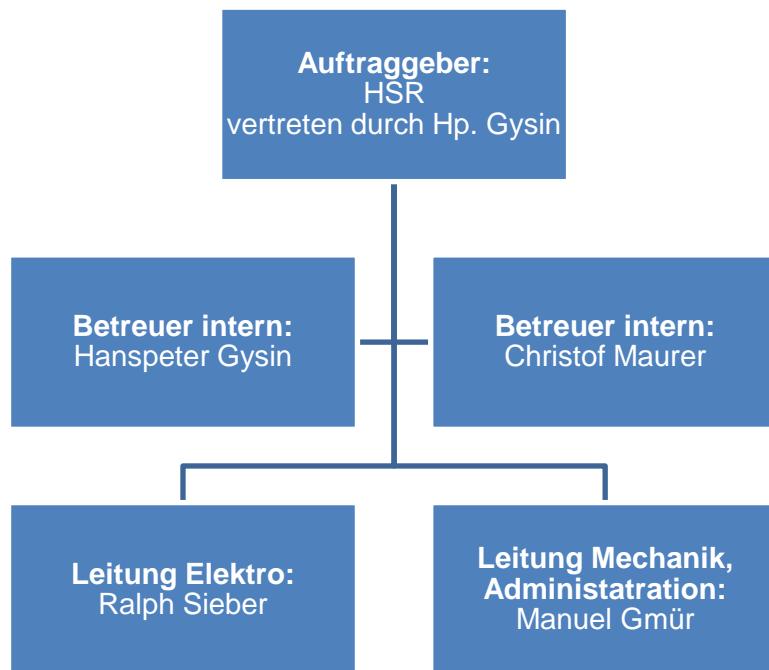


Abbildung 2 Ausgearbeitetes Modell vom Prototyp im NX10

2 Grundlagen

2.1 Projektorganisation

Arbeitsteilung



Gedanken zur Auf-Für eine geordnete Projektabwicklung ist die Arbeitsteilung entscheidend. Besonders zu teilung einem späteren Zeitpunkt des Projektes (Ausarbeiten, Beschaffen, Berechnen, Fertigen) ist das Aufteilen der Arbeit und der damit einhergehenden Verantwortung für ein zeiteffizientes Arbeiten ausschlaggebend.

2.2 Terminplan

Gedanken zum Ter-Das Zeitfenster ist grundsätzlich sehr eng. Insbesondere, weil die Aufgabe viele Risiken minplan birgt. Deshalb wird von Anfang an versucht, möglichst schnell voranzukommen. So bleibt am Schluss hoffentlich genügend Zeit, auf Unvorhergesehenes einzugehen.

3 Klärung der Aufgabenstellung

3.1 Zusammenfassung

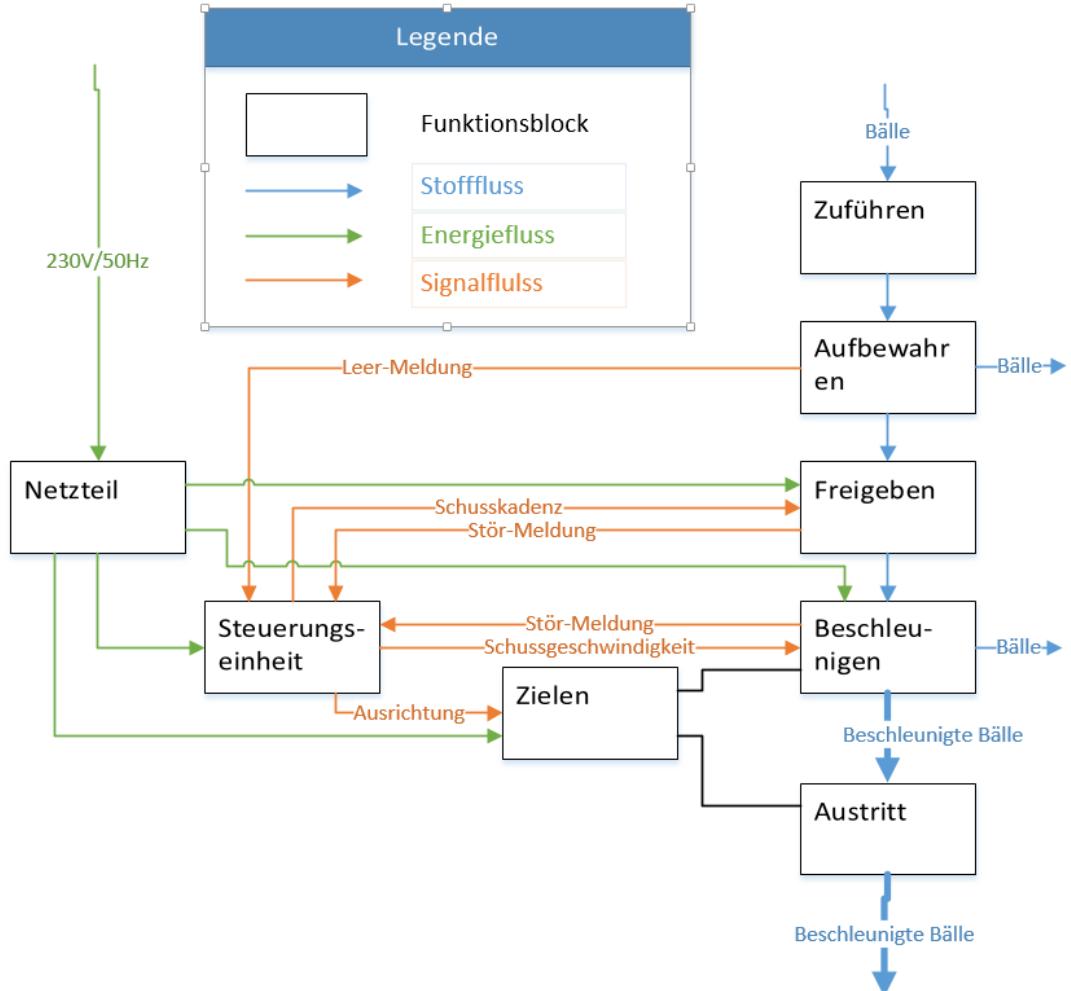
Inhalt Dieser Abschnitt soll die gewonnenen Erkenntnisse der Klärungs-Phase zeigen.

3.2 Auszüge aus dem Pflichtenheft

Zweck Im Rahmen des Pflichtenheftes wurden Systemabgrenzungen gemacht. Auch wurde die Aufgabenstellung in Kriterien formuliert. Weil auf diese wichtigen Teile des Pflichtenheftes und der Klärung innerhalb des Berichtes gelegentlich Bezug genommen wird, werden diese hier nochmals aufgeführt.

3.2.1 Systemabgrenzung

Schema



3.2.2 Technische Kriterien (Angaben zum Produkt)

Musskriterien	Nr.	Kriterium
	TM1	Gewicht max. 40kg
	TM2	Transportierbar über Rollen
	TM3	Stufenlos einstellbare Zielvorrichtung
	TM4	Zielen vertikal (hoch-tief) und horizontal (links-rechts) möglich
	TM5	Mündungs-Geschwindigkeit regelbar 50-180km/h
	TM6	Speicherkapazität für 150-200 Bälle
	TM7	Schusskadenz 10-80 Bälle pro Minute stufenlos einstellbar
	TM8	Zielbereich muss auf 5m Distanz mit 50km/h Mündungsgeschwindigkeit mindestens 160mm breit und 115mm hoch sein.
	TM9	Betrieb über Stromzufuhr 240V/50Hz
	TM10	Keine Beschädigung der Bälle durch den Betrieb.
	TM11	Keine Rückstände oder Schäden auf dem Hallenboden
	TM12	Modularer Aufbau
	TM13	Schussverzögerung

Optimierungs-kriterien	Nr.	Kriterium
	TO1	Möglichst Kompakte Bauweise
	TO2	Möglichst tiefe Abschussposition
	TO3	Möglichst hohe Ziel- und Wiederholgenauigkeit (geringe Streuung)
	TO4	Möglichst schonender Umgang mit Bällen
	TO6	Möglichst grosse Mobilität auf unterschiedlichem Untergrund
	TO7	Schnelles und einfaches Befüllen mit Bällen.
	TO9	Möglichst leiser Betrieb
	TO10	Möglichst Leicht
	TO11	Programmierbarer Schussablauf (Trainingsprogramm mit zufälliger Schussabgabe und –richtung)
	TO11	Möglichst schüttelfrei

3.2.3 Allgemeine, kommerzielle und wirtschaftliche Kriterien

Musskriterien	Nr.	Kriterium
	KM1	Herstellungskosten des Prototyps max. 6000 CHF
	KM2	Konstruktion mit UNIGRAPHICS NX-10
	KM3	FEM-Analysen mit MSC/MARC-MENTAT Version 2016
	KM4	Wartungsfrei
	KM5	Funktionsfähiger Prototyp bis 21.12.2017
	KM6	Vollständige Dokumentation bis 22.12.2017

Optimierungs-kriterien	Nr.	Kriterium
	KO1	Möglichst Günstig in der Serie
	KO2	Möglichst hohe Lebensdauer
	KO3	Möglichst Verwendung von Standard- und Normteile bevorzugen
	KO4	Möglichst einfache Reparatur möglich
	KO5	Herstellmöglichkeiten der HSR Werkstatt favorisieren
	KO6	Möglichst wenig Verschleisssteile
	KO7	Möglichst einfache und intuitive Bedienbarkeit
	KO8	Möglichst ansprechendes Design
	KO9	Möglichst vielseitig (Variation von: Geschwindigkeit, Kadenz, Richtung)

3.3 Nice to have Kriterien

Nice to have	Nr.	Kriterium
	N1	Über Funksteuerung bedienbar

3.4 Marktanalyse

Speziell für das Training im Unihockey gibt es auf dem Markt noch kein Produkt. Es existieren zahlreiche Ballwurfmaschinen für andere Sportarten wie Tennis, Baseball oder Eishockey. Die meisten dieser Geräte haben eine sehr ähnliche Funktionsweise. Die Bälle werden über eine drehbare Scheibe dem Schussgerät zugeführt. Über die Drehzahl der

Scheibe wird die Schussgeschwindigkeit gesteuert. Mittels zwei rotierenden Scheiben wird der Ball beschleunigt und abgeschossen. Bei einem älteren Beispiel erfolgt der Abschuss mit Druckluft.

Bei den meisten Geräten lässt sich Geschwindigkeit und Schussfrequenz einstellen.

Für einige Modelle ist eine individuelle Programmierung der Schussabgabe möglich und die Steuerung kann via Smartphone oder Smartwatch kontrolliert werden.

Die meisten dieser Tennis und Eishockeygeräte kommen aus den USA oder Kanada.

Im Folgenden Abschnitt sind einige Produkte aus dem Markt aufgelistet.

4Ball HFTM



Abbildung 3 4ball Ballschussmaschine UH

An der Höheren Fachschule Mittelland in Biel wurde bereits ein ähnliches Gerät entwickelt. Das Ziel ihrer Arbeit war ebenfalls eine Abschussmaschine für Unihockeybälle. Im Unterschied zu der vorliegenden Arbeit fehlt jedoch ein Zielsystem. Um die Bälle in verschiedene Richtungen abzufeuern muss das Gerät manuell bedient werden. Es dient somit nur der Beschleunigung der Bälle.

Tennis Tutor Pro-Lite



Abbildung 4 Tennis Tutor Pro-Lite

- Fassungsvermögen 100 Bälle
- Höhe und Geschwindigkeit mit Stufen einstellbar
- Max. Geschwindigkeit 100km/h
- Zuführung der Bälle über Drehscheibe
- Ballausgabe durch zwei Rollen
- Preis: 1630 CHF
- Firma: Sports Tutor USA
- www.sportstutorinc.com

SpinShot Player



Abbildung 5 SpinShot Player

- Fassungsvermögen 120 Bälle
- Max. Geschwindigkeit 110Km/h
- Ballausgabe über zwei Rollen
- Individuell Programmierbar
- Steuerung über App via Smartphone oder Smartwatch
- Gewicht 20kg
- Preis: 1899 €
- Firma: Spinshot GB
- www.spinshot.co.uk
- Vertrieb in Deutschland: TennisMan
- www.tennisman.de

Ballwurfmaschine Playmate Portable



- Ballfolge und Geschwindigkeit über Bedienfeld stufenweise Verstellbar
- Ballausgabe durch zwei Rollen
- Zuführung über Drehscheibe
- Preis: 4459 CHF
- Firma: Playmate USA
- www.playmatetennis.com
- Vertrieb in Europa: Universal Sports, Schonaich DE
- www.universal-sports.de

Spinfire Pro 2



- Fassungsvermögen 200 Bälle
- 130 km/h max. Schussgeschwindigkeit
- Gewicht 24kg
- Ballausgabe über zwei Rollen
- Verschiedene Programme abrufbar
- Mit Fernbedienung
- Preis: 1630 CHF
- Firma: Spinfire Australien
- www.spinfire.com
- Vertrieb Deutschland: TennisMan
- www.tennisman.de

Lobster Ballmaschine (älteres Modell)



- Fassungsvermögen 120 Bälle
- Beschleunigung durch Druckluft
- Gewicht 20kg
- 5 bis 20 Bälle pro Minute
- Streuung und Weite stufenweise verstellbar
- Preis: 1500 CHF
- Firma: LobsterSports USA
- www.lobstersports.com

Boni Puck Shooting Machine



- Fassungsvermögen von 40 Pucks
- Puckabgabe durch zwei rotierende Rollen
- Abschusswinkel per Knopfdruck verstellbar
- Preis: 2200\$
- Boni Goalie Trainiers Kanada
- www.boni.com

3.4.1 Produktionsfirmen

	<p>Im folgendne Abschnitt sind Produktionsfirmen aufgelistet welche mögliche Industriepartner sein könnten für den Vertireb des Produktes.</p>
Alder + Eisenhut	<p>Alder + Eisenhut ist einer der grösster Produzenten von Sportgeräten in der Schweiz. Der Sitz der Firma liegt in Ebnat-Kappel SG www.alder-eisenhut.ch Marketing/Verkauf: s.wehrli@alder-eisenhut.swiss</p>
Fat Pipe	<p>Die Firma Fat Pipe mit dem Sitz in Zürich produziert neben Unihockeystöcken auch Bälle und anderes Zubehör. Sie ist Teil der Sportagon GmbH www.fatpipe.ch Kontakt: info@sportagon.ch</p>
Hudora	<p>Hudora produziert Sportartikel und Fitnessgeräten in sehr unterschiedlichen Bereichen. Der Hauptsitz der Firma liegt in Deutschland www.hudora.de</p>
Acito	<p>Die Firma aus Schweden ist ein Kunststoffverarbeiter für Sportartikel. Sie produzieren Unihockeyschläger (Eurostick), Bekleidung und anderes Zubehör für Unihockey. www.acito.se Verkauf: sales@acito.se</p>
Realstick	<p>Realstick aus Finnland produziert Unihockey Schläger und Zubehör wie Masken und Schutzbekleidung. www.realstick.fi Verkauf: jp@realstick.fi</p>

3.5 Patentrecherche

Patentrecher- che	<p>Die gefundenen Patente zu ähnlichen Produkten beziehen sich meistens auf Tennisballmaschinen. Die europäischen Patente sind alle nicht mehr gültig und somit für uns nicht relevant. Einige amerikanische Patente wurden gefunden, diese sind jedoch für Softball, Eishockey oder für ein Spielgerät für Hunde.</p> <p>Das Fazit aus der Patentrecherche ist, dass für die Entwicklung keine Einschränkungen bestehen.</p>
EP0565566 B1	Ballwurfmaschine
	<p>Zuführung über Scheibe welche mit Elektromotor gedreht wird.</p> <p>Auswurfeinrichtung besteht aus zwei Rollen, welche auf Wippen gelagert sind. Die Stellung der Wippe, der Verdrehwinkel um die vertikale Achse und die Geschwindigkeiten der beiden Rollen definieren die Schusseinstellung der Ballauswurfeinrichtung und damit die Flugcharakteristik des abgeschossenen Balles.</p>
EP0400325 A2	Verfahren und Vorrichtung zum Abwurf von Bällen sowie zum Erzeu- gen eines Spinneffektes
	<p>Verfahren zum Werfen von Tennisbällen, Tischtennisbällen und Squash-Bällen dadurch gekennzeichnet, dass die Flugenergie des Balles durch nur ein in seiner Drehzahl regelbares, umlaufendes Rad mit einer elastischen Oberfläche oder alternativ einer starren Oberfläche definierter Geometrie zur Erhöhung des Reibbeiwertes und einer gegenüberliegenden reibarmen Fläche erzeugt wird, und der Spineffekt durch eine veränderbare, regelbare Abnahme der Energie an der Balloberfläche erzeugt wird mit Hilfe eines im Rollwiderstand veränderbaren, lagerveränderbaren Reibrades.</p>
DE2020110032 73 U1	Vorrichtung zum Abschießen kugelförmiger Körper, insbesondere von Bällen Durch Hebel
	<p>Vorrichtung zum Abschießen kugelförmiger Körper, insbesondere von Bällen, die aufweist:</p> <ul style="list-style-type: none"> ein Schusselement mit einem beweglichen Schläger, mit dem kugelförmige Körper von einer Abschussposition aus abgeschossen werden können, einen Speicher für eine Anzahl kugelförmiger Körper mit einer Ausgabe- stelle für einzelne kugelförmige Körper und eine Zuführvorrichtung, mit der einzelne kugelförmige Körper von der Aus- gabestelle des Speichers in die Abschussposition gefördert werden können
EP1020207 A1	Ballschiessvorrichtung mit Stoß
	<p>Eine Stoßvorrichtung zum Übertragen eines Stoßimpulses auf einen Ball; eine Aufnahmeverrichtung für den abzuschießenden Ball, welche für den Ball eine Abschussposition reproduzierbar festlegt; dadurch gekennzeichnet, dass</p>

	die Stoßvorrichtung in einer horizontalen Ebene um einen Winkel kleiner als 180° um die Abschussposition schwenkbar ist; wobei die Ballschiessvorrichtung zusätzlich eine Sichtblende umfasst, welche die schwenkbare Stoßvorrichtung in Abschussrichtung derart verdeckt, dass lediglich der abzuschießende Ball sichtbar ist.
US9339716 B1	iFetch Wurfmaschine für Hunde
	Bälle werden mit einem Hammer durch ein Rohr geschossen.
US6305366 B1	Softball training
	Zwei Räder mit unterschiedlichen Drehzahlen, welche verschiedene „Pitch“-arten simulieren.
US3822688 A	Hockey Puck Schussmaschine
	Vertikal gestapelte Pucks werden durch rotierendes Zuführmodul in einen Abschusshalter geführt. Dieser dreht sich und die Pucks werden durch Zentrifugalkraft ausgeschleudert

4 Konzipieren

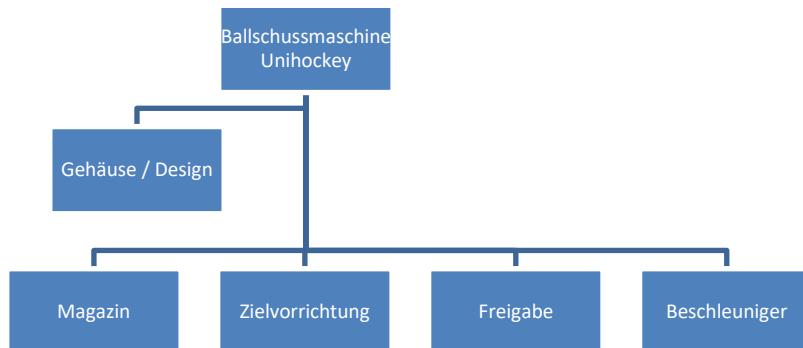
4.1 Zusammenfassung

Inhalt	Dieser Abschnitt soll die gewonnenen Erkenntnisse der Konzept-Phase zeigen. Zentral ist die Ausarbeitung des Morphologischen Kastens. Dazu gehört eine sinngemäße Aufteilung in Funktionen. Zu jeder Funktion müssen dann verschiedene Teifunktionen, quasi Lösungsansätze der Teifunktion, gefunden werden. Diese werden beurteilt und bewertet. Teilweise sind dazu Berechnungen notwendig.
Umfang	Zusätzlich wurden noch einige allgemeine Berechnungen gemacht, welche im Verlauf des Projektes wichtig sein könnten.

Umfang	Weil die Klärungsphase sehr wichtig für den weiteren Projektablauf ist, wurde hier viel Aufwand geleistet. Eine ausführliche Dokumentation gewährleistet eine Nachvollziehbarkeit, damit ein allfälliges Weiterführen des Projektes in Zukunft erleichtert wird.
---------------	--

4.2 Morphologischer Kasten / Gliederung in Teifunktionen

Funktionsgliederung



Morphologischer Kasten Der Morphologische Kasten ist im Anhang abgelegt. Die folgenden Teifunktionen und Varianten der Anlage beschreiben je ein Feld im Morphologischen Kasten. Das Bezeichnungs-Schema wurde wie folgt gewählt. Es wurden die gleichen Bezeichnungen in Textbeschrieb (5.1.1 – 5.1.5 Dokumentation) sowie im Morphologischen Kasten (Anhang) verwendet. Zur Übersicht ist nachfolgend der Morphologische Kasten verkleinert abgebildet.

Tabelle 1: Bezeichnungs-Schlüssel Morphologischer Kasten

F	#	V	#
Funktion	No.	Variante	No.
Zeile	No.	Spalte	No.

Ballwurfmaschine

Konzipieren

Funktionsweise		Vereinzelnen			Bestückungen			Ziehen			Ballen aufzubewahren			Aufbau		
F1V1	1	F1V2			F2V1			F3V1			F4V1			F5V1		
F1V3					F2V3			F3V2			F4V2			F5V2		
F1V4	3				F2V4			F3V3			F4V3	3		F5V3		
F1V5	2				F2V5			F3V4	1		F4V4			F5V4		
F1V6					F2V6	3		F3V5			F4V5			F5V5		
F1V7					F2V7			F3V6	2		F4V6			F5V6		
F1V8					F2V8			F3V7			F4V7			F5V7	3	

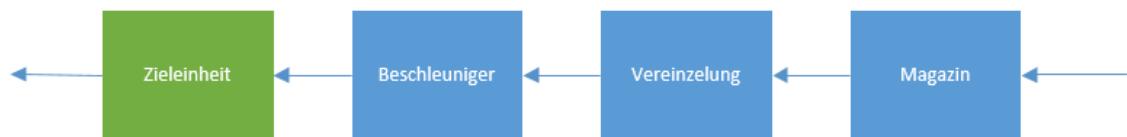
- 1 Version 1
- 2 Version 2
- 3 Version 3

4.2.1 Funktion 1: Aufbau

Funktionsbeschrieb

Die Wahl des Aufbaus ist eine grundlegende Entscheidung. Die grundsätzlichen Unterschiede der Varianten liegen in der Anordnung der Zielvorrichtung. Der Ball soll letztendlich die Anlage in einer bestimmten Richtung verlassen, jedoch wird in der Aufgabenstellung nicht vorgegeben, ob der Ball umgelenkt oder direkt in die entsprechende Richtung beschleunigt werden soll.

F1V1



Der Ball wird in ortsfesten Teilfunktionen aufbewahrt, vereinzelt und beschleunigt. Anschliessend wird der Ball gezielt umgelenkt.

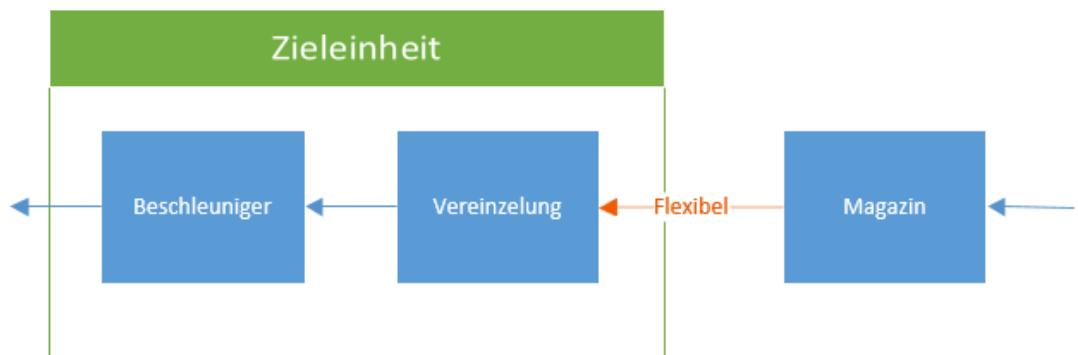
Vorteile

- Schnelle Zielwechsel mit kleinen Motoren möglich (kleine bewegte Masse)
- Deviationsmomente (Beschleuniger) unkritisch für Zieleinheit-Antrieb
- Geringes Gewicht (kleine Zielvorrichtung möglich)

Nachteile

- Erhöhte Lärmentwicklung und Erschütterungen erwartet durch Umlenkung
- Erhöhte mechanische Belastung auf Bälle durch Umlenkung
- Höhere Streuung erwartet, da Abschussrichtung zusätzlich durch das Umlenken unregelmässig beeinflusst werden kann.

F1V2



Das Magazin ist ortsfest und die (aufgereihten) Bälle gelangen über eine flexible Führung oder einen flexiblen Schlauch zur Vereinzelung. Von dort aus werden sie an den Beschleuniger weitergegeben. Sowohl der Beschleuniger, als auch die Vereinzelung können als Einheit in ihrer Ausrichtung verändert werden, damit sich die gewünschte Abschussrichtung ergibt.

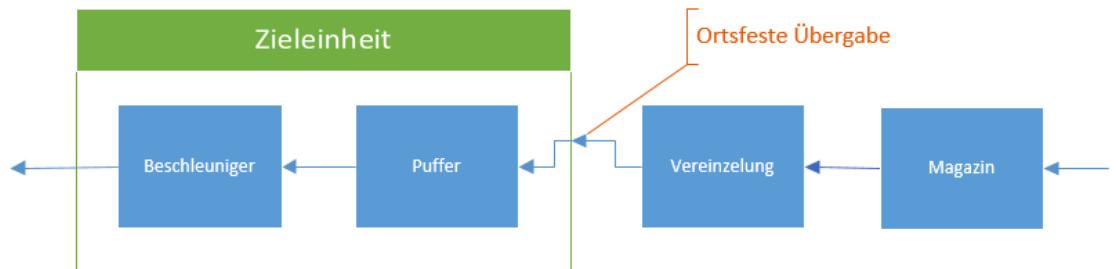
Vorteile:

- Genaues Zielen möglich

Nachteile

- Die Zuverlässigkeit mit flexibler Schnittstelle (Magazin-Vereinzelung) kann kritisch sein
- Deviationsmomente wirken dem Antrieb der Zieleinheit entgegen

F1V3



Das Magazin und die Vereinzelung sind ortsfest. Der Beschleuniger mit einer Puffereinheit (4-8 Bälle) werden durch die Zieleinheit bewegt. An einer bestimmten Zielposition können die Bälle von der Vereinzelung in die Pufferzone gelangen. Dafür muss die Schussabgabe kurz unterbrochen werden.

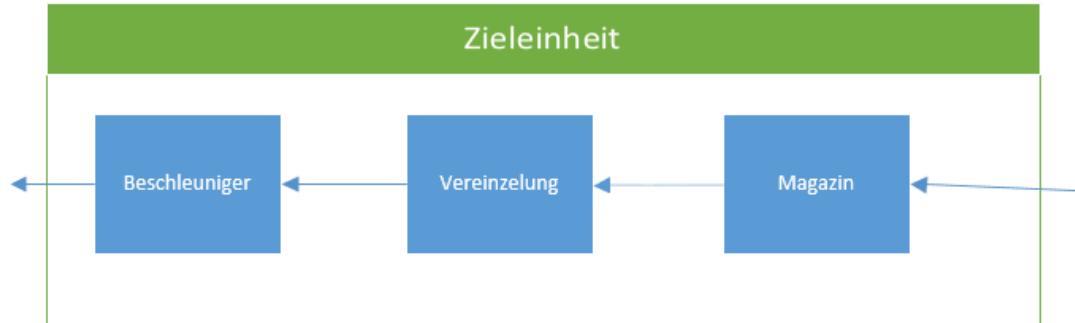
Vorteile:

- Maximale Präzision für Schusskadenz (max. 4-8 Bälle pro Salve) und Abschussrichtung

Nachteile:

- Die Übergabe auf die Pufferzone benötigt Zeit, sodass bei hoher Schusskadenz Unterbrüche eingebaut werden müssen, um den Puffer aufzufüllen.
- Zusätzlicher Antrieb für Stopper bei Übergabe
- Deviationsmomente wirken dem Antrieb der Zieleinheit entgegen

F1V4



Das Magazin, die Vereinzelung und der Beschleuniger befinden sich auf der Zieleinheit..

Vorteile:

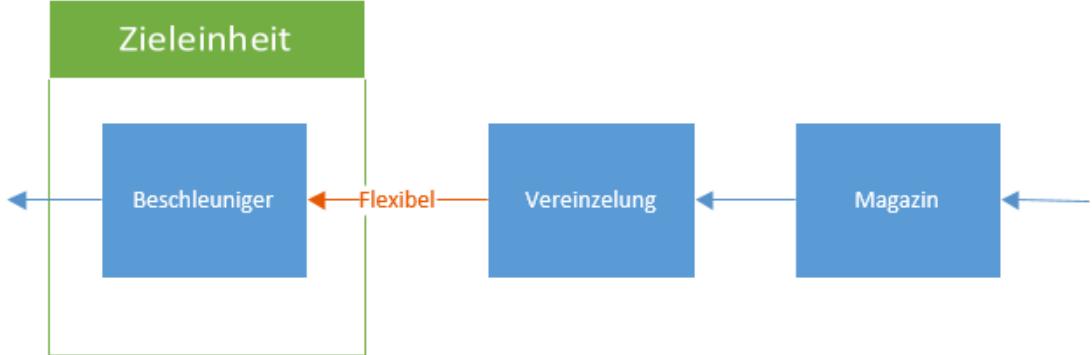
- Einfache Schnittstellen zur Ballübergabe

- Maximale Präzision für Schusskadenz und Abschussrichtung

Nachteile:

- Deviationsmomente wirken dem Antrieb der Zieleinheit entgegen
- Extrem grosse Masse wird durch Zieleinheit bewegt → grosse Trägheit und Lagerkräfte → grosse, teure Motoren und Lager

F1V5



Das Magazin und die Vereinzelung sind ortsfest. Die (aufgereihten) Bälle gelangen über eine flexible Führung oder einen flexiblen Schlauch zum Beschleuniger. Der Beschleuniger kann als Einheit in seiner Ausrichtung verändert werden, damit sich die gewünschte Abschussrichtung ergibt.

Vorteile:

- Die flexible Verbindung zwischen Beschleuniger und Vereinzelung bewirkt, dass die Zieleinheit so klein und leicht wie möglich gestaltet werden kann.
- Die statische Vereinzelung ist kostengünstiger und weniger Fehlranfällig

Nachteile

- Die Zuverlässigkeit flexible Schnittstelle (Magazin-Vereinzelung) kann kritisch sein
- Deviationsmomente wirken dem Antrieb der Zieleinheit entgegen, was zu einem erhöhten Kraftaufwand der Zielvorrichtung führt.

4.2.2 Funktion 2: Magazin

Funktionsbeschrieb

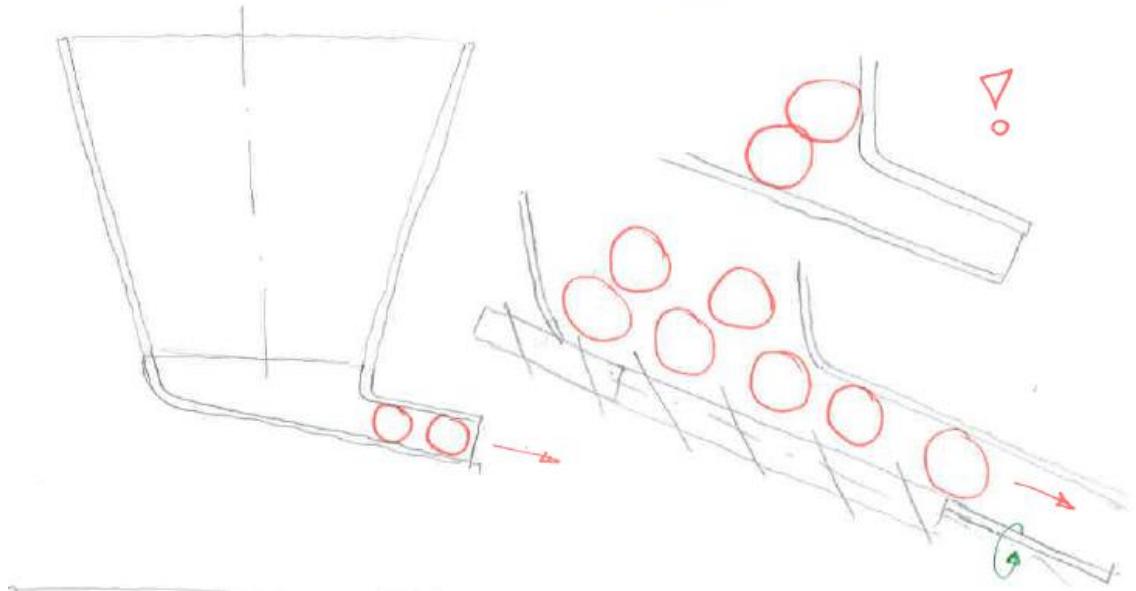
Das Magazin ist das erste Teilsystem, welches der Ball durchläuft. Die Hauptaufgabe ist das Aufbewahren von Bällen, bis die Bälle an das Teilsystem «Freigabe» weitergeleitet werden. Weiterhin muss das Befüllen des Systems mit Bällen möglich sein.

Die aus dem Pflichtenheft abgeleiteten technischen Anforderungen, welche durch dieses Teilsystem **direkt** beeinflusst werden, sind:

- Möglichst geringes Gewicht und Grösse (TM1, TO10)
- Speicherkapazität für 150-200 Bälle
- Schnelles und einfaches Befüllen mit Bällen möglich (TO7)
- Modularer Aufbau (TO5)

- Keine Beschädigung an den Bällen, schonender Umgang mit Bällen (TM10, TO4)

F2V1



In einem grossen trichterförmigen Behälter werden die Bälle gelagert und durch ein Auslassrohr können die Bälle aufgereiht werden.

Es besteht die Gefahr, dass die Bälle sich gegenseitig beim Verlassen des Trichters behindern (oben rechts). Diesem Effekt kann mit einer Schnecke entgegengewirkt werden. Zusätzlich kann eine Schnecke die Bälle vereinzeln.

Vorteile:

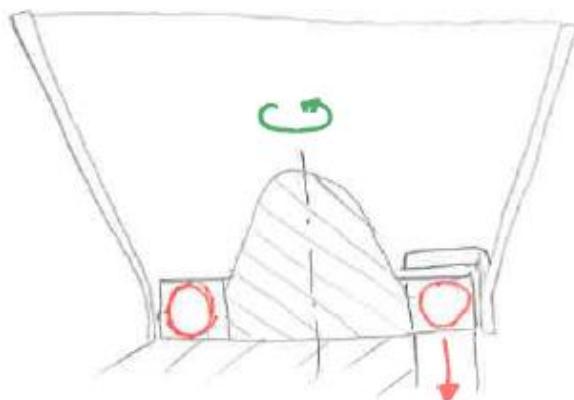
- Kompakt
- Bälle als Schüttgut zuführbar
- Bälle werden vereinzelt
- Hohe Durchflussmenge möglich
- Der zeitliche Abstand der Bälle kann (bis zu einer bestimmten Drehzahl) zuverlässig und präzise bestimmt werden

Nachteil:

- Mit Schnecke eher aufwändig und ohne sehr störanfällig

Info: Weil durch die Schnecke eine Vorrichtung zur Freigabe nicht zwingend notwendig ist, wird durch die Verwendung dieses Prinzips **keinen zusätzlichen** Antrieb benötigt!

F2V2



Ein Behälter mit rotationssymmetrischer Bodenkontur dient zur Aufbewahrung der Bälle. Am Boden des Behälters ist eine Drehscheibe mit Aussparungen in der Grösse von Bällen. Die Bälle fallen in diese Aussparungen. Dreht sich die Scheibe gelangen die Bälle in eine Zone, wo sie nach unten wegfallen können, ohne dass von oben weitere Bälle nachrutschen können.

Vorteile:

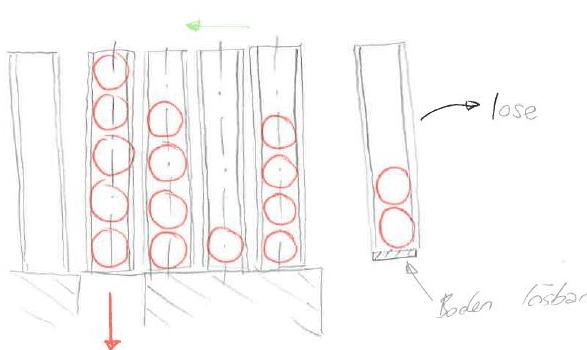
- Kompakt
- Bälle als Schüttgut zuführbar
- Bälle werden vereinzelt
- Der zeitliche Abstand der Bälle kann (bis zu einer bestimmten Drehzahl) zuverlässig und präzise bestimmt werden

Nachteile:

- Die Drehscheibe ist relativ gross → Trägheitsmoment erfordert grossen Motor

Info: Weil durch die Schnecke eine Vorrichtung zur Freigabe nicht zwingend notwendig ist, wird durch die Verwendung dieses Prinzips **keinen zusätzlichen Antrieb** benötigt!

F2V3



Mehrere, vom System abnehmbare "Kartuschen" werden auf einem Fördersystem gefördert. Die Behälter können leer von der Anlage entnommen werden und damit die Bälle direkt gelagert und eingesammelt werden. Der Boden der Kartuschen muss lösbar sein, damit die Bälle nach unten entweichen, sonst aber nicht unten herausfallen können.

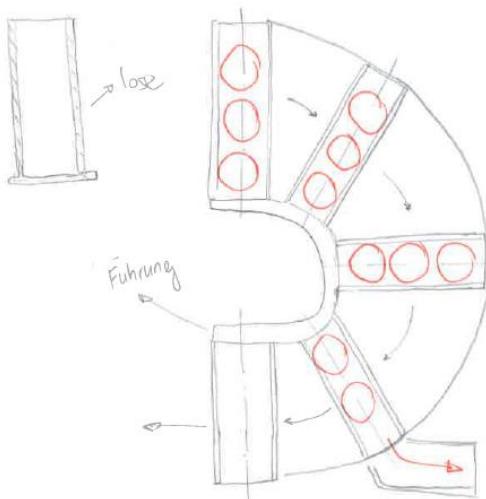
Vorteile:

- Kurzzeitig sehr hohe Fördermenge möglich (leeren einer Kartusche)

Nachteile:

- Grosser Platzbedarf
- Zusätzlicher Antrieb (Fördersystem)
- Zuführen stark erschwert
- Viele Einzelteile
- Viele lose Teile

F2V4



Mehrere, vom System abnehmbare "Kartuschen" werden auf einem Fördersystem gefördert. Die Behälter können leer von der Anlage entnommen werden und damit die Bälle direkt gelagert und eingesammelt werden. Durch das Umdrehen muss der Boden muss nicht abnehmbar sein

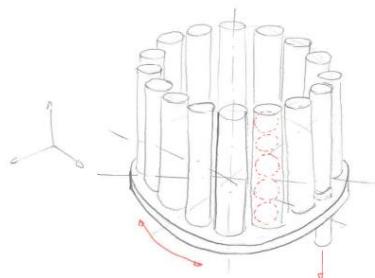
Vorteile:

- Kurzzeitig sehr hohe Fördermenge möglich (leeren einer Kartusche)
- Es können am Boden Führungshilfen angebracht werden (im Vergleich zu FM1V3)

Nachteile:

- Sehr grosser Platzbedarf
- Zusätzlicher Antrieb (Fördersystem)
- Bälle zuführen ist umständlich
- Viele bewegte Teile
- Viele Einzelteile
- Viele lose Teile

F2V5



10-15 Bälle werden in vertikalen Türmen aufeinander gestapelt. Die Türme bewegen sich auf einem Drehtakttisch. Bei einer Position können die Bälle entnommen werden.

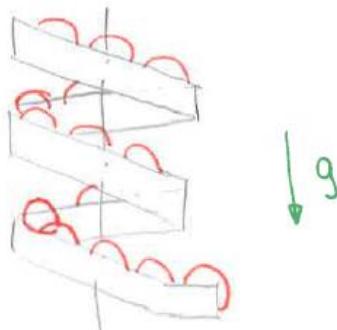
Vorteile:

- Kurzzeitig sehr hohe Fördermenge möglich (leeren einer Kartusche)

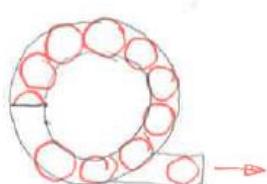
Nachteile:

- Grosser Platzbedarf
- Zusätzlicher Antrieb
- Bälle zuführen ist umständlich, das System könnte mit Einfüllhilfen erweitert werden

F2V6



Die Bälle werden entlang einer Rutsche hintereinander aufgereiht. Durch die Schwerkraft rücken alle Bälle um eine Position weiter, wenn unten ein Ball entnommen / zum Schuss freigegeben wird.



Vorteile:

- Wenig Risiken
- Einfacher Aufbau
- Kostengünstig
- Flexible Bahnführung erlaubt

Nachteile:

- Bälle müssen einzeln dem System beigegeführt werden.
- Platzaufwändig
- Reibung zwischen den Bällen kann bei hoher Anzahl problematisch sein

4.2.3 Funktion 3: Zielvorrichtung

Funktionsbeschrieb

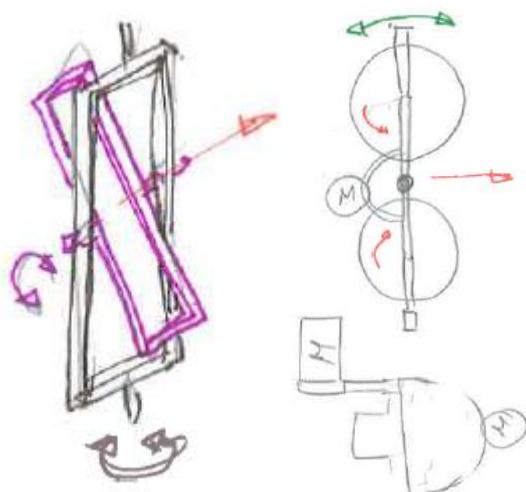
Eine Zielvorrichtung soll dafür sorgen, dass der Ball im gewünschten Winkel aus dem Gesamtsystem austritt. Die Zielvorrichtung soll zwei Freiheitsgrade haben, damit die Schussabgabe nach oben/unten und links/rechts gerichtet werden kann. Grundsätzlich können die Zielvorrichtungen in zwei Gruppen unterteilt werden.

- **Zielen mit Beschleuniger:** Die Zielvorrichtungen, die den Beschleuniger so ausrichtet, dass der Austritt des Balls in die gewünschte Richtung erfolgt.
- **Zielen über Umlenken:** Die Zielvorrichtungen, die den beschleunigten Ball so umlenkt, dass er sich in die gewünschte Richtung weiterbewegt.

Die aus dem Pflichtenheft abgeleiteten technischen Anforderungen, welche durch dieses Teilsystem **direkt** beeinflusst werden, sind:

- Möglichst geringes Gewicht und Grösse (TM1, TO10)
- Stufenlos einstellbare Zielvorrichtung (TM3)
- Zielen vertikal (hoch-tief) und horizontal (links-rechts) möglich (TM4)
- Möglichst tiefe Abschussposition (TO2)
- Hohe Ziel- und Wiederholgenauigkeit (geringe Streuung)

F3V1



Diese Variante basiert auf dem Prinzip: **Ziehen mit Beschleuniger**.

Der Beschleuniger kann sich um 2 Drehachsen bewegen. Dabei ist der erste Antrieb starr installiert. Der zweite Antrieb ist auf dem Rahmen, der durch den ersten Antrieb bewegt wird, befestigt. Somit kann der Beschleuniger sich um zwei orthogonale Drehachsen bewegen.

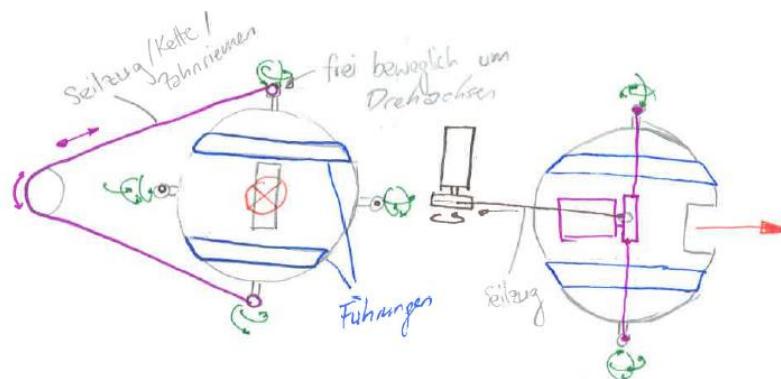
Vorteile:

- Zielrichtung gut und einfach bestimmbar
- Gerader Austritt möglich. Das erhöht Wiederholgenauigkeit

Nachteile:

- Ein Motor bewegt sich während des Betriebs
- Hohe Trägheitsmomente, weil grosse Massen werden beschleunigt → grosse, teure Motoren erforderlich
- Hohe Deviationsmomente durch Beschleuniger behindern die Bewegung
- Viele Einzelteile
- Viele Lagerstellen

F3V2



Die Zielvorrichtung wird sphärisch gelagert. Zwei Motoren übertragen das Drehmoment über gespannte Kette auf zwei Punkte der Kugel. Das Lager, dass die Kette mit der Kugel verbindet ist in alle drei Drehachsen frei beweglich. Durch das Drehen der Motoren wird die Zielvorrichtung dann ausgerichtet. Während des Ausrichtens verändert die Kette ihre Länge, deshalb muss sie mit einer Spannvorrichtung versehen werden. Die Kette kann auch durch ein Seilzug oder Zahnriemen ersetzt werden.

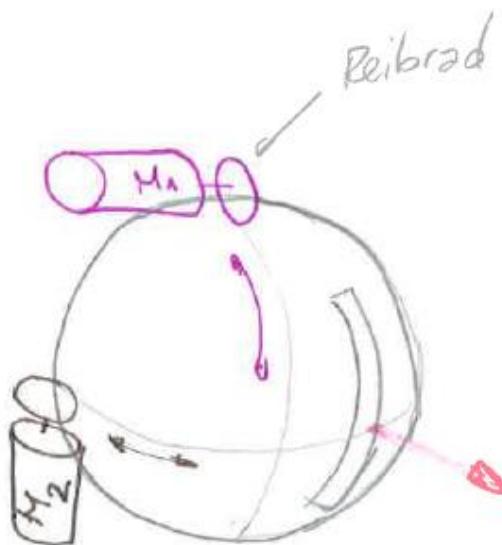
Vorteil:

- Motoren sind fest mit dem Gehäuse verbunden

Nachteil:

- Hohe Abschussposition
- Schwierige Lagerung der Kugel
- Teure Herstellung für präzise Kugel
- Veränderte Kettenlänge → Spannen erforderlich
- Aufgrund der Lagersituation beschränkt grossen Winkel machbar

F3V3



Die Zielvorrichtung wird sphärisch gelagert. Die Kugel wird durch zwei Motoren bewegt. Sie übertragen das Drehmoment über ein Reibrad auf die Kugel. Durch das Drehen der Motoren wird die Zielvorrichtung dann ausgerichtet.

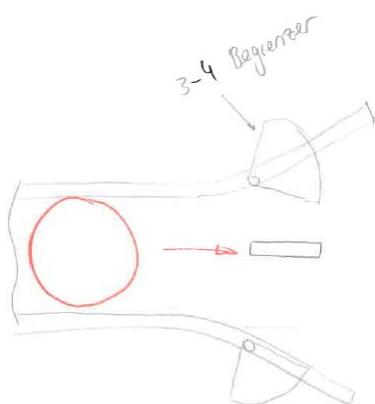
Vorteil:

- Motoren sind fest mit dem Gehäuse verbunden

Nachteil:

- Hohe Abschussposition
- Schwierige Lagerung der Kugel
- Teure Herstellung für präzise Kugel
- Aufgrund der Lagersituation beschränkt grossen Winkel machbar
- Verschleiss bei Reibrädern zu erwarten
- Reibräder behindern gegenseitig ihre Antriebe

F3V4



Dieser Aufbau funktioniert nur mit F1V1. Am Auslass sind 3-4 Richtungsbegrenzer angebracht, durch welche der beschleunigte Ball in die gewünschte Richtung geleitet wird.

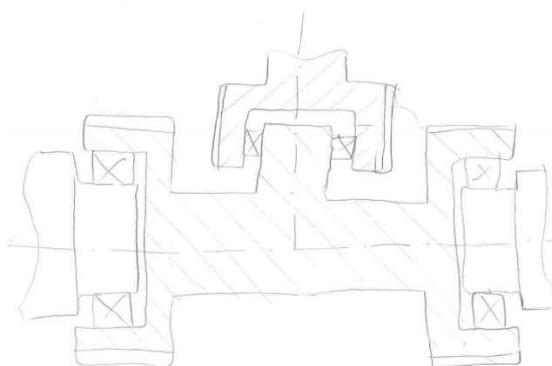
Vorteil:

- Einfache Konstruktion
- Geringe Massen müssen bewegt werden → kleine, günstige Antriebe
- Wenig bewegte Teile

Nachteil:

- Kurze, fast punktuelle Führung kann hohe Streuung bewirken.
- Verschleiss der Bälle durch Kontakt mit Klappen
- Abbremsen von Schussenergie

F3V4



Das Prinzip dieser Variante wurde von der Montierung von Teleskoplen entnommen. Zwei Achsen, eine in horizontaler und die andere in vertikaler Richtung, werden über Zahnradgetriebe bewegt.

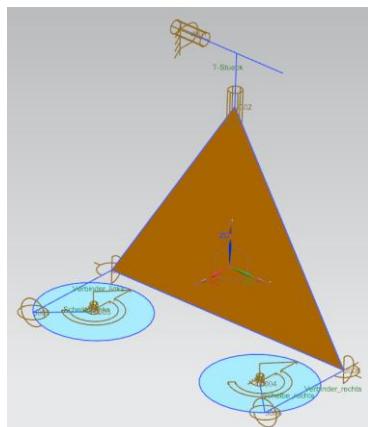
Vorteil:

- Kompakte Bauweise möglich
- Tiefe Abschussposition möglich

Nachteil:

- Ein Motor bewegt sich mit.
- Horizontale Achse (hoch-runter-Bewegung) ist nicht im Schwerpunkt → Dauerlast auf Motor bei Auslenkung

F4V7



Die Bewegung wird über zwei Kurbeln-Pleuel-Paare gesteuert. Der zu bewegende Körper darf dabei nur 2 Freiheitsgrade aufweisen (z.B. mit F3V1 oder F3V4 kombinierbar).

Vorteile

- Beide Motoren ortsfest
- Keine grossen Anforderungen an Genauigkeit

Nachteile

- Motormomente verändern sich mit Eingriffswinkel an der Kurbel

4.2.4 Funktion 4: Freigabe

Funktionsbeschrieb

Die Funktion „Freigabe“ ist die Schnittstelle zwischen dem Magazin und des Beschleunigers. Sie sorgt für dafür, dass der Ball rechtzeitig beschleunigt wird. Gleichwohl muss die Einheit dafür sorgen, dass die Bälle separat in kontrollierbaren und steuerbaren Abständen zum Beschleuniger geführt werden.

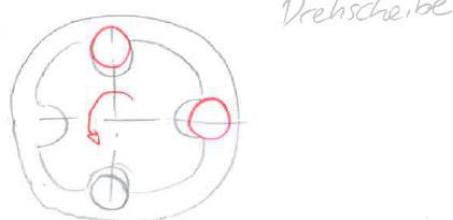
Die aus dem Pflichtenheft abgeleiteten technischen Anforderungen, welche durch dieses Teilsystem **direkt** beeinflusst werden, sind:

- Mündungs-Geschwindigkeit regelbar 50-180km/h (TM5)
- Keine Beschädigung der Bälle durch den Betrieb (TM10)
- Möglichst kompakte Bauweise (TO1)
- Möglichst schonender Umgang mit Bällen (TO4)

Ballwurfmaschine

Konzipieren

F4V1



Die Bälle werden in einer Drehscheibe mit Aussparungen in der Grösse der Bälle gefördert. Dreht sich die Scheibe, gelangen die Bälle in der Aussparung in eine Zone, wo sie nach unten wegfallen können, ohne dass von oben weitere Bälle nachrutschen können.

Diese Variante deckt sich mit dem bei FM1V2 beschriebenen System und funktioniert zwangsläufig nur in Kombination mit diesem.

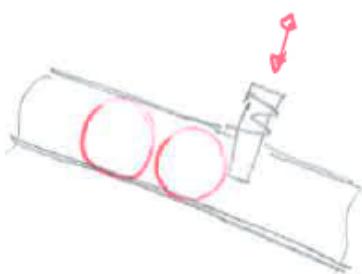
Vorteile:

- Der zeitliche Abstand der Bälle kann (bis zu einer bestimmten Drehzahl) zuverlässig und präzise bestimmt werden

Nachteile:

- Die Drehscheibe ist relativ gross → Trägheitsmoment erfordert grossen Motor

F4V2



Die Bälle werden in einer Röhre aufgereiht und die Ballfreigabe wird durch einen Stopper gesteuert, welcher durch eine Feder nach unten gedrückt wird.

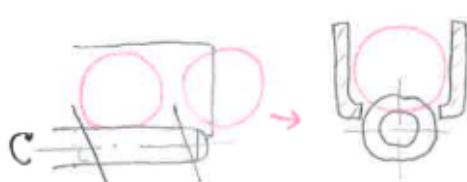
Vorteile:

- kompakt

Nachteile:

- Schnelle Bewegung des Stopfers nötig

F4V3



Die Bälle befinden sich in einer U-förmigen Führung und werden durch eine rotierende Schnecke vorwärts getrieben.

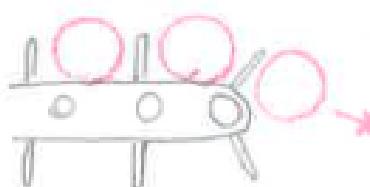
Vorteile:

- Kompakte Bauart möglich
- Zeitlicher Abstand der Bälle durch Drehzahl der Schnecke regelbar
- Die Bälle können mit Druck an den Beschleuniger weiter gegeben werden

Nachteile:

- Aufwendige Herstellung

F4V4



Ein Förderbandsystem bewegt die Bälle vorwärts

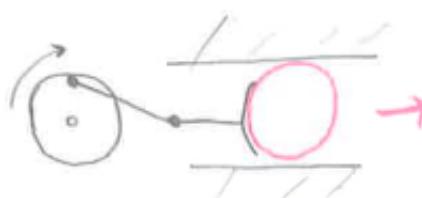
Vorteile:

- Flache Bauweise

Nachteile:

- Hoher Platzbedarf
- Aufwendige Herstellung
- Zeitlicher Abstand der Bälle nicht präzise einstellbar
- Viele Lagerstellen
- Hohe Verluste
- Langsam

F4V5



Eine Pleuelstange schiebt die Bälle vorwärts. Die Geschwindigkeit der Ballzufuhr kann über die Drehzahl der Scheibe gesteuert werden.

Vorteile:

- Genaue Positionierung möglich
- Die Bälle können mit Druck an den Beschleuniger weiter gegeben werden
-

Nachteile:

- Reibung im Kolben
- Hoher Platzbedarf
- Viele Lagerstellen

F4V5



Abbildung 6 Lin Mot P04

Ähnlich wie die Variante mit der Pleuelstange, wird der Ball mit einem Linearantrieb in die Abschlussposition bewegt. Der Linearantrieb könnte ein LinMot P04 sein

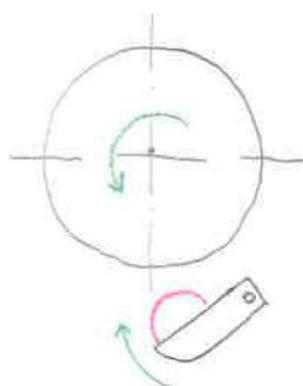
Vorteil:

- Als Einkaufsteil verfügbar
- Parameter via SPS einstellbar

Nachteil:

- Hoher Platzbedarf

F4V7



Der Ball wird mit einer Schaufel auf eine rotierende Scheibe gedrückt und so beschleunigt.

Vorteil:

- Bälle werden mit Druck an die Scheibe geführt
- Genaue Positionierung möglich
- Takt der Bälle kann über Geschwindigkeit der Schaufel eingestellt werden.

Nachteil:

- Bewegung der Schaufel muss zeitlich mit dem Freigeben abgestimmt sein
-

4.2.5 Funktion 5: Antrieb / Beschleuniger

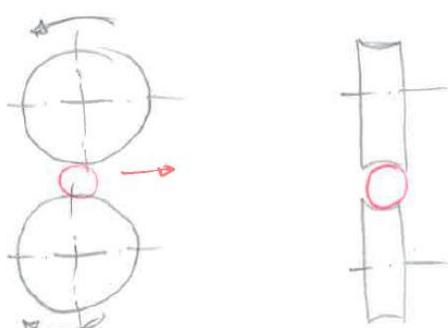
Funktionsbeschrieb

Die freigegebenen Bälle gelangen zum Beschleuniger und werden auf die Schussgeschwindigkeit beschleunigt. Die Geschwindigkeit soll varierbar sein.

Die aus dem Pflichtenheft abgeleiteten technischen Anforderungen, welche durch dieses Teilsystem **direkt** beeinflusst werden, sind:

- Mündungs-Geschwindigkeit regelbar 50-180km/h (TM5)
- Keine Beschädigung der Bälle durch den Betrieb (TM10)
- Möglichst kompakte Bauweise (TO1)
- Möglichst schonender Umgang mit Bällen (TO4)

F5V1



Diese Variante wird in den meisten Abschussmaschinen für das Tennis benutzt. Der Ball wird zwischen zwei rotierenden Scheiben geklemmt und so beschleunigt. Es gilt zu beachten, dass Tennisbälle weich und leicht verformbar sind, hingegen Unihockeybälle steifer sind und schneller brechen.

Vorteile:

- Gerader Austritt möglich
- Zielen durch bewegen der Scheiben möglich

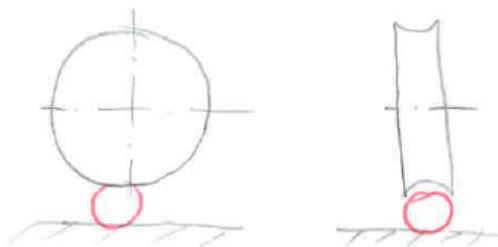
Nachteile:

- Hoher Platzbedarf
- Zwei Antriebe nötig
- Bälle müssen mit Druck zugeführt werden

Ballwurfmaschine

Konzipieren

F5V2



Es wird nur eine rotierende Scheibe verwendet. Dazu kommt eine Schiene, die den Ball beim Beschleunigen führt.

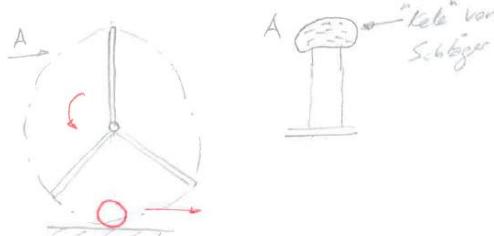
Vorteile:

- Zielen über die Schiene möglich
- Weniger Platzbedarf als Variante 1

Nachteile:

- Druck auf die Bälle kann zu Beschädigungen führen
- Ball wird durch Reibung an Schiene gebremst

F5V3



An einer rotierenden Welle sind drei oder mehr Schläger befestigt, welche den Ball durch einen Schlag beschleunigen.

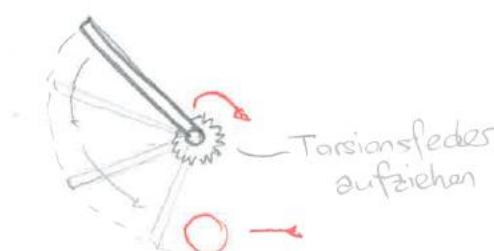
Vorteile:

- Tiefe Abschussposition möglich
- Zielen durch Schlägerausrichtung möglich
- Dafür muss nut der Beschleuniger für das Zielen bewegt werden

Nachteil:

- Hoher Platzbedarf
- Positionierung des Balls schwierig steuerbar

F5V4



Ein Schläger wird durch eine Torsionsfeder aufgezogen und somit ein Schlag auf den Ball erzeugt.

Vorteile:

- Tiefe Abschussposition möglich
- Zielen durch Löffelstellung möglich
- Motormoment immer in gleiche Richtung

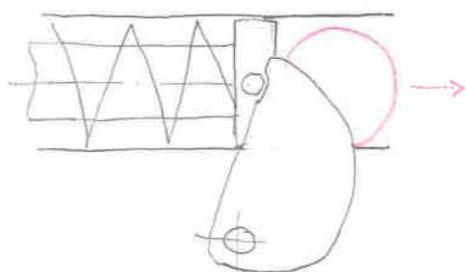
Nachteile:

- Langsam
- Kupplung nötig
- Positionierung des Balls schwierig steuerbar
- Steuerung der Schussgeschwindigkeit muss über separaten Antrieb (Federweg einstellen) erfolgen.

Ballwurfmachine

Konzipieren

F5V5



Der Abschuss des Balls erfolgt durch die Federkraft. Die Feder wird durch einen Hebel gespannt und automatisch losgelassen. Durch die Rotation des Hebels kann die Kadenz eingestellt werden.

Vorteil:

- Schusskadenz einfach einstellbar

Nachteil:

- Grosse Kraft nötig für das Spannen der Feder
- Steuerung der Schussgeschwindigkeit muss über separaten Antrieb (Federweg einstellen) erfolgen.
- Grosse Energieaufnahme durch Bremse/Stopper

F5V6



Abbildung 7 Kompressor für Drucklufterzeugung

Der Ball wird durch einen Druckluftstoss beschleunigt

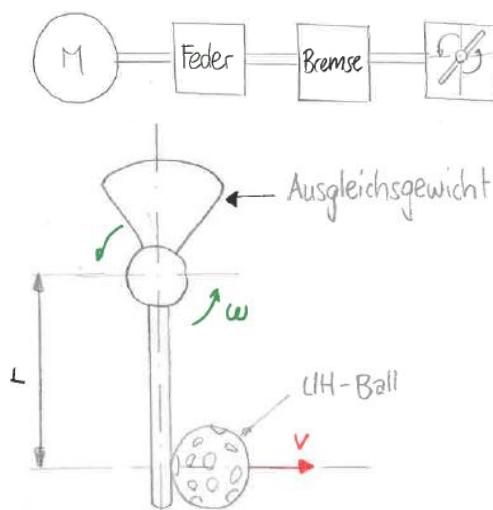
Vorteile

- Einfache und kompakte Bauweise
- Zielen einfach zu realisieren

Nachteile:

- Unihockeybälle weisen Löcher auf, was problematisch sein könnte.
- Druckluftversorgung nötig
- Hohe Drücke für geforderte Geschwindigkeit nötig.

F5V7



Als Verbesserung zu F5V4 kann der Motor kontinuierlich eine Spiralfeder aufziehen. Der Antrieb, welcher am anderen Teil der Feder befestigt ist, wird während des Aufziehens durch eine Bremse festgehalten. Wird die Bremse gelöst, wird der Hebel durch die Federenergie beschleunigt und trifft bei der Abschlussposition auf den Ball. Danach dreht er mit der Federenergie weiter, bis er sich wieder beim Anschlag befindet. Dieser Bremst den Hebel wieder abrupt ab.

Vorteile:

- Tiefe Abschussposition möglich
- Zielen durch Löffelstellung möglich

Nachteile:

- Positionierung des Balls schwierig steuerbar (Ball rollt weg)
- Motor muss Positionserkennung haben, damit der Federspannweg bestimmt werden kann.
- Grosse Energieaufnahme durch Bremse/Stopper

4.3 Untersuchungen zu Teilkonzeptvarianten

Zweck Im folgenden Abschnitt werden einige Untersuchungen, welche während der Konzeptvariante durchgeführt wurden, genauer erläutert. Sie sind wichtig für fachliche Beurteilung der Konzeptvarianten.

Erläuterung zu den Berechnungen Die Berechnungen sind wichtig für die Beurteilung der Tauglichkeit von Lösungsvarianten. Deshalb wurden die meisten während der Konzeptphase durchgeführt.

Damit mit den Werten experimentiert werden kann, wurden die Berechnungen allesamt in Excel-Dateien festgehalten. Diese sind im Anhang zu finden. Es wird auf jede Berechnung eingegangen und die wichtigen Erkenntnisse erläutert

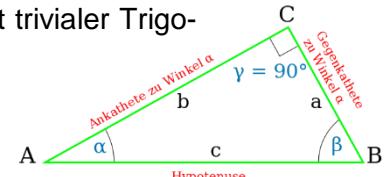
4.3.1 Schussbereich (F1 , F3)

Beschrieb Der Schussbereich ist für den primären Anwendungszweck das Standard-Unihockey-Tor. Kann die Ballschussmaschine auf 5m Schussdistanz jeden Punkt des Tors anvisieren, ist der Schussbereich im Rahmen der Aufgabenstellung ausreichend.

Nachfolgend werden die Winkel, welche die Zielvorrichtung abfahren soll, berechnet. Dies dient einer fundierteren Beurteilung der Aufbau- und Zielvorrichtungs-funktionen (F1 und F3). Aber auch beim Ausarbeiten ist es wichtig, damit die Endlösung auch alle Punkte im Tor treffen kann.

Berechnungsgrundlage Die notwendige Auslenkung der Zielvorrichtung wurde mit trivialer Trigonometrie bestimmt.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}\right) = \arctan\left(\frac{a}{b}\right)$$



Für die Berechnung des Schussbereichs wurde eine gerade Flugbahn angenommen. Diese Vereinfachung wurde gemacht, da der Ball eine, im Verhältnis zur Schussdistanz, sehr hohe Geschwindigkeit hat. Die Flugbahn und der Luftwiderstand des gelochten Balls lassen sich zudem ohne Simulation kaum vorhersagen.

Abbildung 8 Dreieck

Ergebnisse

Die Eingabewerte für die Schussdistanz L wurde aus den durch Aufgabenbeschreibung und die Interviews gewonnenen Informationen übernommen. Die Tor-Höhe H und -Breite B sind normiert und die Abschusshöhe h wurde angenommen.

Eingabewerte	L	5000 mm
	H	1150 mm
	B	1600 mm
	h	150 mm
Steigwinkel	a	1.718358 °
	b	11.3099325 °
Schwenkwinkel	c	9.09027692 °
	d	9.09027692 °

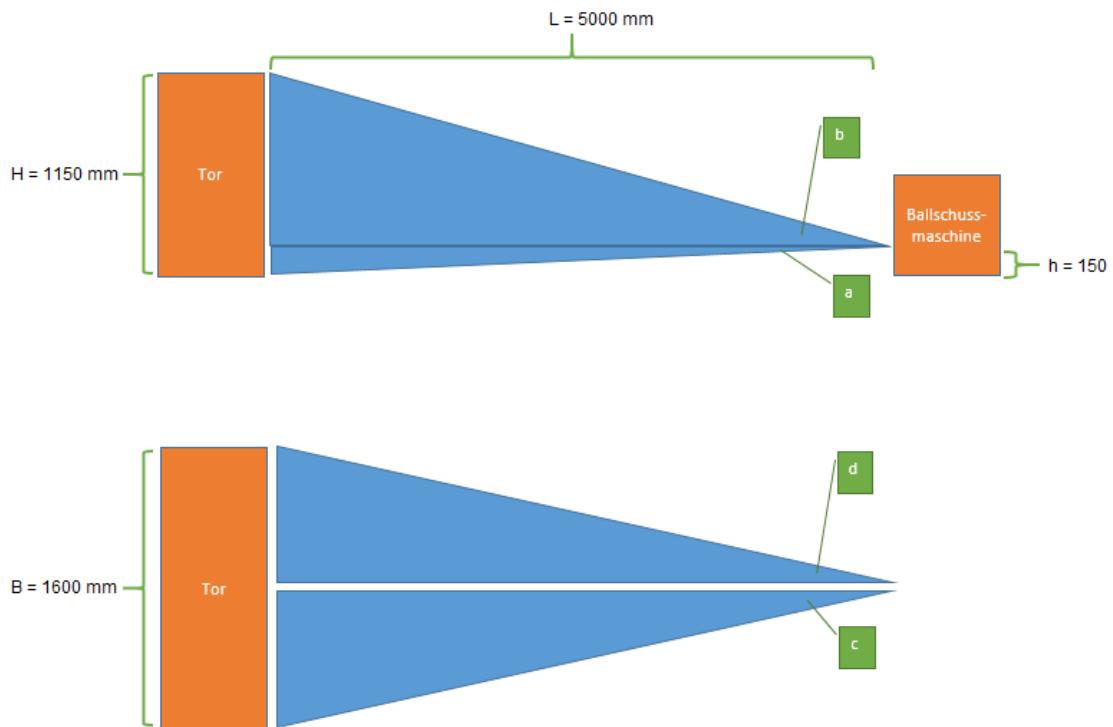


Abbildung 9 Zielbereich

Auswertung

Die Winkel von maximal 11.3° sind als eher gering einzuschätzen. Dies ermöglicht relativ kleine Verfahrwege der Zielvorrichtung.

Aus dem Ergebnis lässt sich jedoch auch ableiten, wie stark sich eine allfällige Streuung von wenigen Grad auf den Zielbereich auswirken kann.

4.3.2 Schlagimpuls/Stoss F5

Beschrieb

Bei einigen Beschleuniger-Varianten wird der Ball durch einen Stoss auf die Abschussgeschwindigkeit gebracht. Weil der k-Faktor die Abhängigkeit von Schlägergeschwindigkeit und Abschussgeschwindigkeit beeinflusst, ist diese Berechnung notwendig.

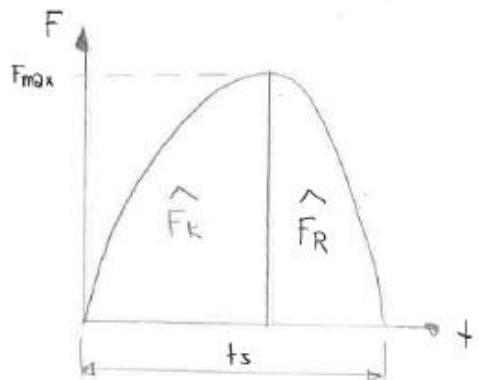
Berechnungsgrundlage

Damit die Schlägergeschwindigkeit überhaupt bestimmt werden kann, muss zuerst der k-Faktor bestimmt werden. Dies wurde mit einem einfachen Versuch ermittelt.

Berechnung Schlag

$$\text{Teilelastischer Stoß: } \hat{F}_R = k \cdot \hat{F}_K$$

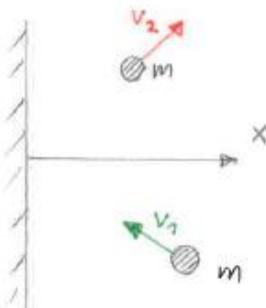
$$\begin{aligned} \text{Stoßhypothese} \quad & \hat{F}_K = -m \cdot v_{1x} \\ & \hat{F}_R = m \cdot v_{2x} \end{aligned}$$



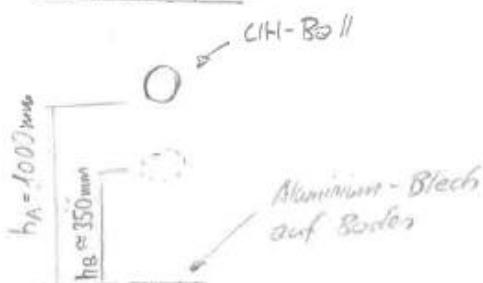
Aus Dyna1-Skript:

Bestimmung der Stoßzahl im Fallversuch:

$$\begin{array}{c} \bullet_m \\ \uparrow x \\ \hline \end{array} \quad k = -\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{\frac{h_B}{h_A}}$$



Versuchsaufbau:



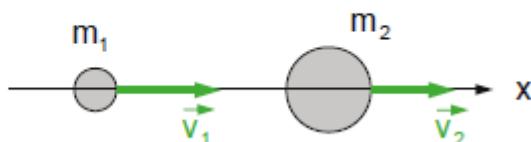
$$\Rightarrow k = \sqrt{\frac{350}{1000}} = 0,6$$

Aus dem k-Faktor kann nun die Formel aus dem Dynamik2 Skript angewendet werden. Die Masse m₁ wiederspiegelt dabei den Schläger und m₂ den Ball. Der k-Faktor lässt sich nur anwenden, wenn der Schläger wie im Versuch aus Aluminium besteht.

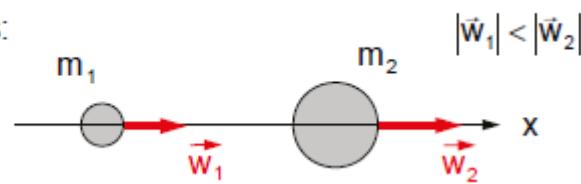
Gerader zentrischer Stoß:

Vor dem Stoß:

$$|\vec{v}_1| > |\vec{v}_2|$$



Nach dem Stoß:



$$v_2' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + k m_1 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}$$

Die Formel wurde dann nach v_1 umgestellt. Weil $v_2=0$ m/s lautet die Gleichung wie folgt:

$$v_1 = \frac{v_2 * (m_1 + m_2)}{m_1 + m_1 * k}$$

Ergebnisse

Für die Berechnung wurde eine Ersatzmasse für m_1 verwendet. Diese Berechnung ist nur eine grobe Näherung. Sie hilft, die Geschwindigkeiten besser beurteilen zu können und lässt exaktere Schlüsse auf die Beschleunigung mit Stößen zu.

k	0.6
w_2	50 m/s
m_2	0.023 kg
v_2	0 m/s
r	0.5 m
m_1 Ersatzmasse	0.3 kg
v_1	33.65 m/s

4.3.3 Deviationsmomente (F1, F3, F5)

Beschrieb

Bei einigen Aufbau-Funktionsvarianten werden die Beschleuniger bewegt. Die Frage, welche uns zu dieser Berechnung bewegt hat ist, wie stark die Deviationsmomente einer Beschleunigungsscheibe sein wird, und ob rotierende und ausrichtbare Beschleuniger überhaupt denkbar sind.

Berechnungsgrundlage

Die Berechnung basiert auf dem Drallsatz, der besagt:

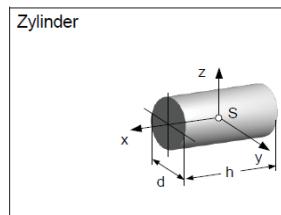
$$\dot{\vec{L}}^S = \vec{M}^S = \mathbf{J}^S \cdot \dot{\vec{\omega}} + \vec{\omega} \times \mathbf{J}^S \cdot \vec{\omega}$$

Für die Rechnung wird eine konstant drehende Drehscheibe angenommen. Diese dreht zum Zeitpunkt $t=0$ nur um die z-Achse.

$$\begin{aligned} M_x^Z &= 0 & J_x^B &= 0 & 0 & \omega_x & 0 & 0 \\ M_y^Z &= \omega_y^Z \times 0 & J_y^B &= 0 \cdot \omega_y & = \omega_y^Z \times 0 & = \omega_y^Z \cdot L_z^K \cdot \vec{e}_x \\ M_z^Z &= 0 & 0 & 0 & J_z^B & \omega_z & 0 & L_z^K \end{aligned}$$

Das Bezugssystem ist die der Zieleinheit (Z). Bei dem Auslenken nach oben entspricht für den Beschleuniger die Drehung um die y-Achse. Koordinatensystem: x - Schussrichtung, y - Quer, z – Beschleunigerachse.

Die Drehscheibe des Beschleunigers wurde dabei als Zylinder mit einer Dichte von 1000 kg/m³, einer Dicke von 50mm und einem Durchmesser von 320mm angenommen. So mit konnte die Flächenträgheit mit folgenden Formeln berechnet werden:

Zylinder 	$m = \frac{1}{4} \pi \rho D^2 h$ $J_x^S = \frac{1}{8} m D^2$ $J_y^S = \frac{1}{4} m \left(\frac{D^2}{4} + \frac{h^2}{3} \right)$ $J_z^S = \frac{1}{4} m \left(\frac{D^2}{4} + \frac{h^2}{3} \right)$
--	---

Ergebnisse

Abschussgeschwindigkeit	v	180 km/h
Scheibendurchmesser	D	320 mm
Zielgeschwindigkeit	omega y	20 °/s
		0.34906585 rad/s
Dichte	rho	1000 kg/m³
Scheibenhöhe	h	50 mm
Scheibendurchmesser	D	320 mm
Massenträgheit	Jy	0.02657369 kgm²
Zylindermasse	m	4.0212386 kg
Massenträgheit	Jz	0.05147185 kgm²
Drall	Lz	0.01796707 Ns
<i>Bei konstanter Abschussgeschwindigkeit ($\dot{\omega}=0$)</i>		
Scheibenzahl	n	2984.15518 min⁻¹
	omega	312.5 s⁻¹
Deviationsmoment	My	5.61470828 Nm

Für die Neigung der Scheibe nach oben, muss bei den eingegebenen Werten **pro Scheibe** ein Moment von rund 5.6 Nm aufgebracht werden, um die Deviationsmomente zu überwinden.

Dabei spielt der Abstand von Horizontal-Zielachse und Drehscheibe keine Rolle.

Auswertung

Das Deviationsmoment um die Scheibe hängt natürlich stark von der Geometrie und dem Material der Scheibe ab. Es müsste bei der Wahl eines entsprechenden Konzeptes mit in die Motorauslegung einberechnet werden.

Grundsätzlich ist es jedoch kein K.O.-Kriterium für Konzepte dieser Art.

4.3.4 Beschleunigen mit Linearmotor

Beschrieb	Schnell kam die Idee für den Einsatz eines Linearantriebes auf. Es gäbe keine rotierende Masse, sondern nur ein sich hin und her bewegender Linearmotor.
-----------	--

Ergebnisse

Endgeschwindigkeit v		50 m/s
Gewicht Ball	m	0.023 kg
Weg	s	0.75 m
Zeit	t	0.03 s
Beschleunigung	a	1666.67 m/s ²
Masse Schlitten	ms	1 kg
Kraft auf Ball	F	38.33333 N
Kraft Antrieb	F	1705 N

Leider konnten wir nach einer Marktrecherche keinen entsprechenden Motor mit der geforderten Maximalgeschwindigkeit von 180 km/h (50 m/s) finden.

Auswertung

Ohne die Möglichkeit, einen Antrieb zu erwerben, wird diese Lösung verworfen.

4.3.5 Beschleunigen mit Druckfeder (F4V5)

Beschrieb

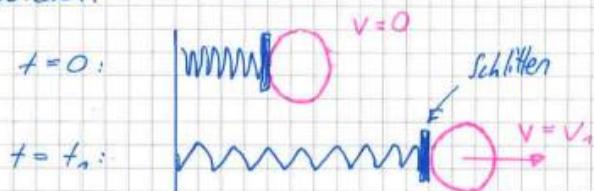
Bei dieser Variante muss die gesamte Energie, die für das Beschleunigen des Balls benötigt wird, in der Feder gespeichert werden. Die Feder muss vor dem Abschiessen so fest gespannt werden, dass der Führungsschlitten mit dem Ball eine Endgeschwindigkeit von 50 m/s erreicht. Und das auf einem möglichst kurzem Weg.

Um die Machbarkeit abschätzen zu können, wurden Berechnungen gemacht.

Berechnungsgrundlage

Berechnung Federkräfte und -werte

System:



- Vereinfachung:
- Reibung wird vernachlässigt
 - Federmasse vernachlässigt
 - Ball liegt bei $t=0$ direkt am Führungsschlitten

Werte:

- Konstantenkraft F_0
- Federkonstante c
- Federweg s
- Masse (Schlitten + Ball) m

$$\text{Mg: } F(s) = F_0 - c \cdot s, \quad F = \omega \cdot m$$

$$\Rightarrow \omega(s) = \frac{F_0}{m} - \frac{c}{m} \cdot s$$

$$\omega(s) = \frac{1}{2} \frac{d}{ds} (v^2(s)) \Leftrightarrow v(s) = \sqrt{2 \cdot \int \omega(s) ds}$$

$$\Rightarrow v(s) = \sqrt{2 \cdot \left[\int \frac{F_0}{m} ds - \int \frac{c}{m} \cdot s ds \right]}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot F_0 \cdot s}{m} - \frac{c \cdot s^2}{m}}$$

$$v(s) = \sqrt{\frac{s(2F_0 - c \cdot s)}{m}}$$

$$\Rightarrow c(F_0, v, m, s) = \frac{2 \cdot F_0 - \frac{v^2 \cdot m}{s}}{s}$$

$$t(s) = \int \frac{1}{v(s)} \cdot ds = \sqrt{m} \cdot \int (2F_0 \cdot s - c \cdot s^2)^{-1} ds$$

$$\Rightarrow t(s) =$$

$t(s)$ im Maple berechnet:

$$-\frac{1}{2} \frac{\sqrt{m} \sqrt{\frac{1}{s(-cs+2F)}} s(-cs+2F) \left(\arctan\left(\frac{-cs+F}{\sqrt{c}\sqrt{s(-cs+2F)}}\right) F + \arctan\left(\frac{-cs+F}{\sqrt{c}\sqrt{-cs^2+2Fs}}\right) F - \sqrt{c}\sqrt{-cs^2+2Fs} + \sqrt{c}\sqrt{s(-cs+2F)} \right)}{\sqrt{s(-cs+2F)} F \sqrt{c}}$$

Ergebnisse

Diese Formeln wurden in eine Excel-Datei übertragen.

Eingabewerte			
Endgeschwindigkeit	v	50.0	m/s
Masse Ball	mb	0.023	kg
Masse Schlitten	ms	0.500	kg
Masse (Schlitten+Ball)	m	0.523	kg
Federweg	s	0.200	m
Spannkraft	F0	3500	N
Resultate			
Federkonstante	c	2313	N/m
Kraft Mündung	F1	3038	N
Zeit für Beschleunigen	t1	0.016	s

Es zeigt sich, dass die Federkonstante im Verhältnis zur Spannkraft sehr klein ist. Der Spannweg (Weg, bis die Feder die Spannkraft erreicht hat) wäre in diesem Beispiel über **1.5m!** Folgendermassen wäre auch die gestauchte Federlänge sehr lang wodurch das Gerät zu gross würde.

Weiterhin sind die Kräfte (F0 und F1) sehr hoch, was durch die hohe Frequenz der Schläge eine hohe Belastung für die Anlage bedeuten würde. Zumal die Energie des Schlittens wieder aufgefangen werden muss (650 Joule/Schuss).

Eingabewerte			
Endgeschwindigkeit	v	50.0	m/s
Masse Ball	mb	0.023	kg
Masse Schlitten	ms	0.500	kg
Masse (Schlitten+Ball)	m	0.523	kg
Federweg	s	0.150	m
Spannkraft	F0	5000	N
Resultate			
Federkonstante	c	8556	N/m
Kraft Mündung	F	3717	N
Zeit für Beschleunigen	t1	0.007	s

Verkürzt man den Federweg und erhöht die Spannkraft, wird der Spannweg kleiner und die Federkonstante höher. Die Kräfte werden aber immer ungünstiger. Das umgekehrte Verhalten lässt sich bei einer Verlängerung des Federwegs feststellen.

Weitere Knackpunkte

Über die Berechnung hinaus wurden mögliche Knackpunkte vermutet:

- Es sind sehr kurze Zeiten für die Beschleunigung. Es fragt sich, ob sich die Feder tatsächlich so schnell verformen kann.
- Die Ermüdung der Feder würde die Einsatzdauer negativ beeinträchtigen.

Auswertung

Diese Variante stellt sich nach ausführlichen Berechnungen als nicht zielführend heraus. Die Materialbelastungen durch die Feder werden als sehr hoch eingeschätzt.

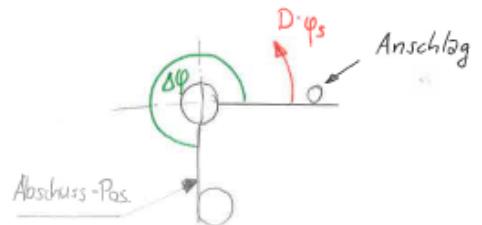
Aus diesen Gründen wird die Variante verworfen!

4.3.6 Beschleunigung mit Spiralfeder (F5V7)

Im Gegensatz zu einer Druckfeder können mit einer Spiralfeder kompaktere Baugrößen bei gleicher Spannenergie realisiert werden. Deswegen wurden entsprechende Berechnungen angestellt um diese Aussage zu bestätigen und die Machbarkeit zu überprüfen:

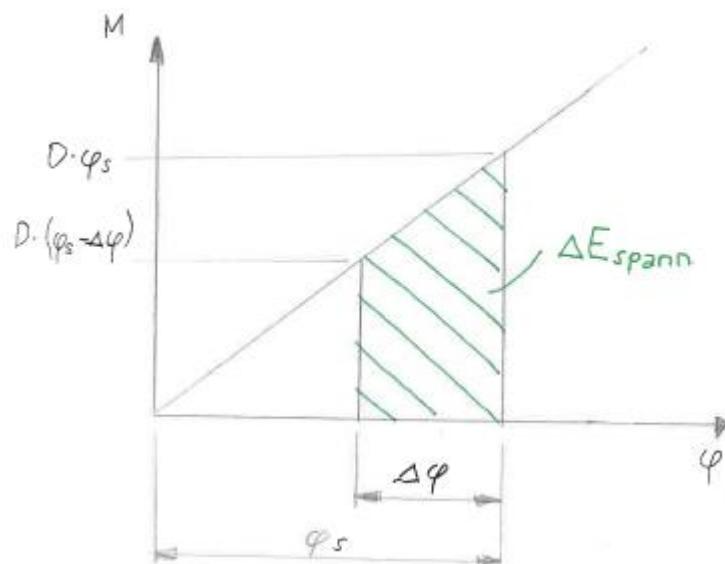
Berechnungsgrundlage

In der Rechnung wird die benötigte Federkonstante mit dem Energieerhaltungs-Gesetz bestimmt. Aus dieser Federkonstante kann dann eine passende Feder ausgewählt werden.



Vereinfachungen:

- Reibung wird vernachlässigt
- Für den Hebel wird angenommen, dass der halbe Abstand von Drehmittelpunkt zum Ball dem Trägheitsradius entspricht.
- Der Ball liegt exakt an der Abschussposition und der Schlag trifft den Ball exakt horizontal
- Der Hebel wird durch den Schlag auf den Ball nicht abgebremst, weil $E_{kinHebel} \gg E_{kinBall}$
- Der Motor steht still, während der Hebel den Schlag ausführt, weil $n_{Motor} \ll n_{Hebel}$



$$\begin{aligned}
 E_{\text{Spann-Ansetzbg}} &= E_{\text{Spann-Abschuss}} + E_{\text{kin}} \\
 \Rightarrow E_{\text{kin}} &= \Delta E_{\text{Spann}} \\
 \Rightarrow \frac{1}{2} J \cdot \dot{\varphi}^2 &= \frac{1}{2} D \cdot (\varphi_0^2 - (\varphi_0 - \Delta\varphi)^2) \\
 \Leftrightarrow J \cdot \dot{\varphi}^2 &= D \cdot (2\varphi_0 \Delta\varphi - \Delta\varphi^2) \\
 \Rightarrow D &= \frac{J \cdot \dot{\varphi}^2}{2\varphi_0 \Delta\varphi - \Delta\varphi^2} \\
 M_{\max} &= D \cdot \varphi_0
 \end{aligned}$$

Ergebnisse	Geschwindigkeit Schuss	v	33.650 m/s
	Masse Hebel	m	1.400 kg
	Länge Hebel	r	0.500 m
	Massenträgheitsmoment	J	0.088 kgm ²
	Winkelgeschwindigkeit Schuss	omega	67.300 rad/s 642.668 U/min
	Winkel bis Abschuss	deltaPhi	270.000 grad 4.71239 rad
	Spannwinkel	Phi0	550.000 grad 9.59931 rad
	Direktionsmoment	D	5.806 Nm/rad 0.101 Nm/ [°] 101.326 Nmm/ [°]
	Drehmoment	M	55.729 Nm
	Drehzahl Motor konst	n Motor	8.378 rad/s
	Leistung Motor	P Motor	466.875 W

Weil es sich um einen Schlag auf den Ball handelt, ist die Abschussgeschwindigkeit des Hebels geringer als die Abschussgeschwindigkeit des Balls. Der Wert werde vom Kapitel 5.2.2 übernommen.

Die meisten Angaben der Ergebnisse sind Annahmewerte, da noch keine konkrete ausgearbeitete Modelle existieren. Die Werte wurden versucht so abzustimmen, dass eine Standard-Feder (Art.No SPF-0939)-von „durovis“ eingesetzt werden könnte. Es würde also Federn mit diesen Werten existieren.

Auswertung Die Ergebnisse sind plausibel und das Teilkonzept machbar.

Die Eingabewerte sind möglicherweise etwas schwierig zu erreichen, weil u.a. der Hebel einerseits sehr leicht sein muss und andererseits zum Abbremsen grosse Schläge aushalten muss. Die Reibung ist darüber hinaus auch ein Faktor der bei genaueren Untersuchungen berücksichtigt werden müsste.

4.3.7 Beschleunigen mit Druckluft (F5V6)

In einer Turnhalle ist in der Regel kein Druckluftanschluss für die Maschine erreichbar. Eine integrierte Drucklufterzeugung und -aufbereitung wäre nicht vereinbar mit dem geforderten Investment, Gewicht und Lärmemission.

Aus diesen Gründen wird die Variante verworfen!

5 Entwerfen

5.1 Zusammenfassung

Inhalt	In der Entwurfsphase war der erste Schritt die Entwicklung einiger Grobentwürfe. Diese wurden anschliessend mit einer Nutzwertanalyse bewertet und miteinander verglichen. Aus diesen Vergleichen wurde eine Variante ausgewählt und ein Detailentwurf gestaltet.
--------	---

5.2 Grobentwürfe

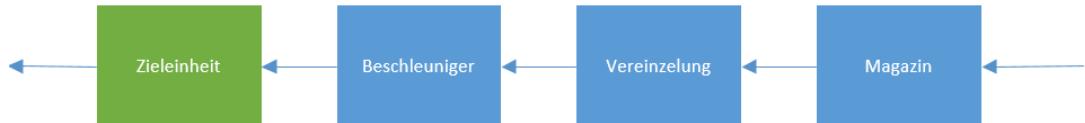
5.2.1 Grobentwurf 1

Grundgedanke



Bei diesem Grobentwurf wurde eine kompakte und möglichst einfache Bauweise angestrebt. Man hat versucht mit möglichst wenig bewegten Teilen und wenig Antrieben zu arbeiten um somit ein maximaler Nutzen bei minimalem Aufwand zu erzielen.

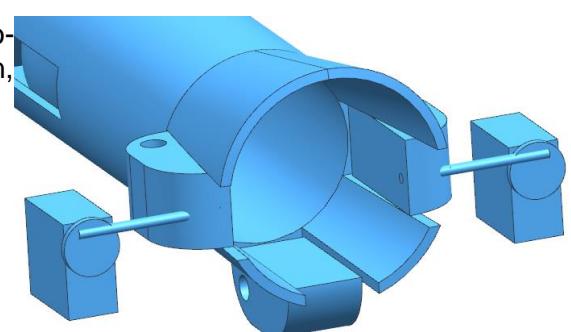
Aufbau F1V1



Eine ortsfeste Zieleinheit ermöglicht eine einfache Konstruktion.

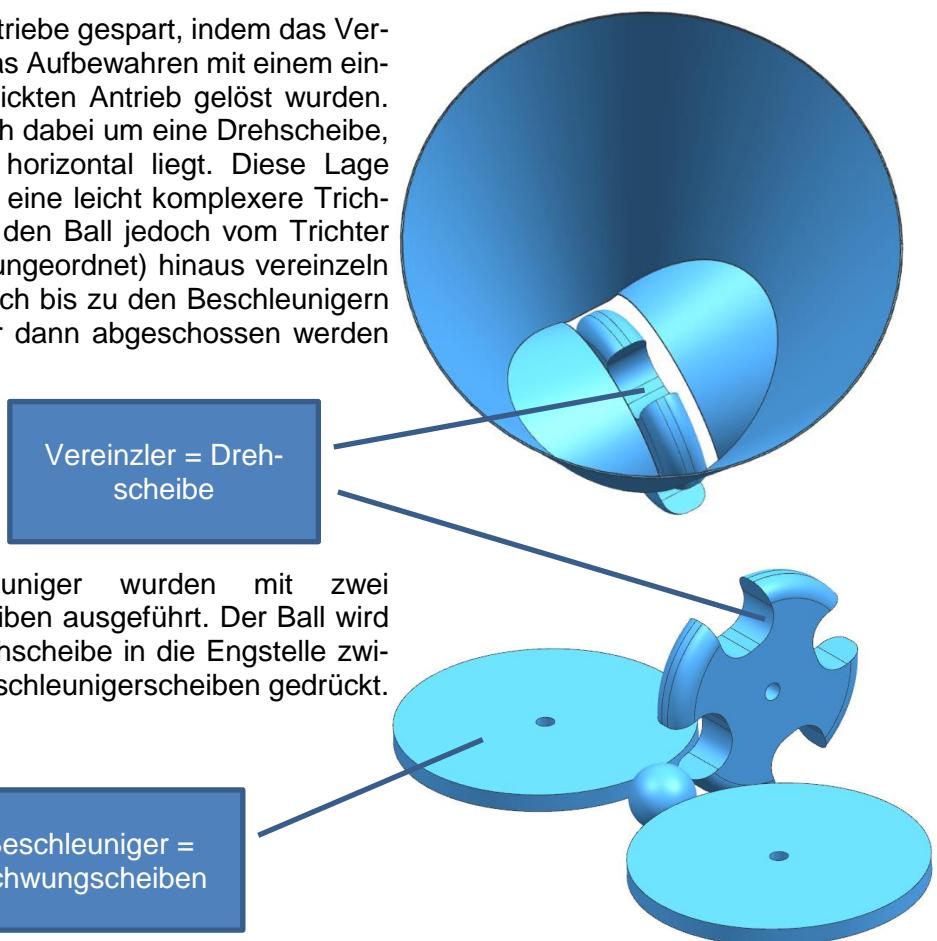
Zielen F3V4

Das Zielen wurde mit Modellbau-Servomotoren geplant. Sie sollen 3 Klappen bewegen, die den Ball entsprechend ablenken



Vereinzeln F2V2 Es werden Antriebe gespart, indem das Ver- und Aufbewahren einzeln und das Aufbewahren mit einem einzelnen, geschickten Antrieb gelöst wurden.

F5V1 Es handelt sich dabei um eine Drehscheibe, deren Achse horizontal liegt. Diese Lage sorgt zwar für eine leicht komplexere Trichterform, kann den Ball jedoch vom Trichter (Bälle liegen ungeordnet) hinaus vereinzeln und ihn zugleich bis zu den Beschleunigern fördern, wo er dann abgeschossen werden kann.



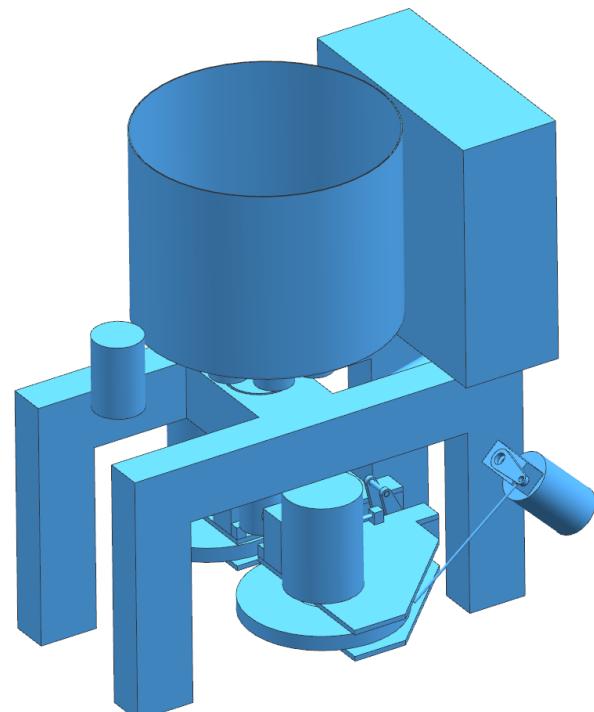
Beschleunigen F4V1

Die Beschleuniger wurden mit zwei Schwungscheiben ausgeführt. Der Ball wird durch die Drehscheibe in die Engstelle zwischen den Beschleunigerscheiben gedrückt.

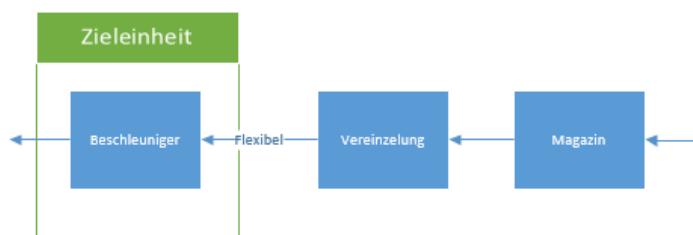
5.2.2 Grobentwurf 2

Grundidee

Bei diesem Grobentwurf wird versucht die Funktion bestmöglich zu erfüllen. Ziel war es, Lösungen einzusetzen, welche einerseits bewährt sind und andererseits höchste Genauigkeit und Geschwindigkeiten fahren können.

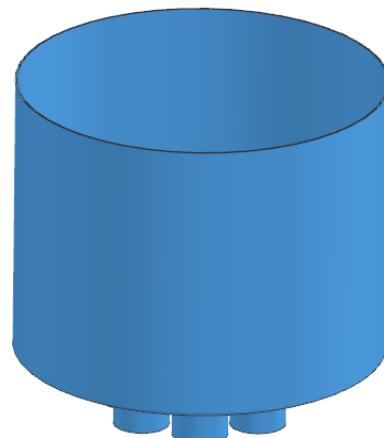


Aufbau F1V5

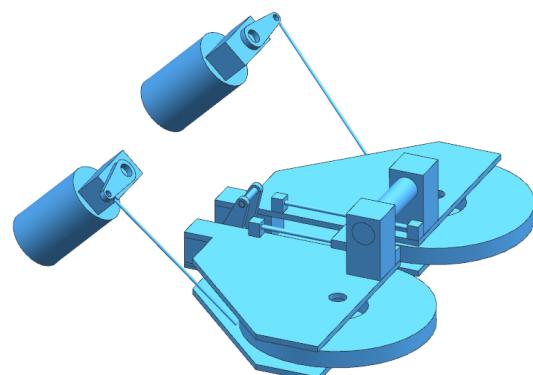


Ein bewegter Beschleuniger soll eine geringe Streung erzielen

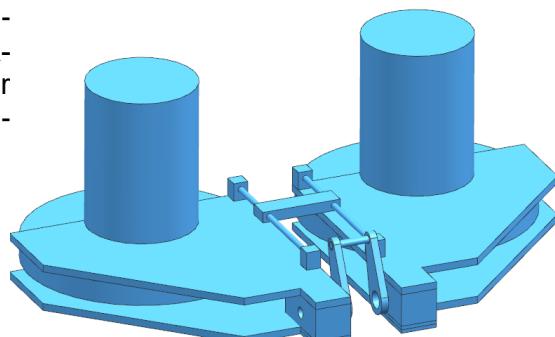
- Bälle aufbewahren F5V1** Die Bälle werden in einem grossen Trichter ungeordnet aufbewahrt. Mit einer Drehscheibe (Achse horizontal) werden die Bälle hintereinander in einem flexiblen Schlauch aufgereiht.



- Zielen F3V6** Die Zielvorrichtung wird über ein Pleuel-Paar gelöst.



- Beschleunigen F4V1** Das Beschleunigen wurde über zwei Drehschreinen gelöst.



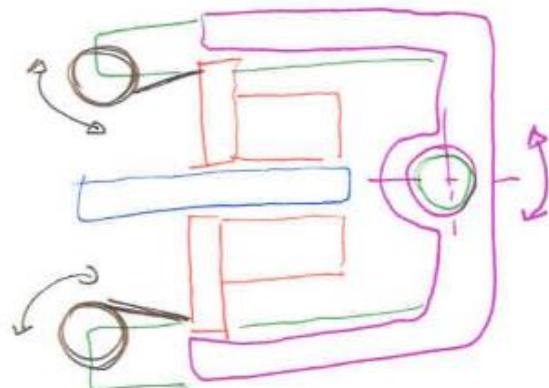
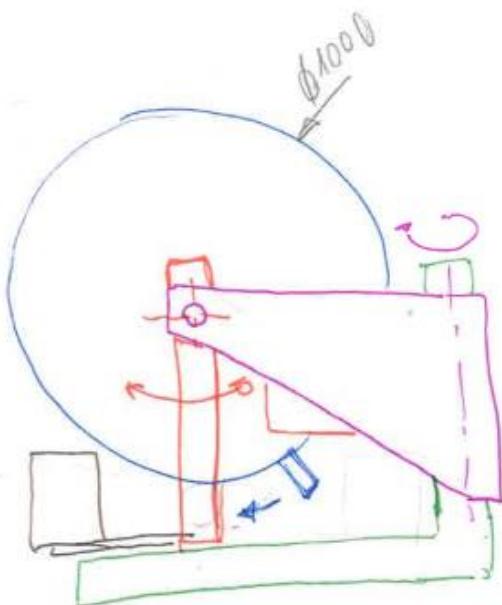
- Vereinzen F5V5** Damit die Bälle von den schnell drehenden Drehscheiben nicht „zurückspicken“, werden die Bälle mit einer Schubkurbel zwischen die Drehscheiben gestossen

5.2.3 Grobentwurf 3

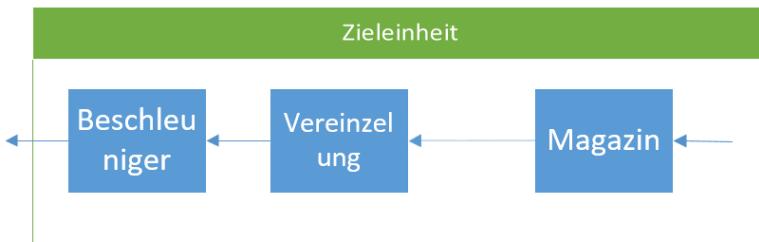
Grundidee Es wurde eine Lösung angestrebt, welche ein Beschleunigen über einen Schlag von hinten auf den Ball erzielt.

Die im Magazin aufgereihten Bälle werden unter die Drehscheibe geführt. Von dort aus werden sie einzeln über einen Mechanismus sehr schnell in die Abschusszone bewegt. Von dort werden sie durch einen Schläger, der sich an dem Beschleuniger befindet auf Abschussgeschwindigkeit gebracht.

Interessanterweise hat dieses Konzept weniger Antriebe (nur 3!) als der Grobentwurf 1, bei dem gezielt eine Konstruktion mit wenigen Antrieben angestrebt wurde.

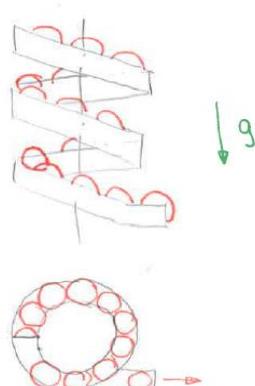


Aufbau (F1V4)



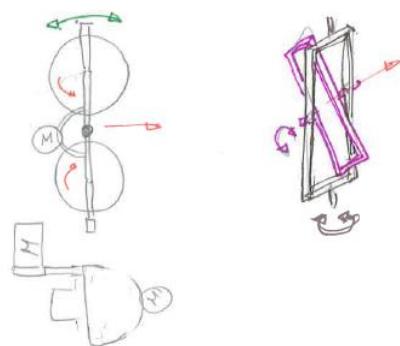
Die Magazinart ermöglicht eine leichte Bauform. Deshalb wurde der Aufbau so gewählt, dass von Magazin bis Beschleuniger alles durch die Zieleinheit bewegt wird. Somit entstehen einfachere Schnittstellen.

Bälle aufbewahren (F2V6)



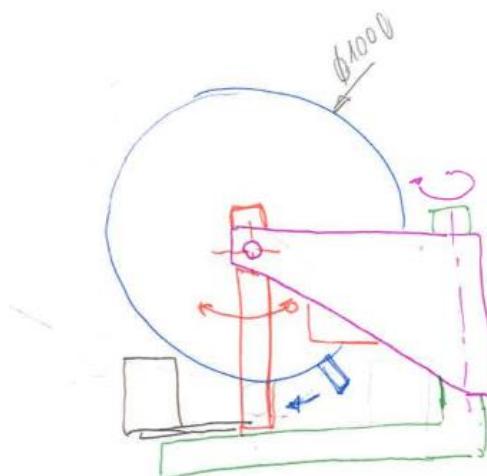
Diese Magazinvariante bot sich vor allem für diesen Entwurf an, weil sie die Bälle bereits hintereinander aufgereiht hat. Das harmoniert gut mit der Vereinzelungsmethode F5V7.

Zielen (F5V1)



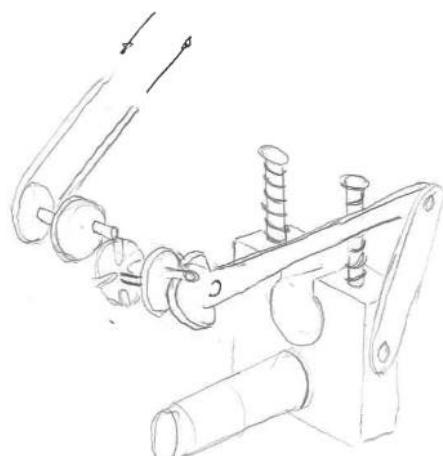
Wegen der vermutlich eher grossen Masse, welche durch die Zieleinheit bewegt wird, bot sich die Variante mit zwei Lagerungen mit fester Verbindung zu den Antrieben an.

Beschleunigen (F4V3)



Der Ball wird über einen Schlagimpuls beschleunigt. Dafür sorgt eine kontinuierlich rotierende Scheibe mit horizontaler Drehachse

Vereinzeln F5V7



Problematisch bei diesem Konzept ist, dass die sehr schnell drehende Scheibe einen sauberen Schlag auf den Ball bewirkt. Damit das passiert, muss der Ball nämlich innerhalb nur einer Scheibenumdrehung in Abschussposition gebracht werden. Und zwar genau in der Zeit, in der sich der „Hammer“ nicht bei der Abschussposition befindet.

Ist das nicht der Fall und ist der Ball beispielsweise noch auf halbem Weg wenn der „Hammer“ an der Abschussposition vorbeizieht, wird er eingeklemmt, wodurch er zerstört oder die Scheibe abrupt abgebremst wird.

Fazit: Es muss eine schnelle Bewegung mit extrem hohen Beschleunigungen perfekt getimet ausgeführt werden, was steuerungstechnisch und mit separaten Antrieben sehr schwer realisierbar ist (Scheibe mit 1m Durchmesser dreht sich in 0.9 Sekunden um 360°).

Die Idee ist also eine mechanische Koppelung zwischen Drehscheibe und Ballzuführung mit Schrittgetrieben (z.B. Malteserkreuze). Durch diese Koppelung entsteht jedoch der Nachteil, dass Schusskadenz und Schussgeschwindigkeit voneinander abhängig sind.

5.3 Nutzwertanalyse

Aufbau

Die Nutzwertanalyse soll die verschiedenen Grobkonzepte miteinander verglichen.

Die Gewichtung (G) wurde durch Christof Mauerer ausgefüllt, da er als Repräsentant für den Kunden die Wichtigkeit der einzelnen Kriterien am besten beurteilen kann. Die Erfüllungsgrade wurden dann vom Team ausgefüllt. Kriterien, welche nicht durch die Konstruktion beeinflusst werden (z.B.: „KO7: Möglichst intuitive Bedienbarkeit“) oder welche in denen der Erfüllungsgrad aufgrund des Grobentwurfs nicht beurteilt werden kann (z.B.: „TO5: Möglichst grosse Mobilität auf unterschiedlichem Untergrund“), werden mit dem Erfüllungsgrad 0 gekennzeichnet. Dadurch ergab sich folgende Tabelle:

Ergebnis

Nr	Optimierungskriterien	G	Grobentwurf 1		Grobentwurf 2		Grobentwurf 3		
			E	GxE	E	GxE	E	GxE	
TO1	Möglichst kompakte Bauweise	6	8	48	5	30	4	24	
TO2	Möglichst tiefe Abschussposition	10	8	80	7	70	6	60	
TO3	Möglichst hohe Ziel- und Wiederholgenauigkeit	8	3	24	7	56	10	80	
TO4	Möglichst schonender Umgang mit Bällen	9	4	36	6	54	10	90	
TO5	Möglichst grosse Mobilität auf unterschiedlichem Untergrund	3	0	0	0	0	0	0	
TO6	Schnelles und einfaches Befüllen mit Bällen	8	10	80	10	80	3	24	
TO7	Möglichst leiser Betrieb	4	5	20	7	28	3	12	
TO8	Möglichst Leicht	6	9	54	4	24	2	12	
TO9	Programmierbarer Schussablauf	5	0	0	0	0	0	0	
TO10	Möglichst schüttelfrei	3	8	24	7	21	5	15	
KO1	Möglichst günstig in der Serie	4	7	28	6	24	4	16	
KO2	Möglichst hohe Lebensdauer	8	9	72	8	64	4	32	
KO3	Möglichst Verwendung von Standard- und Normteile bevorzugen	2	5	10	5	10	4	8	
KO4	Möglichst einfache Reparatur möglich	2	7	14	5	10	4	8	
KO5	Herstellmöglichkeiten der HSR Werkstatt favorisieren	1	8	8	8	8	8	8	
KO6	Möglichst wenig Verschleissteile	3	10	30	9	27	7	21	
KO7	Möglichst einfache intuitive Bedienbarkeit	8	0	0	0	0	0	0	
KO8	Möglichst ansprechendes Design	4	8	32	8	32	10	40	
KO9	Möglichst vielseitig (Variation von Geschw., Kadenz, Richtung)	10	9	90	9	90	9	90	
		Max. Punktzahl		650		628		540	

G= Gewicht (1..10)

E= Erfüllungsgrad

Auswertung

Der Grobentwurf 1 hat knapp am besten abgeschlossen. Entscheidend dafür war seine leichte Überlegenheit in den wirtschaftlichen Kriterien gegenüber den anderen Entwürfen. Ebenso ist er den anderen Entwüfen in Kompaktheit und dem Gewicht überlegen.

Der Grobentwurf 2 ist nach Nutzwertanalyse dem Grobentwurf 1 praktisch ebenbürtig. Er punktet, wie erwartet, besonders in den technischen Kriterien und erzielt auch sonst solide Erfüllungsgrade.

Der Grobentwurf 3 fällt eher schlecht aus. Es wird erwartet, dass das „Schlagimpuls-System“ grosse Vorteile in den stark gewichteten Ziel- und Wiederholgenauigkeit (TO3) und beim Schonenden Umgang mit den Bällen (TO4) aufzeigt. Leider streicht das Konzept viele Punkte durch die komplizierte und aufwändige Vereinzelung mit dem mechanischen Koppelung ein. Leider kann auf diese kaum verzichtet werden.

5.4 Funktionsmuster

Grund

Die Stärke vom Grobentwurf 1 liegt insbesondere in der Zuführung und Vereinzelung mit der Drehscheibe. Damit diese Variante also ernsthaft in Betracht gezogen werden kann, wollte man die Funktionalität mit einem Funktionsmuster überprüfen.

3D-Druck

Das Funktionsmuster wurde mit einem 3D-Druck ausgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass die Teile leicht wieder demontiert werden können, aber dennoch gut zusammenhalten. Außerdem wurde es vermieden, Stützstrukturen zu verwenden. Diese führen zu unschönen Oberflächen und ungenauen Massen.

Weil es wichtig ist, dass das „Fördergut“ (Bälle) möglichst rund und glatt sind, wurden Murmeln mit 16mm Durchmesser verwendet.



Erkenntnis

Das Funktionsmuster funktionierte einwandfrei. Es wurden immer alle Kammern in der Drehscheibe mit Murmeln gefüllt, bis der Behälter leer war. **Die Funktionalität des Grundprinzips wurde durch das Funktionsmuster bewiesen.**

Teilweise hat die runde Trichterform dazu geführt, dass sich die Murmeln in einem Bogen entlang dem Ecken zwischen Boden und Zylinderwand angeordnet haben. Das hat dazu geführt, dass sie durch die stabile Lage nicht in die Mitte gerollt sind, wo die Drehscheibe Zugang hat. Dieses Problem würde bei einer rechteckigen Trichterform nicht eintreten.

5.5 Entscheid

Entscheidung

Für den Konzeptentscheid wurde eine Sitzung mit Hp. Gysin angesetzt. In dieser Sitzung kam das Team und Hp. Gysin zu der Einigung, dass der **Grobentwurf 1** die grössten Chancen für einen Erfolg bietet. Wichtige Gründe für den Entscheid waren:

- Bestes Ergebnis in der Nutzwertanalyse
- Konstruktion hat wenig Risiken weil sie auf einfache Bewegungen setzt
- Einfache Konstruktion, dadurch kostengünstig und zeitsparend

6 Ausarbeiten

6.1 Antriebe

Anforderungen	<p>Insgesamt werden drei verschiedene Antriebe benötigt.</p> <p>Die Antriebe für die Beschleunigungsscheiben müssen mit hoher Drehzahl und hoher Leistung die Bälle innert kurzer Zeit von null auf 180 km/h beschleunigen können.</p> <p>Die Drehscheibe wird mit einem Antrieb gesteuert. Die Drehzahl soll zwischen 0 und 20 min⁻¹ geregelt werden können. Die Belastung für diesen Antrieb ist nicht sehr gross da lediglich die Bälle gefördert werden müssen.</p> <p>Für die Zielvorrichtung werden drei Servos benötigt. Einer für Schüsse für nach oben und zwei weitere für Schüsse nach links und rechts. Weil direkt auf die Zielklappen geschossen wird, wird die Kraft von den Servos abgefedert. Aus diesem Grund sollte das Getriebe aus Metall sein um die Schläge auszuhalten. Sie sollten eine hohe Stellgeschwindigkeit und möglichst kompakte Bauweise haben.</p>
----------------------	--

Wahl der Motortypen

	Gleichstrommotor	Reluktanz Motor	Synchronmotor	Asynchronmotor
Skript ElAn	Regelbare Antriebe mit grossem Stellbereich und guter Dynamik	Verstellantriebe kleiner Leistung ohne Regelung	Antriebe mit konstanter Drehzahl und gutem Leistungsfaktor	Einfache Antriebe und regelbare Antriebe mit beschränkter Dynamik
Eigene Recherche	Sehr verbreitet, hohe Vielfalt, hochdynamische Anwendungen realisierbar. Kompakt. Gute Leistungsdichte	Kaum Standards gefunden. Nach Internetrecherche war es schwierig Lieferanten zu finden. Siemens und ABB bieten nur grosse Motoren an.	Ansteuerung meist über komplizierte Bussysteme (ungeeignet für Arduino). Ähnliche Preise wie für Gleichstrommotor.	Kaum verfügbar mit P<1000W. Geringe Leistungsdichte. Drehzahlregelung begrenzt möglich.

Die Wahl fiel auf Gleichstrommotoren, da die gute Eignung für dynamische Antriebssysteme und die Leistungsdichte gut zu den Anforderungen passen. Es wurde für Beschleuniger und Vereinzler der gleiche Motortyp verwendet. Die hohe Verfügbarkeit ist ausserdem ein grosser Vorteil.

6.1.1 Antrieb Beschleuniger

Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Motoren, gleiche Drehzahl, gleiche Belastung • Drehzahlbereich = 800 – 4000 1/min (regelbar) • Beschleunigen/Abbremsen = 50 rad/s² • Genauigkeit Drehzahl = +/- 10% • Belastungsart = Impulsförmig
----------------------	---

- Leistung: ca. 350W
- Impuls = 1.15 Ns (verlustfrei gerechnet)
- Impuls-Abstände = max. 0.75s
- Trägheit Last ca. 15'000 kg*mm^2
- Weitere Angaben siehe Kaptiel 6.5 Berechnungen

Lösung

Der Entscheid fiel auf den **ECI 63.60-K4** Motor von ebm Papst. Es handelt sich um einen bürstenlosen DC Motor mit integrierter Steuerelektronik.

Technische Beschreibung	
Nennspannung	48 V
Nenndrehzahl	4000 min ⁻¹
Nennmoment	850 mNm
Stromaufnahme	8,6 A
Leistungsabgabe	356 W
Min. Umgebungstemperatur (Betrieb)	0 °C
Max. Umgebungstemperatur (Betrieb)	+40 °C
Allgemeine Beschreibung	Antrieb mit komplett integrierter 4Q Betriebs- und Regelelektronik K4. Drehzahl-, Positionier- oder Drehmomentmodus möglich. Auswahl der Betriebsmodi und Parametrierung über RS485. Umfangreiche Schnittstelle mit diversen Ein- und Ausgängen. Freischaltung der Endstufe über digitalen Eingang 'Hardware-Enable'. Integrierter Bremschopper. Drehzahlsollwerte von n = 0 mit Haltemoment bis 5 000 U/min möglich. Feldorientierte Regelung. Hohe Schutzart IP54, 15-poliger Anschlußstecker (M16). Anwenderfreundliche Parametrierung über PC-Software 'Kickstart' möglich.
Länge	158.5 mm
Masse	1.5 kg
Durchmesser	63 mm
Bestell-Nr.	932 6360 402
Schutzart	IP 54

Abbildung 10 Technische Daten ECI-63.60-K4

Begründung

Der Motor erfüllt die benötigte Leistung und Nenndrehzahl. Die Integrierte Elektronik lässt sich mit einem analogen Signal von einem Mikrocontroller ansteuern. Auch über Bus Verbindungen wie RS485 oder CAN kann der Motor gesteuert werden. Falls nachträglich eine SPS Steuerung integriert wird, kann der Motor auch damit einfach angesteuert werden. Über die Software „Kickstart“ vom Hersteller können die Parameter angepasst werden.

6.1.2 Antrieb Drehscheibe

Anforderungen

- 1 Antrieb
- Drehzahlbereich = 0-20 1/min
- Bewegte Masse = ca. 4kg
- Genauigkeit Drehzahl = +/- 20%

- Drehrichtung = gleichbleibend
- Belastung = gering (förderst Bälle)

Lösung

Der **ECI 42.40-B00-K1** von ebm Papst ist ein bürstenloser EC Motor und hat bereits ein Planetengetriebe mit der für die Anwendung passenden Übersetzung. Für die Steuerung wird eine externe Steuereinheit benötigt welche ebenfalls vom Hersteller bezogen werden kann. Die Drehzahl kann mit einem pulsweitenmodulierten Signal angesteuert werden welches von einem Arduino kommen kann.

Eigenschaften der Antriebslösung		
Typ	Einheit	Wert
Bestellnummer	-	42.3.E4240.P10
Abgabeleistung	W	53.0
Abtriebsdrehmoment	Nm	19.0
Abtriebsdrehzahl	U/min	26.7
max. Radiallast	N	250
max. Axiallast	N	150
Lebensdauer	CB=1	5000
Gewicht	kg	0.9
Laenge	mm	180
Umgebungstemperatur	-	0°C bis +40°C
Schutzart	-	IP 40

Motor		
Typ	Einheit	Wert
Motorart	-	Bürstenloser EC-Motor, Innenläufer
Motorbezeichnung	-	ECI-42.40-B00-K1
Spannung	V	24 V DC
Motordrehzahl	U/Min	4000
Nennleistung	W	92.0
Nennstrom	A	5.1
Drehmoment	Ncm	22.0
Betriebskondensator	-	nein
Motorgewicht	kg	0.48

Getriebe		
Typ	Einheit	Wert
Getriebetyp	-	Planetengetriebe
Getriebebezeichnung	-	Performax 42
Getriebestufen	-	3
Untersetzung	i	150.0
max. Nennmoment	Nm	19.0
Wirkungsgrad	-	73%
Abtriebswellenlagerung	-	kombinierte Gleit- Kugellagerung
Schmierung	-	Fettfüllung auf Lebensdauer
Getriebespiel	-	ca. 0,7° bis 1,2°

Abbildung 11 Technische Daten ECI 42.40-B00-K1

Begründung Weil die Antriebe von ebm Pasat bezogen werden ist, es einfacher den Motor für die Drehscheibe ebenfalls von diesem Hersteller zu beziehen. Das passende Getriebe ist bereits integriert und die Steuerung kann mit dem Mikrocontroller angesteuert werden.

6.1.3 Antrieb Zielvorrichtung

- Anforderungen**
- 3 Antriebe, Position separat regelbar
 - Verfahrwinkel = 90/180°
 - Zeit für Winkel = ca. 0.6s
 - Bewegte Masse = ca. 50g
 - Genauigkeit Position = ca. +/- 2°
 - Belastungsart = wechselnd, dynamisch

Lösung Der passende Servo für die Anwendung ist der **HS-8775MG** von Hitec. Mit dem Metall Getriebe und doppeltem Kugellager ist er robust genug für die Zielvorrichtung. Mit der hohen Stellgeschwindigkeit und niedrigen Bauart ist dieses Model die ideale Wahl

SPEZIFIKATIONEN

Servos

Max. Stellgeschwindigkeit	0.12 s @ 4.8 V, 0.10 s @ 6.0 V
Max. Stellkraft	7.9 kg @ 4.8 V, 9.0 kg @ 6.0 V
Servo-Grösse	Low Profile
Servo-Technologie	Digital

Dimensionen

Breite	21 mm
Höhe	25.4 mm
Tiefe	40.4 mm
Gewicht	45 g
Abmessungen	21 mm (B) x 25.4 mm (H) x 40.4 mm (T)

Weitere Informationen

Material	Metall
Set	Nein

Motoren

Motorart	Coreless
----------	----------

Antrieb

Programmierbarkeit	nein
--------------------	------

Allgemein

Lagertyp	Doppelt Kugelgelagert
----------	-----------------------

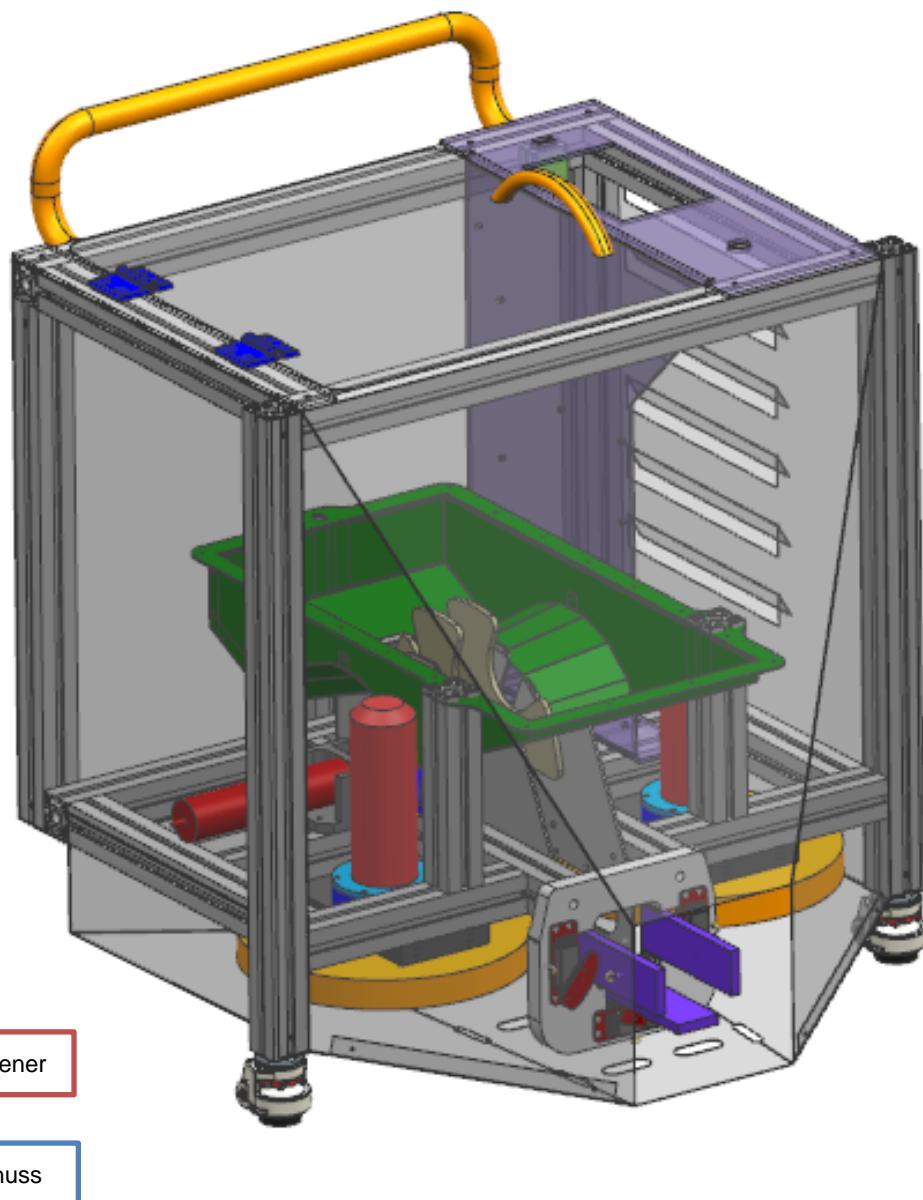
Abbildung 12 Technische Daten HS-8775MG Hitec

Begründung Der Servo erfüllt alle Anforderung und ist stabil genug die fliegenden Bälle abzulenken.

6.2 Konstruktion mechanisch

Allgemein Im folgenden Kapitel wird die ausdetaillierte Konstruktion genauer beschrieben. Es werden konstruktive Entscheidungen begründet und reflektiert.

Es gilt auch hier: Es wurde versucht einen möglichst guten Prototyp zu gestalten. Für Serienprodukte müssen gewisse Standpunkte überdacht werden.



Umfang

Die Konstruktion beinhaltet den Grossteil der mechanischen Teile. Nicht im 3D-Modell aufgenommen wurden folgende Teile:

- Trichter-Oberteil
- Norm-Teile (Schrauben, Muttern, Sicherungsringe, Passfedern)
- Profilbausystem-Zubehör (Nutensteine, Verbinder, Deckel)
- Elektronische Bauteile und Steuerungselemente (Netzteile, Reihenklemmen, Micro-Controller, Touchscreen, Schalter, Steckdosen)
- Kabel und Kabelführungen (Kabelkanäle, diverse Power- und Signalkabel)

Differenzialbauweise

Erfahrungsgemäss hat sich im Prototypenbau und bei Einzelfertigungen die Differenzialbauweise bewährt. Dadurch können unpassende oder fehlerhafte Teile günstiger ersetzt werden und die Anlage kann leichter angepasst werden. So kann der Prototyp laufend verändert, optimiert und entwickelt werden, ohne dass dabei die ganze Konstruktion neu beschafft werden muss.

Lösbare Verbindungen Aus ähnlichen Gründen wie der Differentialbauweise wurde zugunsten der Austauschbarkeit und Verstellbarkeit der Teile auf lösbare Verbindungen gesetzt.

Aluminium

Der Grossteil der Konstruktion wurde aus Aluminium gebaut. Das Leichtmetall bot sich an, da es eine gute Balance aus Festigkeit, Dichte, Korrosionsbeständigkeit und Formtreue (keine Relaxion / Kriechen) bietet. Günstiger Nebeneffekt ist, dass das Profilbausystem aus Aluminium ist und somit weniger Kontaktkorrosion entstehen kann.

6.2.1 Gerüst / Chassis

Beschreibung

Das Gerüst ist die Basis der ganzen Konstruktion. Sie sorgt dafür, dass die Anlage statisch stabil ist und alle Komponenten angebracht werden können.

Ansicht

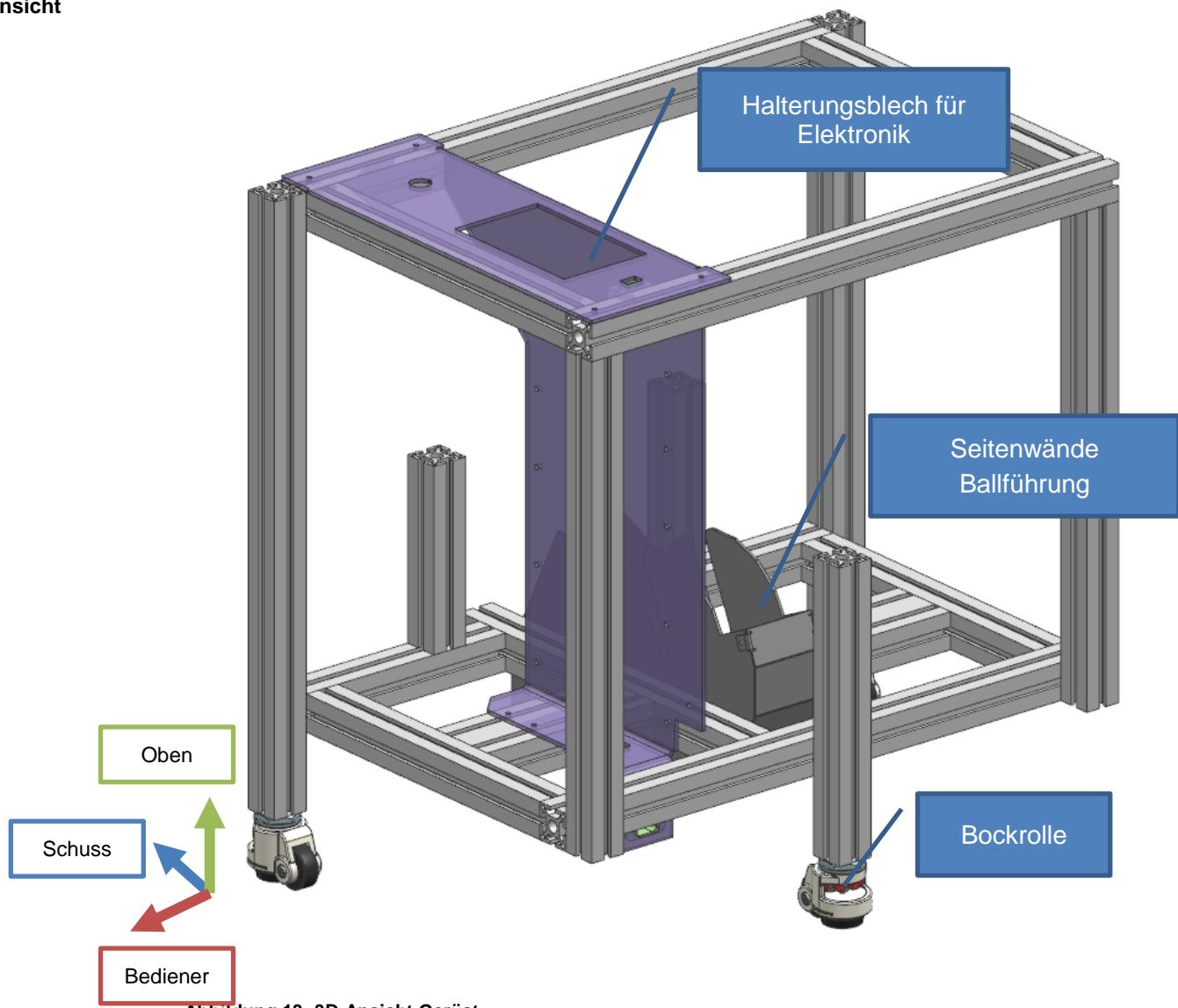


Abbildung 13: 3D-Ansicht Gerüst

Das Profilbausystem- Die Struktur des Gerüsts wurde aus Leichtbau-Profilen der Firma Kanya gestaltet. Folgende Vorteile waren dafür ausschlaggebend:

- Hohe Flächenträgheitsmomente im Vergleich zum Gewicht
- Standardisierte Bauteile können mit vielen Verbindungselementen ergänzt und erweitert werden
- Lösbarer Verbindungen für allfällige Justierungen oder Austausch von Elementen
- Wiederverwendbarkeit nach Gebrauch
- Schnelle Montage

Die Profile wurden so angeordnet, dass fast alle Abstände und Distanzen verändert werden können, ohne dass dadurch ein Profil ersetzt werden muss. Diese Eigenschaft schien wichtig, da es sich um ein Prototyp handelt und gewisse Parameter experimentell herausgefunden werden müssen. Beispielsweise wäre das die Breite der Ballführung, die durch die Seitenwände verstellt werden kann.

Außerdem sind die Nuten so ausgerichtet, dass weitere Baugruppen ebenfalls bei Bedarf verschoben werden können. Das ist zum Beispiel bei den Beschleunigungsscheiben wichtig, da die optimale Scheibenbeschaffenheit nur experimentell bestimmt werden kann. Durch die variable Scheibendistanz können unterschiedliche Materialien an der Scheibe angebracht werden. Weiterhin kann dadurch eingestellt werden, wie stark der Ball zwischen den Scheiben „eingeklemmt“ werden soll um sie zu passieren.

Elektronik Für die Elektronik ist es hilfreich, wenn alle Komponenten auf dem gleichen Bauteil sitzen. Dieses sollte stabil und gut zugänglich sein. Dies ist mit dem Halterungsblech gut gelungen. Der Platz für die Komponenten wurde anfangs grosszügig ausgelegt. Diese Entscheidung war goldrichtig, denn im Testverlauf wurde er dann jedoch für unvorhergesehene Bauteile (Netzteil 5V) benötigt.

Die Konstruktion weist außerdem Platz für Kabelkanäle auf. Diese sind enorm wichtig für eine saubere und geschützte Verkabelung.

Bockrollen Als Füsse wurden Bockrollen von Blickle verwendet. Der grosse Vorteil dieser Rollen ist, dass in der Rolle integrierte Stützen vorhanden sind. Diese lassen sich ohne Werkzeug herausschrauben, sodass das Rad dann in der Luft hängt. Das Chassis steht dann sehr stabil auf den breiten Vollgummistützen. Außerdem sind die Rollen frei schwenkbar, was eine hohe Manövrierefähigkeit der Anlage garantiert.



Achtung: Stützen (nicht jedoch Rollen) können Striche auf Boden hinterlassen. Im montierten Zusand trat das Problem nicht mehr auf, da die Flache Auflage und das Gewicht der Konstruktion überhaupt kein Rutschen zugelassen hat.

Abstreifer für Bälle Sollten die Bälle die Drehscheibe nicht kontrolliert verlassen können, so sind Löcher an den Seitenwänden der Ballführung angebracht. Dort wäre eine Art Abstreifer (ähnlich wie beim Funktionsmuster) denkbar. Solange dies nicht notwendig ist, können die Löcher auch unbenutzt bleiben.

Stärken der Baugruppe

- Nur lösbar Verbindungen
- Sehr stabil
- Sicherer Stand durch drei Bockrollen
- Hohe Manövrierbarkeit durch 360° schwenkbare Rollen
- Grossteil der Steuerungskomponenten auf einem Blech

6.2.2 Zielvorrichtung / „Mündung“

Beschreibung

Die Zielvorrichtung lenkt den Ball in die gewünschte Richtung um. Dabei soll der beschleunigte Ball durch die Mündungsklappen in seiner Flugbahn so abgelenkt werden, dass er beim Verlassen dieser Passage in die gewünschte Richtung fliegt.

Ansicht

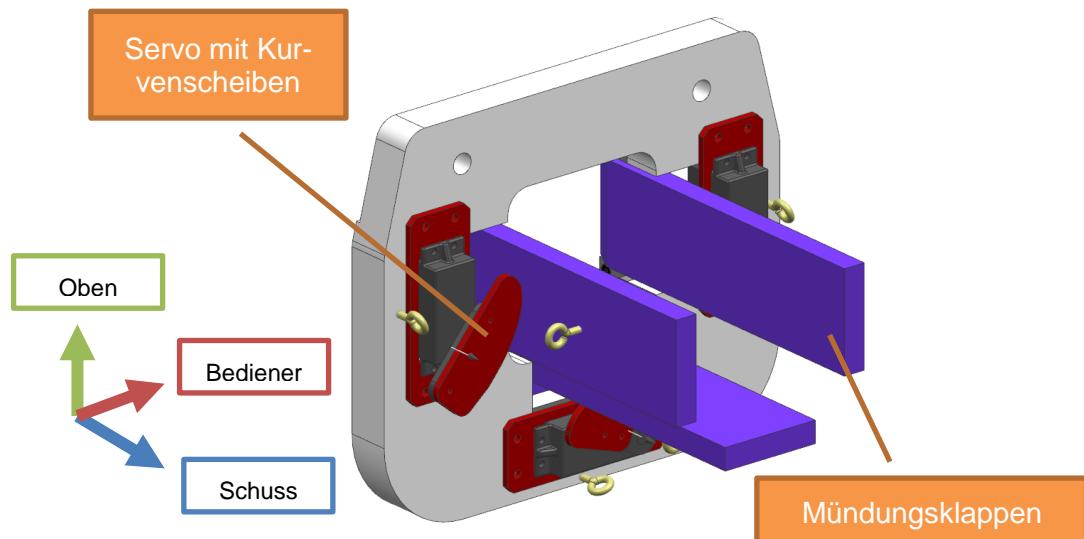


Abbildung 15 3D-Ansicht Zielvorrichtung 1

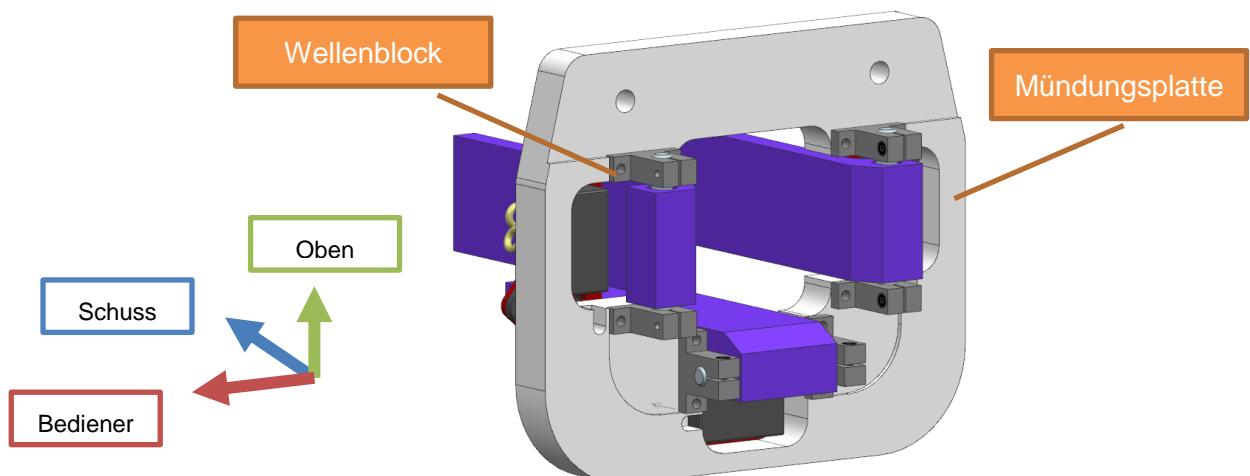


Abbildung 16 3D-Ansicht Zielvorrichtung 2

Foto

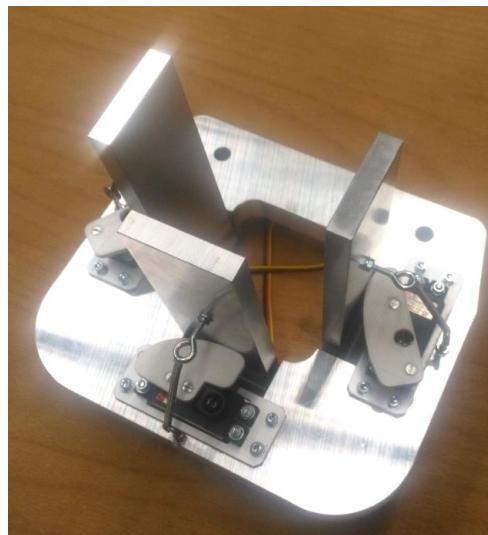


Abbildung 17 Foto Zielvorrichtung

Öffnungsgrösse Analog zur Breite der Ballführung beim Gerüst wurde die Öffnungsgrösse bei gerader Schussrichtung (Mündungsklappen stehen auf 0° = parallel zur Ballführung vor der Mündung) auf 75mm gewählt.

Mündungsklappen Die Mündungsklappen scheinen relativ lange zu sein. Diese Länge ist notwendig, weil der Ball bei der am weitesten zur Klappe entfernten (geraden) Flugbahn, immernoch für die Klappen erreichbar ist (bis ca. 1° möglich). Sprich; wenn der Ball die obere Kante der Führungsöffnung streift, kann er durch die untere Klappe um 1° nach oben abgelenkt werden. Wäre die Klappe kürzer, so wäre das nicht möglich.

Kurvenscheiben Die Mündungsklappen werden durch Kurvenscheiben bewegt. Diese werden lösbar (Holzschrauben) auf die Servo-Welle montiert. Die Kurvenscheibe hat einen elliptische Umriss auf der Kontaktlinie zur Klappe. Dreht sich der Servo in Zustellrichtung, so muss die entsprechende Mündungsklappe nach innen weichen. Dreht sich der Servo entgegengesetzt zur Zustellrichtung, so kann die Klappe durch eine Zugfeder nach aussen bewegen. Dadurch bleibt der Kontakt zwischen Kurvenscheibe und Klappe bestehen.

Grund für diese Bauweise ist der gute Kraftfluss für die Klappen. Die Kurvenscheibe kann ruckfreie Bewegungen auf die Klappe geben und wirkt dabei mit einem relativ grossen Hebel. Ausserdem müssen die Antriebe nicht gebremst werden, was zum bespiel bei einem Antrieb mit Stirnräder nötig wäre. Besonders bei der unteren Klappe ist das wichtig, weil das durch die Schwerkraft wirkende Moment auf die Drehachse erheblich ist. Die durch diese Variante entstehenden Radialkräfte auf die Servo-Welle wird nicht als kritisch angesehen, weil der Servo ein robustes Metall-Getriebe mit Kugellagerung aufweist. Die Schläge durch die Bälle auf die Klappen sollen durch die Trägheit der Klappe reduziert werden. Ausserdem kann die gummielastische Verbindung von Servo und Mündungsplatte den Schlag dämpfen.

Die maximalen Wippenwinkel wurden für die ersten Versuche so gewählt, als ob die Flugbahn des Balls genau in diesem Winkel weiterfliegen wird (plastischer Stoss). Vermutlich wird sich die Flugbahn stärker verändern, da es sich um einen teilelastischen Stoss handeln wird (K-Faktor wurde im Kapitel 4.3.2 bestimmt). Grund dafür ist, dass man für erste Versuche die Grenzen der Anlage testen wollte. Nach den Tests könnte der

Zielbereich analysiert und auf die maximal nötigen Wippenwinkel rückgeschlossenen werden.

Die Kurvenscheiben zeigen folgende Abhängigkeit zwischen Servowinkel und Wippenwinkel. Dabei entspricht ein negativer Wippenwinkel einer Spreizung nach aussen und ein positiver eine Verengung des Durchgangs nach innen. In den Spalten 3 und 4 wurde versucht den Bewegungsverlauf mit einer mathematischen Funktion zu approximieren. Diese mathematische Beschreibung ist für die Programmierung wichtig.

Tabelle 2 Verhalten der seitlichen Kurvenscheiben

Servowinkel [°]	Wippenwinkel [°]	$10 * \sin(2 * x - 90)$	$10 * \sin(2 * (x + 4) - 90)$
0	-10	-10	-9.9026807
10	-9.1	-9.3969262	-8.8294759
20	-6.8	-7.6604444	-6.6913061
30	-3.7	-5	-3.7460659
40	-0.3	-1.7364818	-0.348995
50	3.1	1.73648178	3.09016994
60	6	5	6.15661475
70	8.1	7.66044443	8.48048096
80	9.4	9.39692621	9.78147601
90	9.9	10	9.90268069

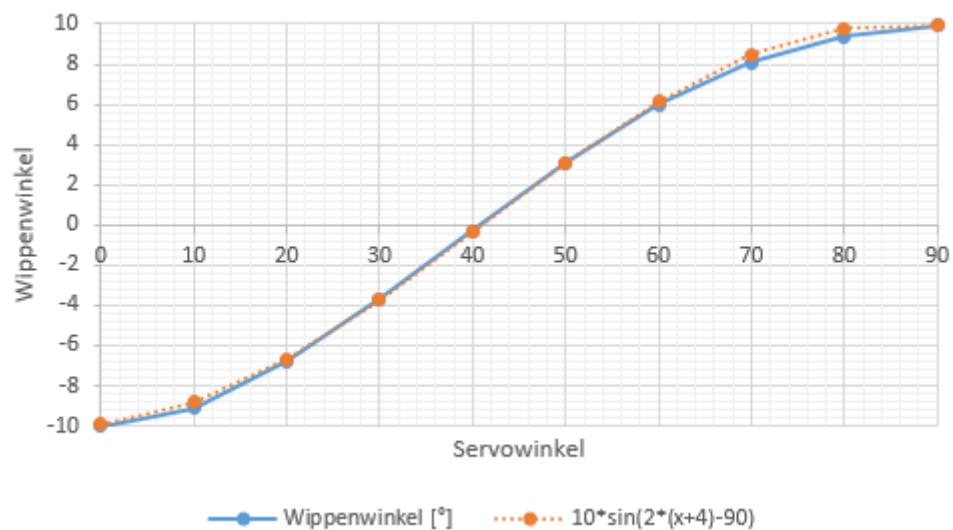


Abbildung 18 Verhalten der seitlichen Kurvenscheiben graphisch

Servowinkel [°]	Wippenwinkel [°]	$8.5 * \sin(2 * x - 90) + 6.5$	$8.5 * \sin(2 * (x + 4) - 90) + 6.5$
0	-2	-2	-1.917278584
10	-1.4	-1.487387277	-1.005054539
20	0.5	-0.011377767	0.812389846
30	3.2	2.25	3.315843956
40	6.2	5.02399049	6.203354278
50	9.1	7.97600951	9.126644452
60	11.6	10.75	11.73312254
70	13.4	13.01137777	13.70840882

80
90

	14.5	14.48738728	14.81425461
	15	15	14.91727858

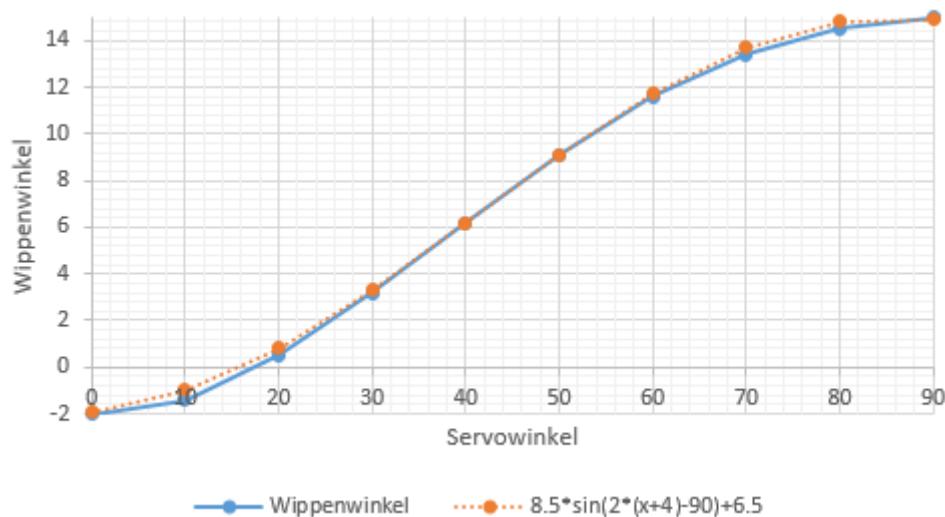


Abbildung 19 Verhalten der unteren Kurvenscheibe graphisch

Wellenböcke

Die Mündungsklappen sind mit Kunststoff-Gleitlager auf einer Achse gelagert. Diese Achse ist durch Wellenböcke mit der Mündungsplatte verbunden. Diese Wellenböcke sind Standard-Teile und können vom Mädler-Shop zu einem verhältnismässig günstigen Preis bezogen werden. Zur genauen Ausrichtung der Wellenböcke wurde ein Absatz in die Mündungsklappen gefräst. Daran können die Wellenböcke angeschlagen werden. Das spart Montagezeit, weil nicht so viel ausgerichtet werden muss.

Stärken der Baugruppe

- Kompakt
- Nur lösbar Verbindung
- Kostengünstige Lagerung für Klappen mit Standard-Teilen
- Günstiger Kraftfluss für Antrieb der Mündungsklappen

6.2.3 Beschleuniger

Beschreibung

Der Beschleuniger soll den Ball auf die gewünschte Geschwindigkeit bringen. Dabei drehen zwei Drehscheiben in entgegengesetzte Drehrichtung. Wenn der Ball die Engstelle zwischen den Drehscheiben passiert, wird er impulsartig sehr stark nach vorne beschleunigt.

Ansicht

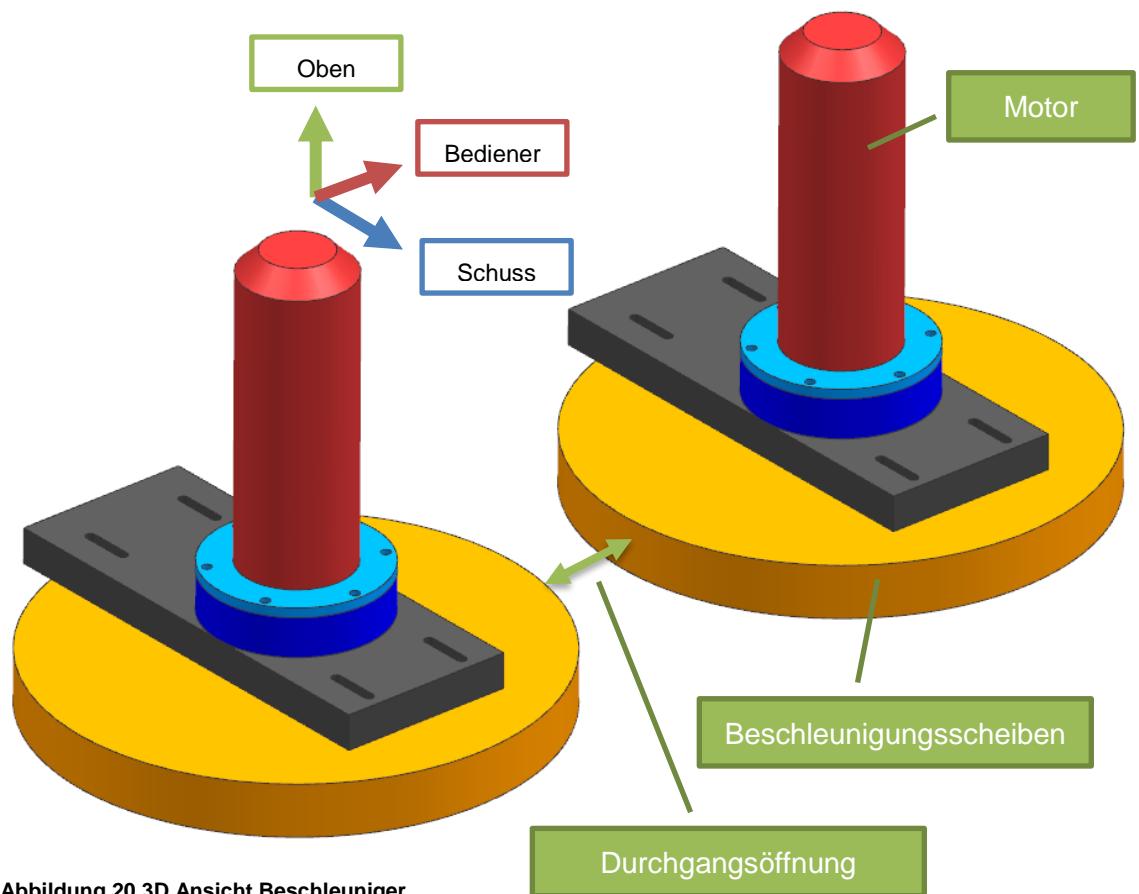


Abbildung 20 3D Ansicht Beschleuniger

Ansicht im Schnitt

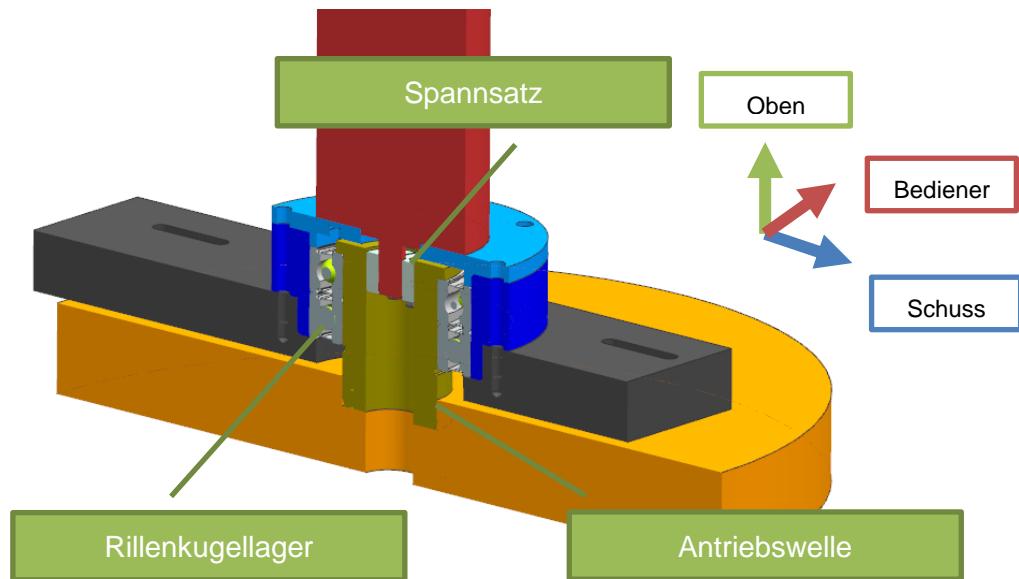


Abbildung 21 3D-Ansicht Beschleuniger im Schnitt

Foto



Abbildung 22 Beschleuniger eingebaut



Abbildung 23 Beschleuniger ausgebaut ohne Scheibe

Zusammenstellung Wie auf der Abbildung 21 zu erkennen ist, setzt sich das Beschleuniger-System aus zwei identischen und separat angetriebenen Baugruppen zusammen. Dafür sprechen sowohl wirtschaftliche Gründe (kleinere Stückliste, weniger Ersatzteile, günstigere Fertigung), als auch ästhetische (Symmetrie wird meistens als schöner empfunden) und technische (symmetrische Kraftverteilung). Außerdem bieten die separaten Antriebe die Möglichkeit für spätere Projekte Drall in die Bälle einzubringen (unterschiedliche Drehzahlen).

Durchgangsöffnung

Mit der Durchgangsöffnung ist die breite der Passage zwischen den beiden Beschleunigungsscheiben gemeint.

Ist die Durchgangsöffnung klein, so der Ball mit erhöhtem Kraftaufwand zwischen die Scheiben gebracht werden und der Ball wird in eine ovale Form gestaucht. Innerhalb des elastischen Verformungsbereich des Materials will sich der Ball mit einer gewissen Kraft zurückformen. Diese Kraft wirkt beim Beschleunigen als Normalkraft zwischen Ball und Scheibe. Durch eine höhere Normalkraft steigt auch die Reibungskraft. Je höher die Reibungskraft ist, desto höher ist die wirkende Beschleunigung auf den Ball. Es besteht jedoch die Gefahr, dass der Ball plastisch verformt (Bälle werden nach einem oder mehreren Schüssen unrund) oder gar zerstört wird.

Ist die Durchgangsöffnung zu gross, könnte der Ball aufgrund fehlender Reibungskraft nur gestreift und dadurch die Abschussgeschwindigkeit nicht erreicht werden.

Weil die beiden Beschleuniger-Baugruppen auf dem Gerüst und entlang der Profilnuten montiert sind, lässt sich der Achsabstand der Scheiben beliebig verändern. Die optimale Durchgangsöffnung kann dann bei den Tests herausgefunden werden.

Beschleunigungsscheiben Die Beschleunigungsscheiben sind ein zentrales Element der gesamten Konstruktion. Dabei sind drei Parameter entscheidend:

- Durchmesser der Kontaktfläche (Aussendurchmesser)
- Massenträgheitsmoment um die Drehachse
- Oberflächenbeschaffenheit auf der Kontaktfläche (Aussendurchmesser)

Es ist sinnvoll, die optimale Konfiguration dieser Parameter bei den Tests zu bestimmen.

Beschleunigungsscheiben Durchmesser Der Durchmesser der Scheiben bestimmt sich aus deren Umfangsgeschwindigkeit. Diese kann aus der maximal erforderlichen Mündungsgeschwindigkeit und der maximalen Motorendrehzahl abgeleitet werden.

$$D = \frac{60'000}{\pi} \cdot \frac{v}{n}$$

Legende: D = Durchmesser der Kontaktfläche [mm], n = max. Scheibendrehzahl [1/min], v = erforderliche max. Mündungsgeschwindigkeit [m/s]

In diesem Fall bedeutet das:

$$D = \frac{60'000}{\pi} \cdot \frac{50}{4000} = 239$$

Der Ball wird durch das Abprallen an den Mündungsklappen leicht an Geschwindigkeit verlieren. Ausserdem wollte man die theoretische Abschussgeschwindigkeit leicht höher ansetzen als die erforderliche. Aus diesen Überlegungen hat man den Durchmesser grosszügig auf **280mm** aufgerundet.

Beschleunigungsscheiben Massenträgheitsmoment Die Scheiben sind bewusst etwas träge konzipiert worden. Dadurch verliert die Scheibe durch den Schussimpuls nicht zu viel Drehzahl. Das schont Motor und Steuerung. Die Massenträgheit wirkt sich aber negativ auf die Anlaufzeit aus. Je träger die Scheibe ist, desto höher ist die Anlaufzeit.

Das Massenträgheitsmoment kann durch folgende Massnahmen verändert werden:

- Veränderung der Masse z.B. durch andere Materialwahl oder geringeres Scheibenvolumen
- Veränderung des Trägheitsradius durch Umverteilung der Masse.

Es wurde beschlossen zwei Scheibenausführungen zu bestellen.

Material	Trägheitsradius	Masse je Scheibe	Massenträgheit
POM	100.062 mm	3.082 kg	30'858 kgmm ²
Aluminium	100.062 mm	6.121 kg	61'286 kgmm ²

Somit kann durch Austauschen der Scheiben die Massenträgheit pro Beschleuniger Antrieb um 30'428 kgmm² verändert werden. Dabei ist anzumerken, dass die für die Berechnung der Gesamtträgheit der Last pro Beschleuniger die Massenträgheit der Antriebswelle und des Motors zu denjenigen der Scheibe addiert werden müssen.



Abbildung 24 Beschleunigungsscheibe aus Aluminium (links) und aus POM (rechts)

Materialien beschleunigungs- scheiben

Be-Die beiden Materialien der Scheiben wurden hauptsächlich aufgrund ihrer unterschiedlichen Dichte gewählt. Weitere Gründe für die Materialwahl werden hier aufgeführt:

POM

- Sehr Verschleissfest*
- Hohe Steifigkeit
- Leichter als handelsübliche Metalle
- Hohe Verfügbarkeit
- Hervorragende Dimensionsstabilität (geringes Kriech und Relaxionsverhalten)
- Als Kunststoff hohe thermische Stabilität (bis 170°C)

Aluminium

- Leichtmetall
- Hohe Verfügbarkeit
- Kostengünstig (als Leichtmetall)
- Korrosionsbeständig
- Gute Zerspanbarkeit

*POM kann nicht durch die Einwirkung der Unihockeybälle (Material: PE) beschädigt werden. Das ist enorm wichtig für die Langlebigkeit der Maschine.

**Beschleunigungs-
scheiben Oberflä-
chenbeschaffenheit** Ist die Oberfläche der Scheibe rau, ist zwar die Reibungskraft zwischen Ball und Scheibe höher aber eine raue Scheibe kann, ähnlich wie eine Schleifscheibe, starke Beschädigungen am Ball herbeiführen. Deshalb wird eher auf glatte Oberflächen und grössere Normalkräfte (siehe 6.2.3 Beschleuniger „Durchgangsöffnung“) gesetzt.

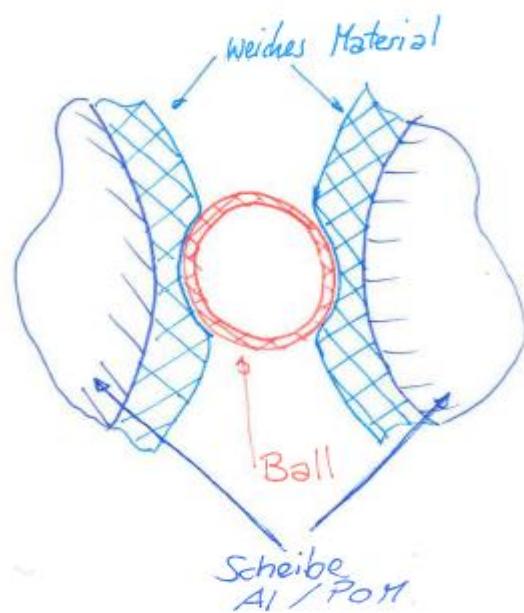


Abbildung 25 Idee für weiche Scheibenoberfläche

Verschiebung vor/zurück

Damit eine abgestimmte Übergabe des Balls von der Drehscheibe (Vereinzelung) und der Beschleunigungsscheiben stattfinden kann, sind Langlöcher an den vier Befestigungsschrauben angebracht. Sie ermöglichen ein vor- und zurückbewegen der Scheiben.

Lagerung

Die Lagerung wurde mit zwei aneinanderliegenden Rillenkugellager versehen. Ein zweireihiges Rillenkugellager mit ähnlichen Tragzahlen wäre teurer gewesen. Die Lager haben beidseitig Deckscheiben (berührungslos) welche gut für hohe Drehzahlen gut geeignet und trotzdem gegen Schmutz ausreichend geschützt sind. Mit zugelassenen radialen dynamischen Tragzahlen bis 17.8 kN pro Lager sollte auch ein Deformieren der Bälle (Durchgangsöffnung) kein Problem darstellen. Axialkräfte treten, ausser dem Eigengewicht, keine auf.

Die Verbindung von Motorwelle zur Antriebswelle wurde mit einem Spannsatz gelöst. Diese kraftschlüssige Verbindung ist kostengünstig und kann hohe Drehmomente (19 Nm) übertragen. Ausserdem eignet sie sich bei der blanken Motorwelle (keine Passfedernut).

Falls dies nicht ausreichend ist, wurde angedacht ein weichelastisches Vollmaterial oder einen Schaum an der Kontaktfläche anzubringen. Wenn der Ball die Durchgangsöffnung passiert soll sich dieses Material um den Ball schmiegen und so eine Art „Formschluss“ bilden.

Die durch das Aufbringen des Zusatzmaterials entstehende Durchmesseränderung kann durch die Vergrösserung des Achsabstandes ausgeglichen werden.

Achtung: Umfangsgeschwindigkeit wird auch verändert!

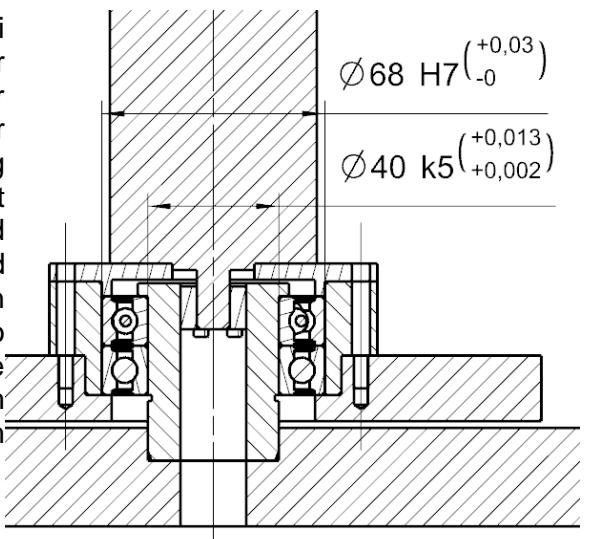


Abbildung 26 Lagerung (CAD-30003724)

Stärken der Baugruppe

- Zwei identische Baugruppen
- Kompakte und günstige Lagerlösung
- Durch viele veränderbare Parameter kann beim Testen die beste Konfiguration gefunden werden, ohne neue Teile bestellen zu müssen.

6.2.4 Trichter

Beschreibung

Der Trichter dient zur Aufbewahrung der Bälle. Die Bälle können als Schüttgut vom Benutzer in den Trichter gefüllt werden. Am unteren Ende des Trichters entnimmt die Drehzscheibe für die Vereinzelung dann einzeln die Bälle bis keine Bälle mehr übrig sind.

Bild

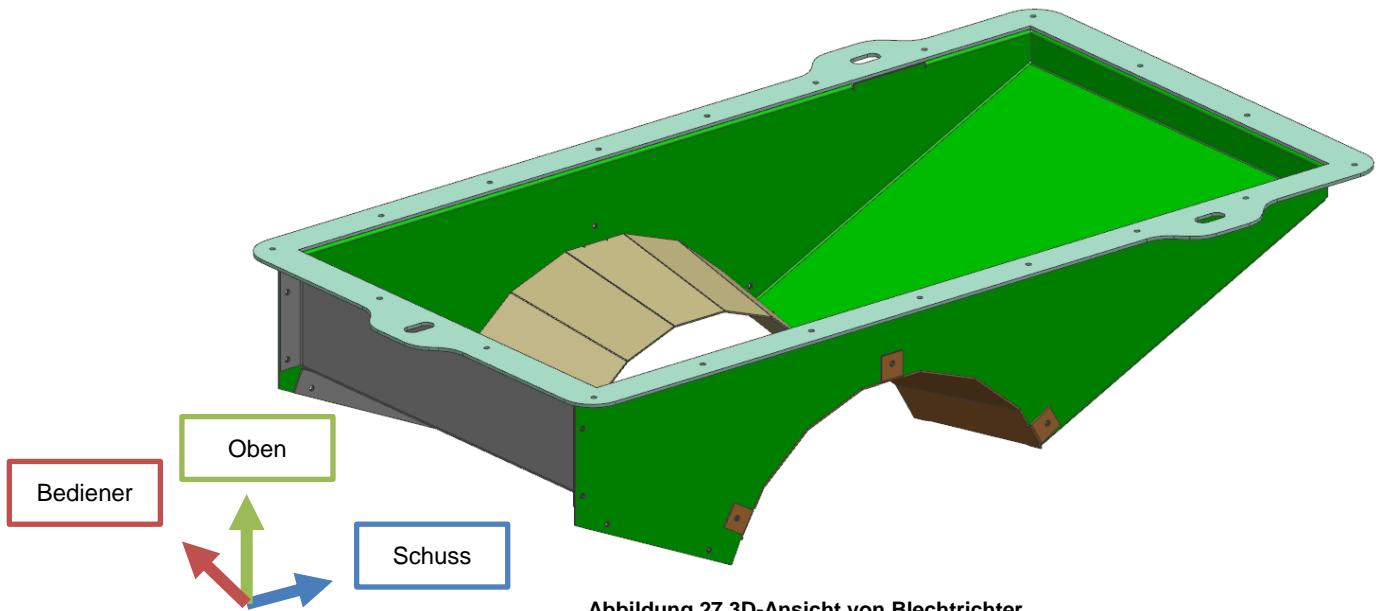
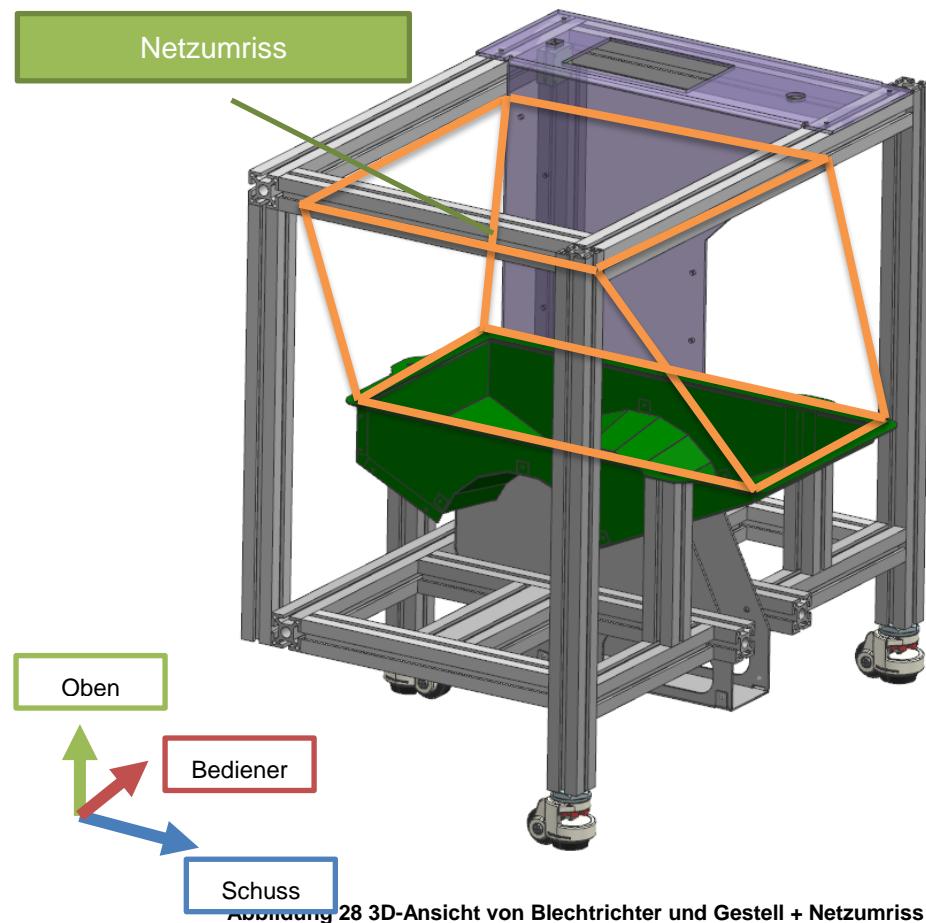


Abbildung 27 3D-Ansicht von Blechtrichter



Foto



Abbildung 29 Blechtrichter und Netz

Unterteilung

Der Trichter besteht aus zwei Elementen: Dem Blechtrichter und dem Netz. Der Blechtrichter ist unten an der Konstruktion und sorgt für eine saubere Übergabe zur Vereinzelung bis auf den letzten Ball. Weiter oben ist das Netz angebracht. Weil dessen Wände sehr steil sind, fallen die Bälle leicht nach unten.

Form Blechtrichter

Der Blechtrichter hat überall ein Gefälle von mindestens 10° zu der Drehscheibe hin. Dadurch rollen alle Bälle immer bis zur Drehscheibe. Die rechteckige Form soll das Bilden eines „Bogens“, wie im Abschnitt 5.45.4 Funktionsmuster beschrieben, verhindern.

Netz

Weil für den Oberteil keine gute Formtreue mehr notwendig ist wurde ein Netz zwischen Gerüst und Trichter angebracht. Ein Netz ist sehr leicht und kann individuell geformt werden. Es kann mit günstigen Mitteln geknüpft werden. Das Verfahren hat sich aber als unerwartet knifflig herausgestellt. Deshalb ist das Netz ästhetisch nicht ganz zufriedenstellend. Die Funktion, nämlich dass die Bälle nicht herausfallen, wird trotzdem erfüllt.

Trichtervolumen

Das Trichtervolumen wurde für den Netzbereich gerechnet. Das Volumen wurde in drei Teilvolumen unterteilt. So gilt:

$$V = \sum V_i$$

V1 (blau) ist ein trapezförmiges Prisma.

$$V_1 = \frac{440\text{mm} + 551\text{mm}}{2} * 327\text{ mm} * 281\text{mm} = 39'960'588\text{mm}^3$$

V2 (gelb) ist ein dreiseitiges Prisma.

$$V_2 = \frac{166\text{mm} * 327\text{mm}}{2} * 440\text{mm} = 11'942'040\text{mm}^3$$

V3 (rot) ist eine Pyramide mit dreieckiger Grundfläche

$$V_3 = \frac{166\text{mm} * 327\text{mm}}{6} * 111\text{mm} = 1'004'217\text{mm}^3$$

Daraus ergibt sich ein Volumen von

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = 39'960'588\text{mm}^3 + 11'942'040\text{mm}^3 + 1'004'217\text{mm}^3 = 52'906'845\text{mm}^3$$

Weil kugelförmige Körper nicht den ganzen Raum ausfüllen wird die Faustformel angewendet. Nach dieser füllt ein kugelförmiges Schüttgut rund zwei Drittel des Volumens aus. Also gilt für die Anzahl Bälle

$$n = \frac{2}{3} \frac{V}{V_{Ball}} = \frac{2}{3} * \frac{V}{\frac{4}{3} r^3 \pi}$$

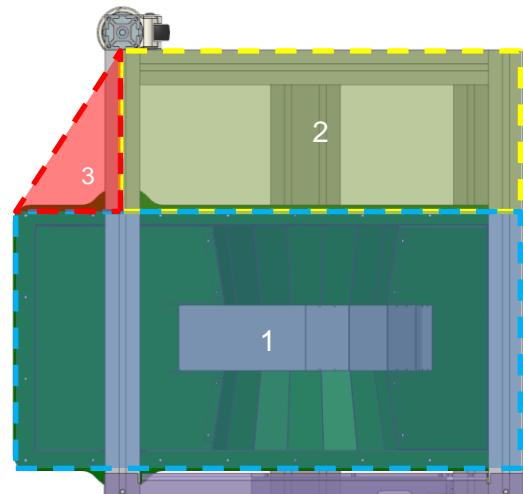


Abbildung 30 Netz unterteilt in Zonen (Ansicht von oben)

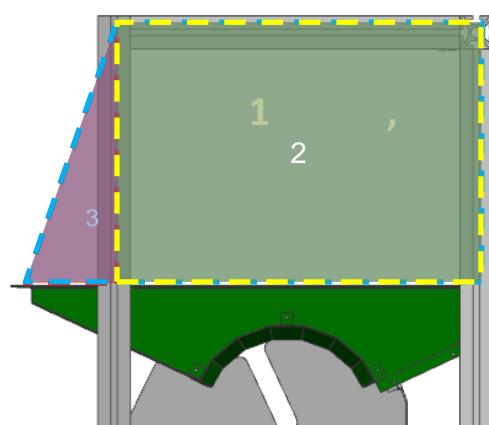


Abbildung 31 Netz unterteilt in Zonen (Ansicht von Bedienerseite)

$$n = \frac{2}{3} \frac{V}{V_{Ball}} = \frac{2}{3} * \frac{52'906'845 \text{ mm}^3}{\frac{4}{3} (36 \text{ mm})^3 \pi}$$

$$n = 180$$

Also können sich ca. 180 Bälle im Netz befinden. Das erfüllt die geforderte Menge von 150 Bälle nach dem Pflichtenheft.

- | | |
|---------------------------------|---|
| Stärken der Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> • Geringes Gewicht durch Netz • Gute Platzausnutzung • Bälle rollen gut zur bis Drehscheibe |
|---------------------------------|---|

6.2.5 Drehscheibe

- | | |
|---------------------|---|
| Beschreibung | <p>Die Drehscheibe soll die Bälle vereinzeln und gleichzeitig aus dem Trichter zwischen die Scheiben befördern. Die Drehscheibe soll den Ball zwischen die Beschleunigungsscheiben schieben können falls nötig, aber gleichzeitig soll der Ball nicht durch die Scheibe blockiert werden wenn er vorausrollt und von den Scheiben erfasst wird.</p> |
|---------------------|---|

Bild

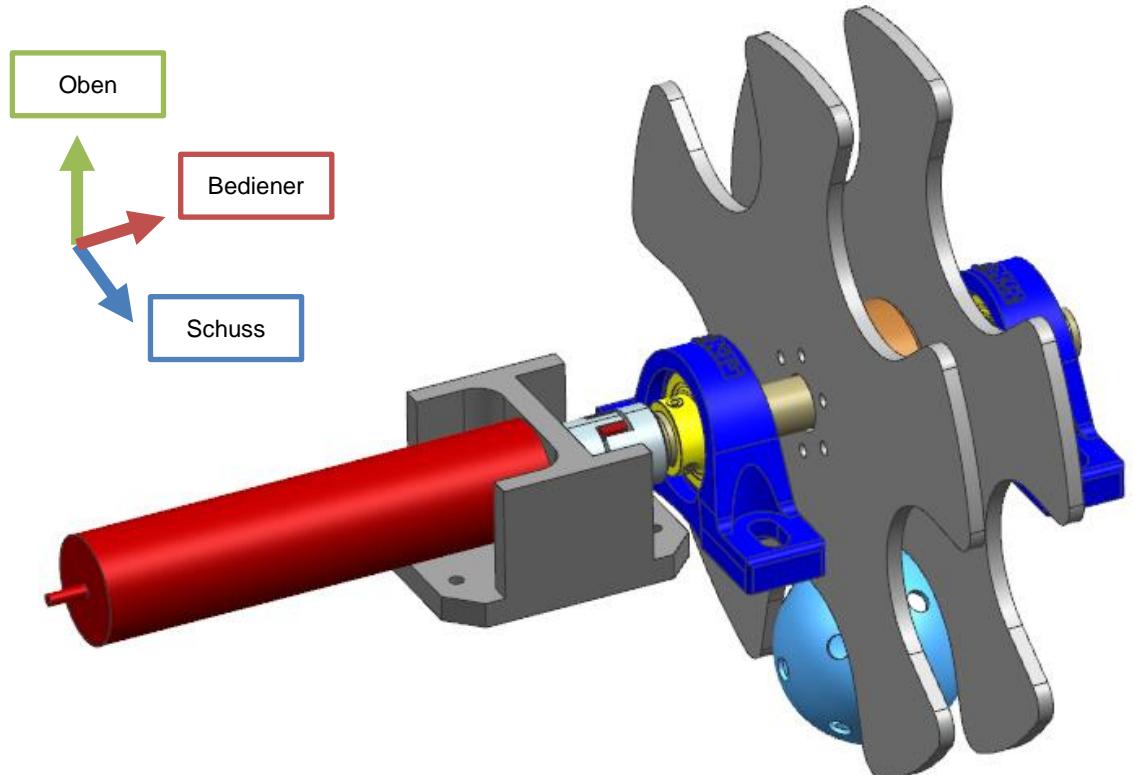


Abbildung 32 3D-Ansicht Drehscheibe

Motorhalter	Der Motorhalter wurde so konzipiert, dass er beim Fräsvorprozess mit einer 3-Achsen-Maschine nur zwei Aufspannungen gemacht werden müssen.
Lagerung	Als Lager wurden Y-Stehlagereinheiten gewählt. Es bietet sich an, weil die gegenüberliegenden Lager nicht mit grossem Aufwand ausgerichtet werden müssen (Die Lager richten sich automatisch zueinander aus). Aus Gewichtsgründen wurden die Stehlagereinheiten aus Kunststoff gewählt. Es sind Standardprodukte und können Einbaufertig bezogen werden. Die Wahl solcher Stehlagereinheiten spart Zeit und Geld in der Fertigung und Montage.
Ballaufnahme	Die Bälle werden an zwei 3mm dicken, sternförmigen Blechscheiben gefördert. Die Tests zeigen, dass das Fördern gut funktioniert und die Bälle durch die Blechkanten nicht verletzt werden. Dennoch würde die Möglichkeit bestehen, ein Kantenschutz um die Bleche zu legen.
	Achtung: Es sind jedoch Probleme bei der Übergabe von Trichter zu Drehscheibe aufgetreten (siehe Kapitel Error! Reference source not found. Error! Reference source not found. «Schwächen der Baugruppe»).
Kupplung	Eine elastische Klauenkupplung verbindet Motorwelle und Drehscheibe. Die eingebaute Kupplung besteht aus leichtem Aluminium und ist drehelastisch und winkel-, quer- und längsnachgiebig. Das ist wichtig, weil sich die Welle nach den Lagern ausrichtet.
Stärken der Konstruktion	<ul style="list-style-type: none">• Günstige Lagerung• Schnelle Montage

6.2.6 Verkleidung

Beschreibung	Die Verkleidung hauptsächlich dient zum Schutz. Es schützt die im Inneren liegende Mechanik, indem sie eine physische Barriere zur Umwelt bildet. Gleichzeitig schützt sie Personen vor der Mechanik im Inneren.
---------------------	--

Bild

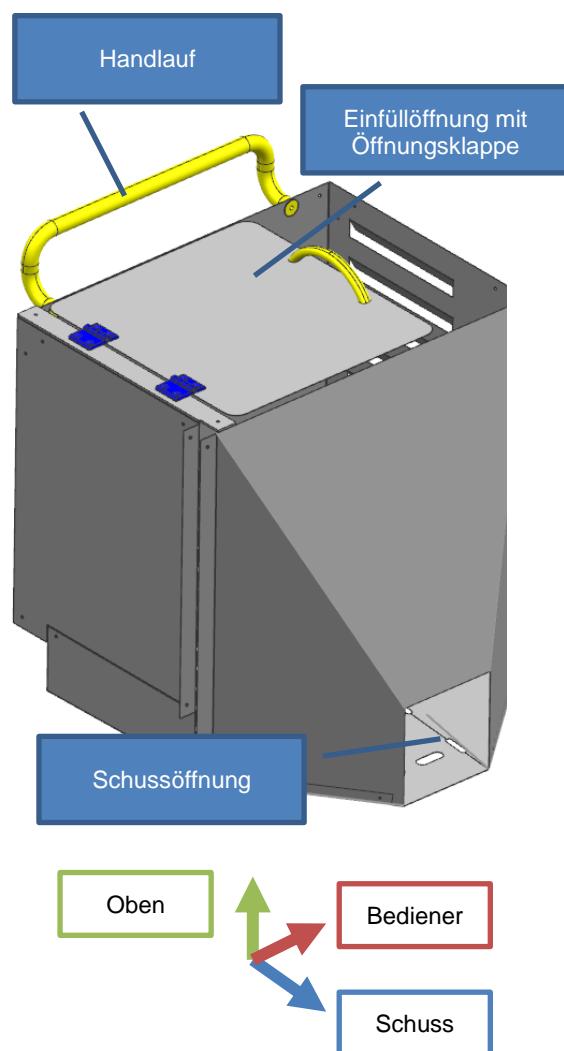
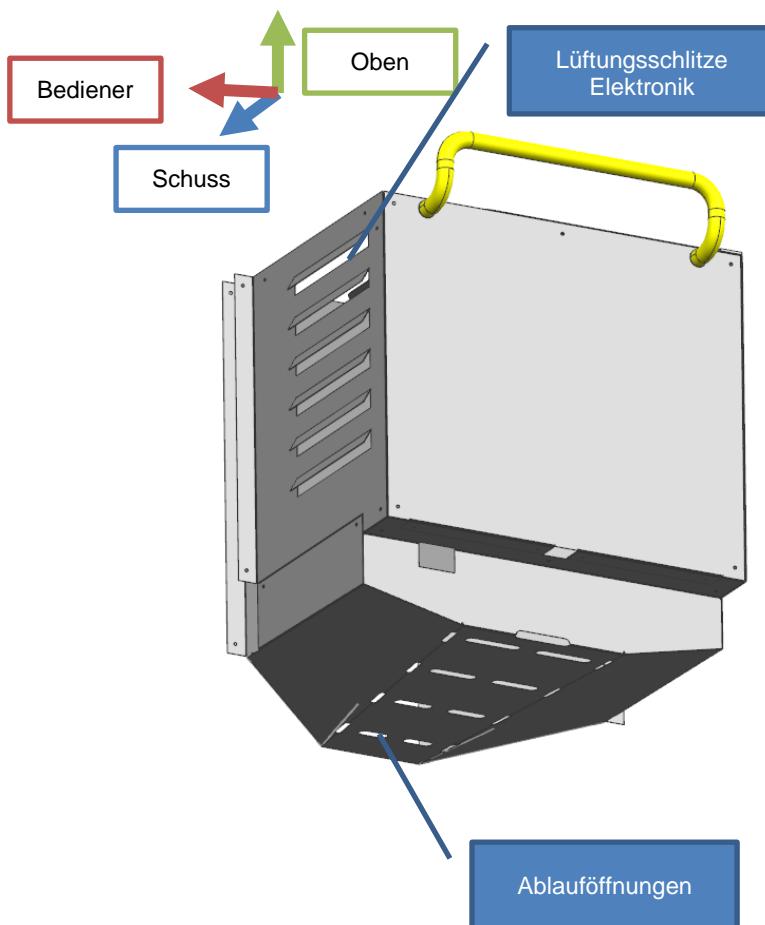


Abbildung 33: 3D-Ansicht Verkleidung

Abbildung 34 3D-Ansicht Verkleidung

Öffnungen

Die Anlage hat an vier Stellen eine Öffnung:

- **Einfüllöffnung mit Öffnungsklappe:** Damit die Bälle eingefüllt werden können, ist an der Oberseite eine Öffnungsklappe angebracht, die geöffnet und geschlossen werden kann. Um Verletzungen durch die scharfen Blechkanten zu verhindern, zur Dämpfung der Vibrationsgeräusche (Klappe „klappert“) und zur Abdichtung wurde der Rand der Öffnungsklappe mit einem Kantenschutz aus PVC versehen.
- **Schussöffnung:** Die beschleunigten Bälle werden durch diese Öffnung geschossen. Zum Schutz wurde ebenfalls ein Kantenschutz angebracht.
- **Lüftungsschlitz Elektronik:** Seitlich auf der Bedienerseite sind Lüftungsschlitz zu sehen. Sie sollen dem Überhitzen der Elektronik entgegenwirken. Kleine abstehende Blechstücke sollen ein wenig Schutz gegen Spritzwasser und Regenwasser bieten.
- **Ablauöffnung:** Falls trotzdem Flüssigkeit in die Anlage eindringen sollte, kann sie bei diesen Öffnungen ablaufen und es bildet sich keine Pfütze am Boden. Außerdem sollen sie die Luftzirkulation fördern.

Handlauf	Der Handlauf aus einem Aluminiumrohr ist ein Standardprodukt von Mädler. Er ist auf ca. 804mm (abhängig von Stützenhöhe) über dem Boden angebracht.
Sicherheit	Die Ablauföffnungen wurden bewusst so gewählt, dass die Drehscheiben nicht für Gliedmassen erreichbar sind. Bei der Schussöffnung war das nicht möglich, weil eine grössere Distanz zur Mündung auch eine grössere Öffnung erfordern würde (Schussbereich). Diese Gefahr muss also bei der Risikobeurteilung überprüft werden.
Stärken der Bau-gruppe	<ul style="list-style-type: none"> • Wenig Einzelteile • Leichte Bauweise • Stabil • Günstig durch Verwendung von Standardteilen (Handlauf, Klappengriff, Scharnier)

6.3 Steuerung

6.3.1 Anforderung

Eine einfache, intuitive Bedienung mit vielen einstellbaren Parametern soll für die Ballschussmaschine ein wesentliches Merkmal darstellen.

Eine gute Bedienung erfordert auch eine gute Steuerung, welche die eingegebenen Parameter in Signale umsetzt, welche dann auf die Antriebe übertragen werden.

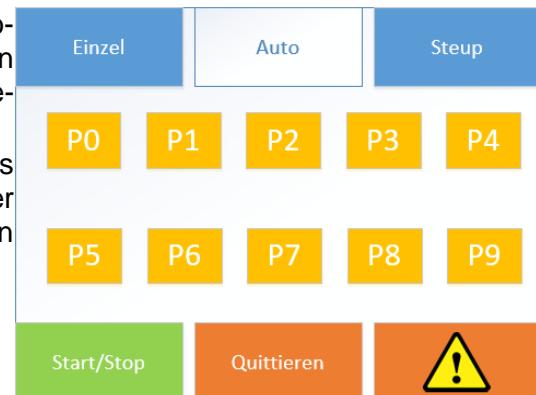
Betriebsmodi	Für die Bedienung sind drei verschiedene Betriebsmodi vorgesehen, welche von einem Bedienfeld betrieben werden. Für die Auswahl der Steuerung werden diese Modi als Konzept zusammengestellt.
---------------------	--

Einzelschuss	Im Einzelschussmodus soll durch eine Betätigung einen einzelnen Schuss abgegeben werden.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #e0f2fd; padding: 5px;">Einzel</td><td style="background-color: #e0f2fd; padding: 5px;">Auto</td><td style="background-color: #e0f2fd; padding: 5px;">Setup</td></tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">Speed</td><td style="text-align: center; padding: 5px;">Rate</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">150</td><td style="text-align: center; padding: 5px;">150</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">+</td><td style="text-align: center; padding: 5px;">+</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">-</td><td style="text-align: center; padding: 5px;">-</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">Schuss</td><td style="background-color: #ffccbc; padding: 5px; text-align: center;">Quittieren</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">!</td><td style="background-color: #ffccbc; padding: 5px; text-align: center;">!</td></tr> </table>	Einzel	Auto	Setup	Speed	Rate		150	150		+	+		-	-		Schuss		Quittieren	!		!
Einzel	Auto	Setup																					
Speed	Rate																						
150	150																						
+	+																						
-	-																						
Schuss		Quittieren																					
!		!																					

Automodus

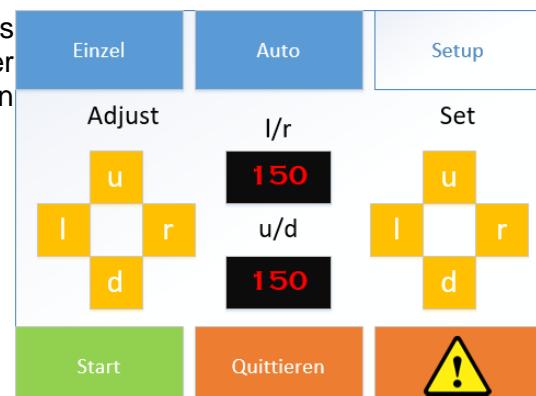
Im Automodus können verschiedene Programme ausgewählt werden, welche einen definierten Ablauf von Schüssen wiedergeben.

Eine andere Möglichkeit für den Automodus wäre durch eine „Random“-Funktion in der Steuerung einen willkürlichen Ablauf von Schüssen wiederzugeben.



Setupmodus

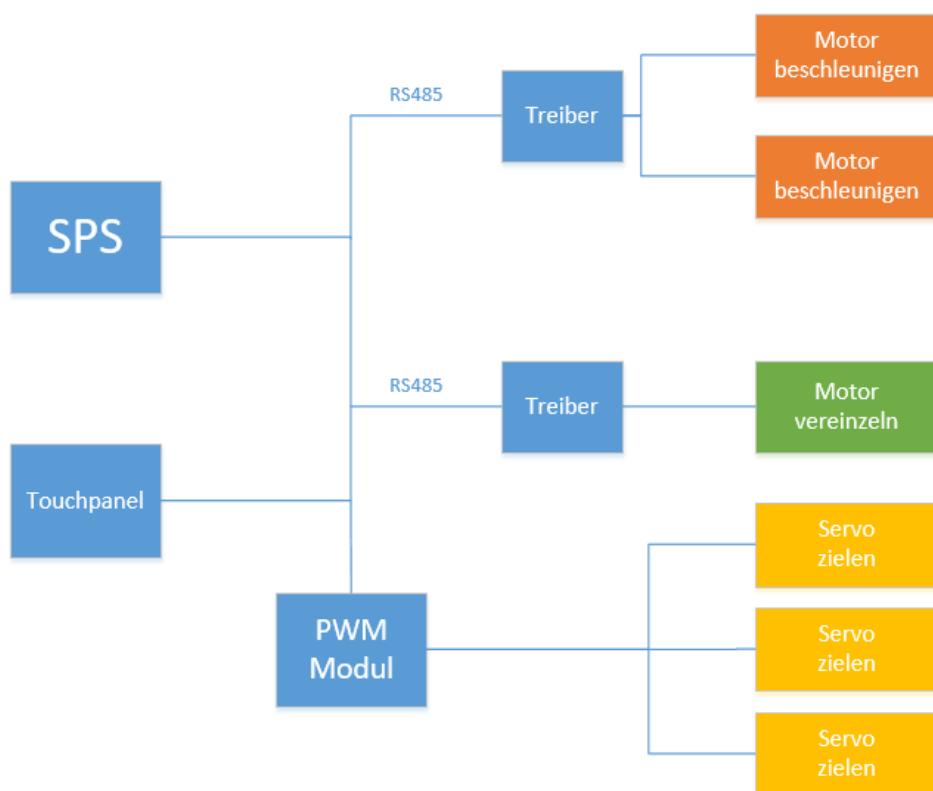
Der Setupmodus dient zum Einstellen eines Zielbereichs. Abhängig von der Position der Maschine zum Goal kann ermittelt werden wo die Bälle hinfliegen.



6.3.2 SPS Steuerung

Eine speicherprogrammierbare Steuerung ermöglicht einen einfachen Aufbau zur Ansteuerung der Motoren und Servos. Die Hardware von SPS ist universell und sehr flexibel einsetzbar. Dies ermöglicht eine einfache Signalübertragung an die Aktuatoren.

Aufbau



Mit einem SPS Steuerungsmodul können, über eine RS485 Busschnittstelle, die Treiber der drei Motoren angesteuert werden und somit die Drehzahl eingestellt werden. Die passenden Treiber für Motoren können üblicherweise vom Motorenhersteller direkt bezogen werden.

Auf die Servos kann nicht mit einem Bussystem zugegriffen werden, diese werden mittels Pulsweitenmodulation gesteuert. Um dies von einer SPS zu ermöglichen ist ein PWM Modul nötig welche die Signale umwandelt.

PWM

Pulsweitenmodulation ist ein Verfahren um ein analoges Signal aus einer digitalen Signalquelle zu erzeugen. Wenn ein digitales Signal schnell genug, und in einem gewissen Tastverhältnis seinen Zustand wechselt, verhält es sich wie ein analoges Signal mit konstanter Spannung. Einige SPS Steuermodul haben bereits Ausgänge um ein PWM Signal erzeugen zu können.

Komponente

SPS Steuerungen sind modular aufgebaut. Die benötigten Komponenten lassen sich einfach aneinander stecken umso die individuelle Steuereinheit zusammenzustellen. An der HSR werden üblicherweise Komponenten von Siemens verwendet. Für das Programmieren der Steuerung wäre bereits die Software vorhanden, für die sonst eine teure Lizenz erworben werden müsste. Daher ist es naheliegend, dass für das Konzept ebenfalls Produkte von Siemens verwendet werden.

**Steuermodul
SIMATIC S7-1200**



Die SIMATIC S7-1200 ist ein kompaktes Steuermodul, welches Ausgänge hat, um ein analoges Signal durch PWM erzeugen zu können. Damit können auch die Servos gesteuert werden.

Preis: 357.95 CHF

Hutschienen Netzteil



Das Netzteil für das Steuermodul S7-1200 ermöglicht eine Speisung von 24V. Für einen Motor mit 48V müsste noch ein zusätzliches Netzteil angeschlossen werden.

Preis: 82.95 CHF

**Kommunikationsmo-
dul
Profibus Slave
CM1242/1243**



Die Signale um die Aktuatoren zu steuern, kommen aus dem Kommunikationsmodul.

Preis: 309.95 CHF

**Touchscreen
KTP400, 4,3 Zoll**



Für eine einfache Bedienung wäre ein Touchscreen die ideale Lösung. Der KTP400 von Siemens kann mit einer HMI Konfigurationssoftware programmiert werden.

Preis: 390.40

Vorteile

- Der modulare Aufbau ermöglicht eine einfache Verbindung der Komponente
- Weniger Montagearbeit, weniger Verdrahtung
- Mit dem Profibus lassen sich die Motoren einfach ansteuern
- Zuverlässiges Steuerungskonzept

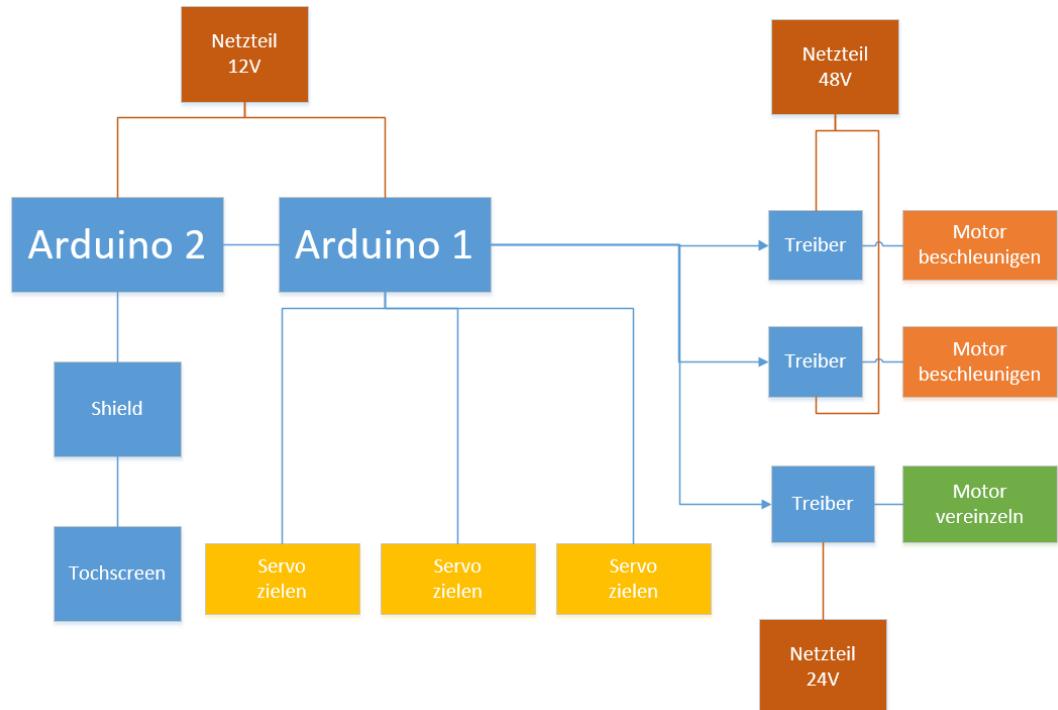
Nachteile

- Hohe Kosten für Komponente
- Hoher Zeitaufwand für Programmierung

6.3.3 Steuerung mit Mikrocontroller

Mikrocontroller können mit der Programmiersprache C sehr einfach programmiert werden. Um den Arduino nicht zu überlasten können zwei zusammengeschlossen werden. Ein Arduino kann die Signale vom Touchscreen verarbeiten und die Befehle weiter an den nächsten schicken. Von diesem werden dann die Motoren und Servos gesteuert.

Aufbau



Signal für Beschleuniger

Bei Die Antriebe für die Beschleunigungsscheiben können mit einem differentiellen Analogsignal von -10 bis 10V angesteuert werden. Ein Arduino kann jedoch nur ein Signal von 5 V ausgeben. Um dieses Problem zu lösen muss eine spezielle Hardware erstellt werden um das digitale in ein analoges Signal zu wandeln. Damit wird eine Spannung von maximal 7.5 V erreicht. Die Motoren von ebm Papst können mit einer eigenen Software parametrisiert werden. Für die maximale Drehzahl von 4000 min^{-1} kann der erforderliche analoge Input heruntergesetzt werden. Auf diese Weise wird mit der geringeren Spannung des Arduino trotzdem die maximale Drehzahl erreicht.

Arduino Uno



Der Arduino Uno hat 14 Ein- und Ausgänge, was für die Bedienung der Motoren und Servos ausreichen würde. Die Signale haben eine Spannung von 5V. Für die Steuerung des Motors der Beschleuniger ist dies zu wenig, dieser erfordert ein differentiertes Signal von bis zu 10V.

Preis: 24.95 CHF

Netzteil 48V



Für die Motoren muss für jede unterschiedliche Spannung ein eigenes Netzeilgerät angeschlossen werden. Die beiden Motoren für das Beschleunigen arbeiten mit 48V.

Preis: 279.00 CHF

Netzteil 24V



Speisung von 24V für den Motor des Verteilers.

Preis: 34.90 CHF

Netzteil 12V



Speisung von 12V für die Arduinos und Servos.

Preis: 16.00 CHF

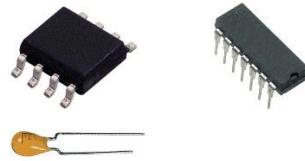
4D Systems



Ein simpler und günstiger Touchscreen ist von der Firma 4D Systems erhältlich. Dieser kann über ein spezielles Shield direkt mit einem Arduino verbunden werden. Die Programmierung der Oberfläche erfolgt durch eine kostenlose Software. Mittels des „Drag and Drop“ Prinzips ist es sehr einfach und erfordert kaum Programmierkenntnisse.

Preis: 250 CHF

Komponente zur Erzeugung eines differentiellen Analog-Signal



Das Umwandeln des digitalen Signals vom Arduino kann in ein differentielles analoges Signal umgewandelt werden. Für die Umsetzung der Hardware braucht es diverse kleinere Komponenten wie:

- Operationsverstärker
- Schaltregler LM2663
- Kondensatoren
- Widerstände

Vorteile

- Komponente für Steuerung sind kostengünstig
- Kleinerer Zeitaufwand für Programmierung mit C
- Servos können direkt angesteuert werden

- | | |
|------------------|--|
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none">• Spezielle Hardware zur Erzeugung eines analogen Signals nötig• Höherer Aufwand bei der Montage / Verkabelung• Die Signale eines Arduinos haben nur eine Spannung von 5 V. Für eine höhere Spannung braucht es zusätzlich einen Verstärker. |
|------------------|--|

6.3.4 Konzeptentscheid Steuerung

- | | |
|------------------|--|
| Allgemein | <p>Für die Entscheidung der Steuerung wurden beide Konzepte mit Experten besprochen. Es wurden die Antriebe und die Anforderungen an die Steuerung besprochen.</p> <ul style="list-style-type: none">• Das Konzept für die Arduino Steuerung wurde mit Daniel Raillard besprochen. Er ist Praktikumsleiter für das Modul „Programmieren mit C“ und erfahren im Bereich Mikrocontroller. Herr Raillard hat angeboten, die nötige Hardware, welche zur Signalumwandlung nötig ist, für uns zu bauen.• Das SPS Konzept wurde mit Domenico Leonardo vom ILT besprochen. Herr Leonardo hat eine grobe Abschätzung über den Zeitaufwand für die Programmierung gemacht. Für einen erfahrenen Programmierer von SPS würde eine solche Aufgabe etwa zwei Wochen in Anspruch nehmen. Für unerfahrenere Personen wären es mehr. |
|------------------|--|

Das Ziel für unsere Arbeit ist einen funktionstüchtigen Prototyp bis zur Abgabe fertigstellen zu können. Es sollte möglich sein Tests mit der Maschine durchzuführen. Weil für eine SPS Steuerung der Zeitaufwand mit grosser Wahrscheinlichkeit höher ist war es fraglich ob alles bis Ende Dezember fertiggestellt werden kann.

Aus diesem Grund wurde entschieden, die Steuerung mit Arduino zu realisieren. Falls Probleme entstehen können sie nachträglich noch durch eine SPS ersetzt werden.

6.4 Elektronik

6.4.1 Aufbau Steuerung

- | | |
|------------------|---|
| Allgemein | <p>Für die Stromversorgung der Steuerung benötigt es Netzgeräte mit verschiedenen Spannungen. Die Motoren für die Beschleuniger benötigen 48 V und für die eingebaute Steuerung 24V. Die Drehscheibe braucht ebenfalls eine Versorgung von 24 V.</p> <p>Für den Mikrocontroller und den Touchscreen braucht es 12 V und schliesslich noch ein 5 V Netzteil für die Servos an der Zielvorrichtung.</p> <p>Die Versorgung vom Netz mit 230 V wird über einen Not-Aus Schalter zu den einzelnen Netzteilen verbunden um bei einer Störung sofort den Strom unterbrechen zu können.</p> <p>Zusätzlich wird ein Ein/Aus Schalter an die 24 V Leitung angehängt. Mit diesem können die Beschleunigungsscheiben gestartet und gebremst werden.</p> <p>Für eine geordnete Verkabelung werden Reihenklemmen benutzt.</p> |
|------------------|---|

6.4.2 Steuerung Beschleuniger

Die beiden Beschleunigungsscheiben werden mit dem Motor ECI-63.60-K4 von ebm-Papst angetrieben. Es handelt sich um 3phasige EC-Antriebe mit integrierter Regel elektronik.



Abbildung 35 ECI 63.60-K4

Schnittstellen Mo-Der Motor bietet mehrere digitale und analoge Schnittstellen.
tor

Für die Regelung der Drehzahl werden die analogen Eingänge benutzt.

Die Leistungsversorgung für den Betrieb des Motors wird mit 48 V gespiesen.

Es ist zusätzlich eine Spannungsversorgung von 24 V nötig für die Logikversorgung.

Ausserdem müssen für die Festlegung der Drehrichtung die Eingänge IN A bzw. IN B ebenfalls mit 24 V versorgt werden. Bei einer Schaltung des Eingangs IN A dreht der Motor in positiver Richtung, bei IN B in negativer. Dies wird vom Betriebsmodus, welcher noch genauer erläutert wird, vorgescrieben.

Werden beide Eingänge IN A und B gleichzeitig geschalten, geht der Motor in den Bremsmodus. (Ersichtlich auf **Error! Reference source not found.**). Dafür wurden für den ersten Motor IN B und für den zweiten IN A an den Ein/Aus Schalter angeschlossen. Wird dieser Schalter betätigt schliesst sich der Kreis und die Motoren bremsen.

Litzenfarbe	Pin	Anschluss	Kennung	AWG
weiß	1	IN A	NPN 24V	24
braun	2	IN B	NPN 24V	
grün	3	IN 1	NPN 24V	
gelb	4	IN 2	NPN 24V/Analog 0...10V / Bremse	
grau	5	OUT 1	PNP 24V	
rosa	6	OUT 2	PNP 24V	
blau	7	OUT 3*	PNP 24V	
rot	8	Analog IN 1	0...10V (differentiell)	
schwarz	9	Analog GND	GND für Analog IN 1 (differentiell)	
violett	10	RS485 A (+)	Progr.-Bus	
grau/rosa	11	RS485 B (-)	Progr.-Bus	
rot/blau	12	U_{Logik}	Logikversorgung + (24V)	16
grau	A	Ballast	Ballastwiderstand	
braun	B	U_{L}	Leistungsversorgung	
schwarz	C	GND	Leistung-/Signal-GND	

Abbildung 36 Eingänge des Motors

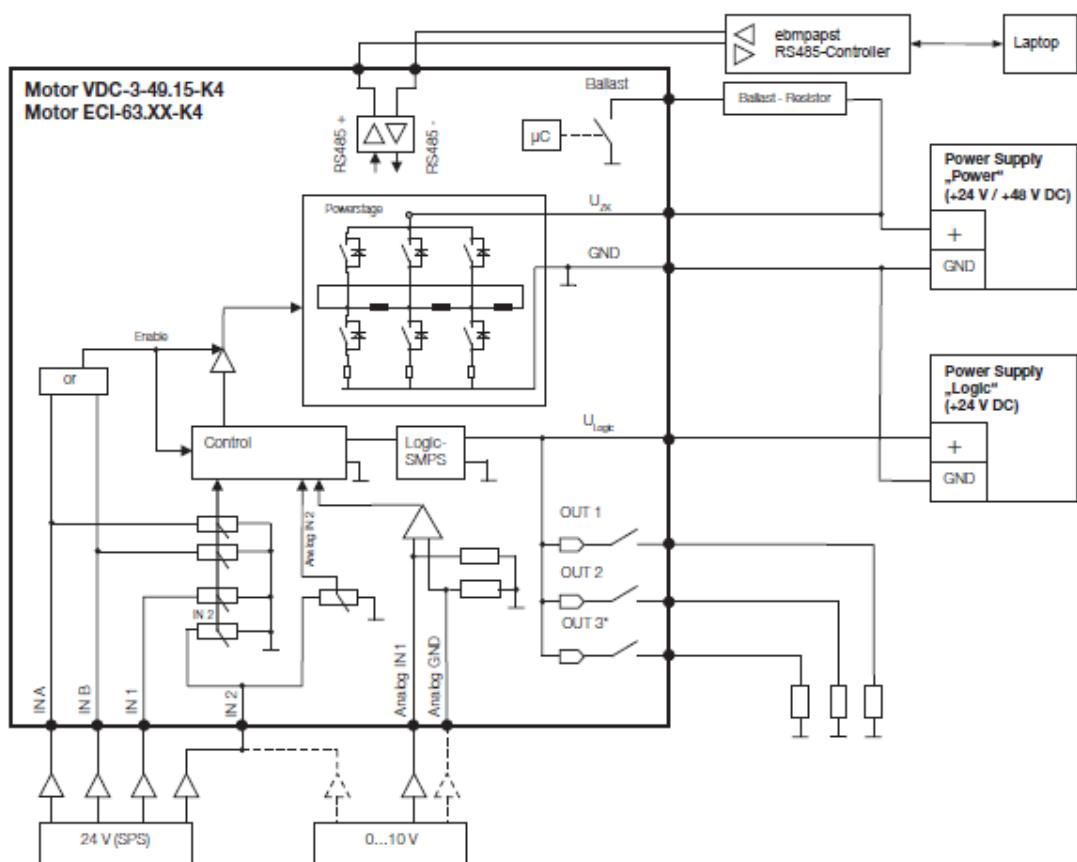


Abbildung 37 Schaltplan ECI-63.60-K4

Analoges Signal

Die Drehzahlregelung erfolgt durch ein differentielles Analogsignal. Dafür wurde ein Digital/Analog Wandler als Aufsatz für den Arduino gebaut. Diese Hardware wurde von Herrn Daniel Raillard zur Verfügung gestellt.

Analoge Eingänge „Analog IN 1...2“ (Signalstecker, differentiell auf GND_{Analog})

Eigenschaften	Einheit	Wert / Anmerkung
Eingangsspannungsbereich (Analog IN)	V	0 bis 10
GND-Bezug (differentielle Messung)	-	Analog GND
Eingangs frequenz	KHz	≤ 1
Innenwiderstand	kΩ	8
Signal-Auflösung	bit	10
Messtoleranz (bezogen auf den Endwert 10 V)	%	≤ 2
Schutz gegen Verpolen und Spannungen	V	≤ 28
Änderungen vorbehalten		

Abbildung 38 Elektronische Eigenschaften Analog Eingang

Digital/Analog Wandler

Der MCP4725 Mikrochip wandelt das digitale 5 V Signal vom Arduino in ein analoges Signals von -5 V bis 5 V um. Diese Spannung wird anschliessend noch durch den LM324 Operationsverstärker auf -7 V bis 7 Volt erhöht. Die geforderten 10 V für das Signal können nicht erreicht werden. Die Differenz wird durch Parametrierung der Motorensteuerung wieder kompensiert.

Schema DAC

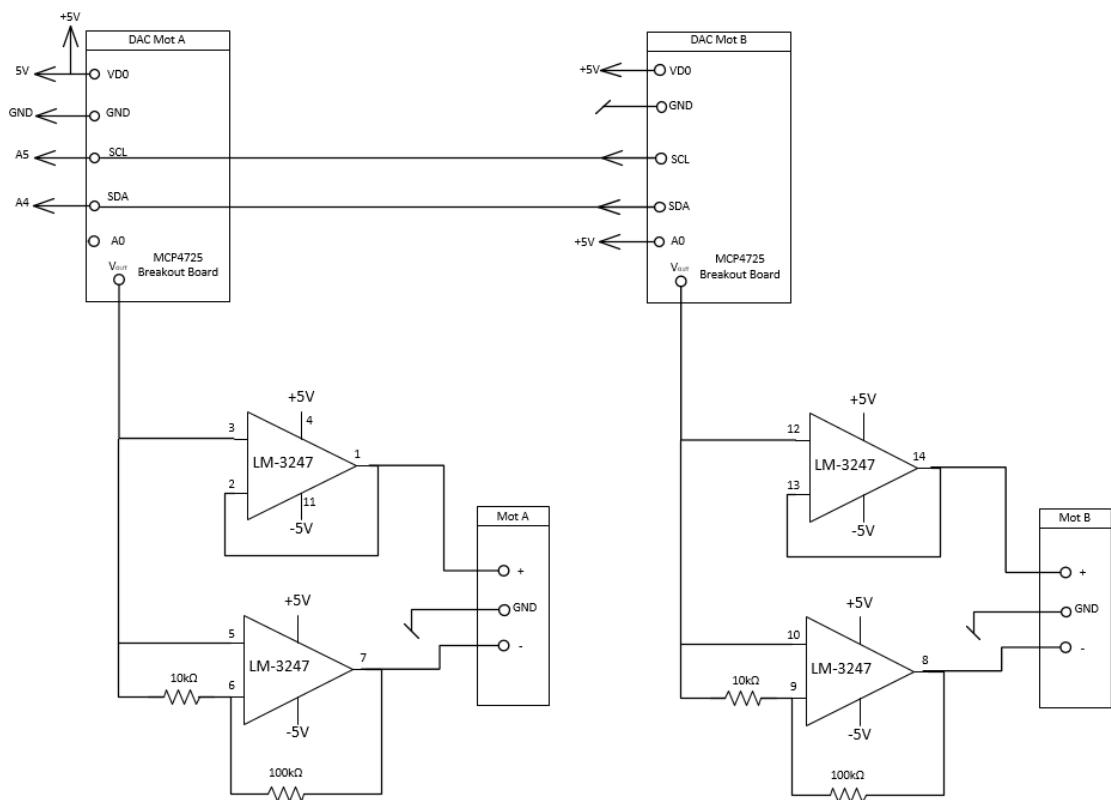


Abbildung 39 Schema des D/A Wandlers

Parametrierung

Um den Motor individuell zu parametrieren kann dieser über ein RS485 Programmier-Bus mit einem Adapter an einem PC verbunden werden.

Für Verbindung mit dem PC sind folgende Komponente nötig:

- USB-CAN-RS485-Adapter
- Schraubenklemmenadapterplatine zum D-SUB 9 Anschluss
- USB Anschlusskabel zum PC

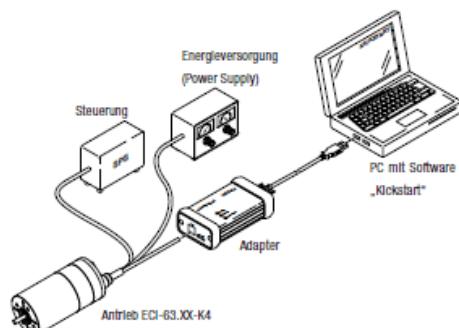


Abbildung 40 Inbetriebnahme Parametrierung



Abbildung 41 USB Adapter

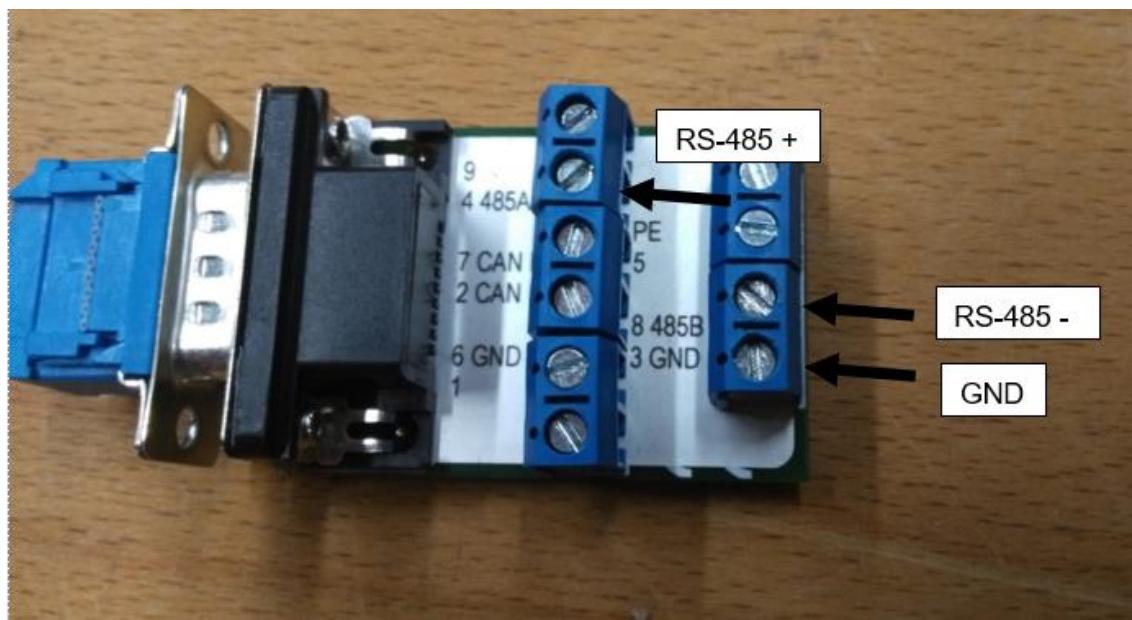


Abbildung 42 Anschlüsse USB Adapter

**Anschluss zum
USB-RS485 Adap-
ter**

- Die Leitung an Pin 10 (violett) wird mit dem Anschluss 4 (RS485 +) des USB-CAN485 Adapters verbunden
- Die Leitung an Pin 11 (grau/rosa) wird mit dem Anschluss 8 (RS485 -) des USB-CAN485 Adapters verbunden
- Spannung „Logik“ von 24V an Pin 12(rot/blau) einschalten
- Spannungsversorgung von 48 V an Motor einschalten
- Am PC die Software „Kickstart“ starten

Kickstart

Mit der Software „Kickstart“ kann auf die Steuerung des Motors zugegriffen werden. Die Software kann auf der Homepage von ebm Papst kostenlos heruntergeladen werden.
<http://www.ebmpapst.com/de/info-center/downloads/downloads.html>

Im Startbildschirm wird zwischen verschiedenen Applikationen ausgewählt. Um die Parameter mit dem RS485 zu modifizieren wird „K4/RS485 Drive Setup“ gewählt.

Basic Applications / Grundanwendungen

CANopen Drive Easy Setup

Easy setup for CANopen drive with unknown baud rate and node ID
 (Einfache Inbetriebnahme eines Antriebs mit unbekannter Baudrate und Node ID)

CANopen Drives Advanced / Network Setup

Advanced configuration for one or several CANopen drives. Additional features include Oscilloscope, Network Scan and custom UI Panel.
 (Erweiterte Konfiguration von einem oder mehreren CANopen-Antrieben. Zusätzliche Funktionen wie Oszilloskop-Modul, Netzwerk-Scan und applikationsspezifische Bedienoberfläche.)



WARNING - The above projects are for isolated testing and configuration. Do not use within a running CANopen network.



WARNUNG - Obige Projekte sind für isolierte Test und Konfiguration bestimmt. Benutzen Sie die Projekt-Dateien nicht in einem laufenden CANopen-Netzwerk.

K4/RS485 Antrieb Inbetriebnahme

Einrichten und Test eines ebm-papst K4 Antriebs in RS485 Betriebsmodus, über USB2Drive Schnittstellenwandler.

K4/RS485 Drive Setup

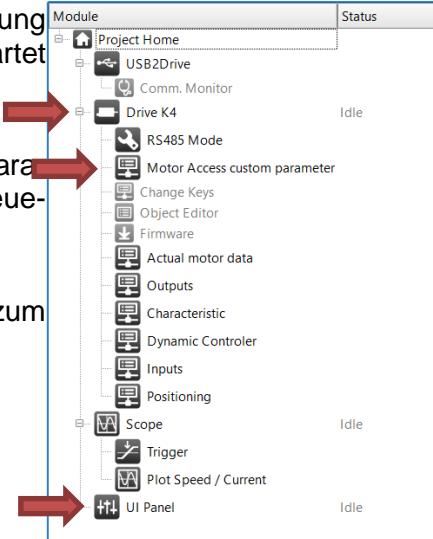
Setup and test of one ebm-papst K4 drive in RS485 operation mode, via USB2Drive gateway interface.

K4/RS485 Drive Advanced Setup

Setup and test of one ebm-papst K4 drive in RS485 operation mode, via USB2Drive gateway interface with advanced UI-Panel.

Drive Setup

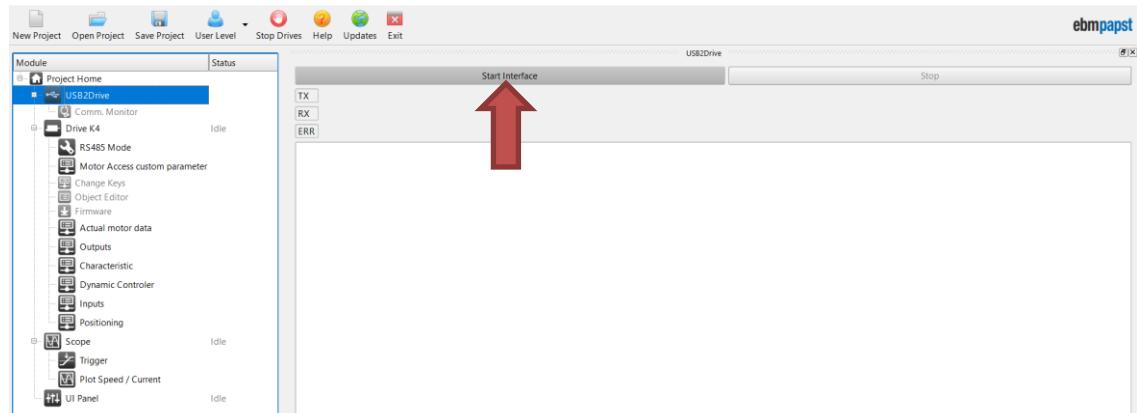
Im Bereich „Drive K4“ kann die Verbindung des PCs mit der Motorensteuerung gestartet werden.



Im Untermenü „Motor Access custom parameter“ werden die Parameter für die Steuerung individuell eingestellt.

Im „UI Panel“ sind aktuelle Angaben zum Motor angezeigt.

Drive k4



Mit einem Klick auf „Start Interface“ wird die Verbindung von Motor und PC gestartet.

Motor Access suc-lm Im Programm können verschiedene Betriebsmodi gewählt werden. Um den Modus zu ändern wird im „Mode 1“ die erste Zahl und im „Mode 2“ die zweite Zahl eingegeben. In unserem Fall wird der Modus 11 verwendet und deshalb wird zweimal eine 1 eingegeben.

	Read	Write	Store	Reset
Node ID	1			
Status	Idle			
Access Key	Customer	0	Set	
Parameter Editor				
	Index	SubIx	Name	Value / Editor
1	3400h	01h	Mode 1	1 ! modified
2	3400h	02h	Mode 2	1 ! modified
3	3400h	03h	Out 1	5 13:17:27 write ok
4	3400h	04h	Out 2	5 13:17:27 write ok
5	3400h	05h	Out 3	5 13:17:28 write ok
6	3400h	06h	Error Recovery	1 11:06:47 read ok
7	3400h	0bh	FE_Speed_X1 [Digits]	0 11:06:47 read ok
8	3400h	0ch	FE_Speed_X2 [Digits]	1023 11:06:47 read ok
9	3400h	0dh	FE_Speed_X3 [Digits]	1023 11:06:47 read ok
10	3400h	0eh	FE_Speed_Y0 [rpm]	0 11:06:47 read ok
11	3400h	0fh	FE_Speed_Y1 [rpm]	0 11:06:47 read ok
12	3400h	10h	FE_Speed_Y2 [rpm]	4000 11:06:47 read ok
13	3400h	11h	FE_Speed_Y3 [rpm]	4000 11:06:47 read ok
14	3400h	12h	FE_Speed_Y4 [rpm]	4000 11:06:47 read ok
15	3400h	13h	Speed_X1_Hyst [Digits]	0 11:06:47 read ok
16	3400h	14h	Speed_X2_Hyst [Digits]	0 11:06:47 read ok

Analog Signal für den Bereich „FE_Speed_X2“ und Drehzahlregelung „FE_Speed_X2“ wird der Bereich des Analogen Signals eingegeben. Die Standardeinstellung sieht ein maximaler Wert von 1023 vor.

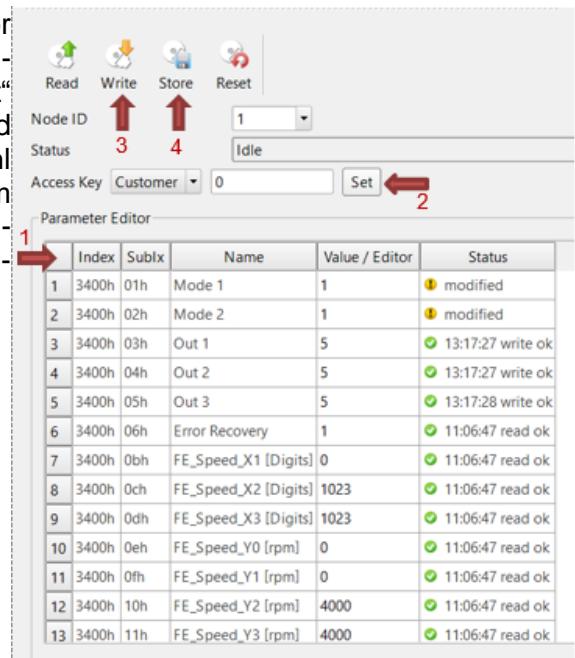
In den Bereichen „FE_Speed_X2“ und „FE_Speed_X3“ steht der Wert für die maximale Drehzahl. Für diesen Motor sind es 4000 min⁻¹.

Das Signal, welches vom Arduino gegeben wird, erreicht nicht die 10 V. Mit einem Signal von 7 V ergibt es einen Wert von 733.

Nun werden die Werte von „FE_Speed_X2“ und „FE_Speed_X3“ von 1023 auf 733 geändert. Dadurch erreicht der Motor bei einem schwächeren Signal trotzdem die maximale Drehzahl.

	Index	SubIx	Name	Value / Editor	Status
4	3400h	04h	Out 2	5 13:17:27 write ok	
5	3400h	05h	Out 3	5 13:17:28 write ok	
6	3400h	06h	Error Recovery	1 11:06:47 read ok	
7	3400h	0bh	FE_Speed_X1 [Digits]	0 11:06:47 read ok	
8	3400h	0ch	FE_Speed_X2 [Digits]	733 ! modified ←	
9	3400h	0dh	FE_Speed_X3 [Digits]	733 ! modified ←	
10	3400h	0eh	FE_Speed_Y0 [rpm]	0 11:06:47 read ok	
11	3400h	0fh	FE_Speed_Y1 [rpm]	0 11:06:47 read ok	
12	3400h	10h	FE_Speed_Y2 [rpm]	4000 ← 11:06:47 read ok	
13	3400h	11h	FE_Speed_Y3 [rpm]	4000 ← 11:06:47 read ok	
14	3400h	12h	FE_Speed_Y4 [rpm]	4000 11:06:47 read ok	
15	3400h	13h	Speed_X1_Hyst [Digits]	0 11:06:47 read ok	
16	3400h	14h	Speed_X2_Hyst [Digits]	0 11:06:47 read ok	

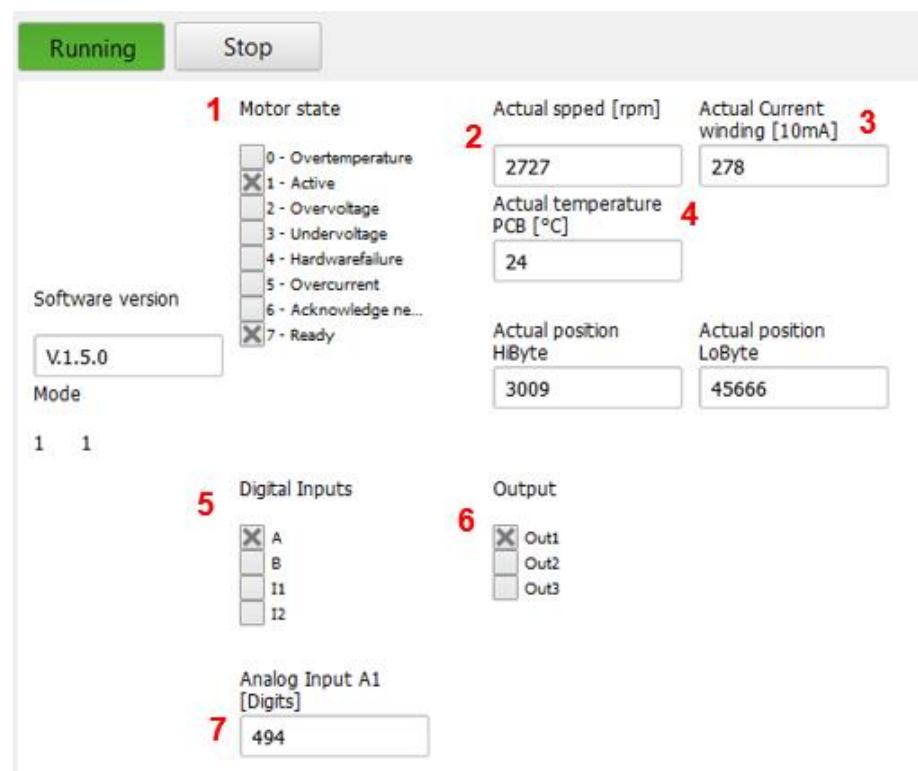
Um die geänderten Werte nun für den Motor zu übernehmen kann auf die obere Ecke geklickt werden um alle auszuwählen. Mit „Set“ werden die Werte gelesen. Anschliessend werden die Parameter mit dem Befehl „Write“ auf die Steuerung geschrieben. Um die Parameter permanent in der Motorensteuerung zu speichern muss noch der Befehl „Store“ gewählt werden.



Nun kann die USB Verbindung getrennt werden und der Motor in Betrieb genommen werden.

Wird der Motor während des Betriebs wieder am PC angeschlossen, können Informationen des Motors im „UI Panel“ eingesehen werden.

1. Status des Motors
2. Momentane Drehzahl
3. Stromverbrauch in 10mA
4. Temperatur
5. Digitale Inputs
6. Outputs
7. Wert des analogen Signals



Betriebsmodus

Es können zwischen diversen verschiedenen Betriebsmodi gewählt werden. Diese sind im Benutzerhandbuch der K4 Motorenreihe von ebm Papst beschrieben.

In unserem Fall wurde der Modus 11 gewählt.

Bei Eingangsbeschaltung IN A=1 und IN B=0 dreht der Motor in positive Drehrichtung. Wenn die Eingänge IN 1=0 und IN 2=0 sind, wird der Analogwert von Analog IN 1 verwendet und die Drehzahl ist abhängig von diesem Wert.

IN A	IN B	IN 1	IN 2	Drehzahl		Stromgrenze		Funktion	Bemerkung
				direction	Wert	Typ	Wert		
0	0	x	x	-	0	-	-	Freilauf	Kein Bremsen, keine Bestromung
1	0	0	0	pos	A1	S	P	N Regelung	
1	0	1	0	pos	N1	S	P	N Regelung	
1	0	0	1	pos	N2	S	P	N Regelung	
1	0	1	1	pos	N3	S	P	N Regelung	
0	1	0	0	neg	A1	S	P	N Regelung	
0	1	1	0	neg	N1	S	P	N Regelung	
0	1	0	1	neg	N2	S	P	N Regelung	
0	1	1	1	neg	N3	S	P	N Regelung	
1	1	0	0	-	0	S	P	Stop	Bremsen und Halten
1	1	1	0	-	0	S	P	Stop	Bremsen und Halten
1	1	0	1	-	0	S	P	Stop	Bremsen und Halten
1	1	1	1	-	0	S	P	Stop	Bremsen und Halten

Abbildung Betriebsmodus 11

S=Statisch

P=Parameter

6.4.3 Steuerung Drehscheibe

Allgemein Die Drehscheibe zur Förderung der Bälle wird mit einem ECI-42.40-B00-K1 von ebm Papst angetrieben. Für die Steuerung dieses Motors wird ein externes Steuermodul benötigt, welches ebenfalls von ebm Papst bezogen werden kann.

Betriebselektronik V04 Die Drehzahlvorgabe kann über einen Sollwerteingang von 0 bis 6 V mittels Pulswellenmodulation getätigt werden. Mit einem Arduino kann dies direkt angesteuert werden. Weil für die Anwendung nicht die volle Drehzahl benötigt wird reicht ein Signal von 5 V vom Arduino.
Für eine einfache Verkabelung sind Klemmanschlüsse vorhanden. Für Motor und Elektronik ist nur eine Versorgungsspannung notwendig.



In Abbildung 43 sind die Ein- und Ausgänge des Steuerungsmoduls aufgelistet.

- Pin 2 aktiviert die Leistungsstufe, dieser wird für unsere Anwendung permanent mit eingeschaltet.
- Pin 3 wird für den Betrieb der Bremsen benutzt. Im Einzelschussmodus muss der Motor nach einer 1/5 Umdrehung gebremst werden.
- Pin 8 liefert die Stromversorgung für Enable und die Bremse
- Pin 10 ist die Versorgungsspannung zur Drehzahlregelung
- Pin 11 erhält vom Arduino das Signal zur Drehzahlregelung
- Pin 12 ist die Erdung

Stecker Ein-/Ausgänge

PIN	Bezeichnung	Farbbelegung zu Motor DPM 28...	Beschreibung
1	FAULT OUT	–	Fehlerausgang, open collector
2	ENABLE	–	Aktivierung Leistungsstufe (+6 VDC)
3	BRAKE	–	Aktivierung Bremsen bei low level (0 V). Deaktivierung Bremsen bei high level (+6 VDC)
4	CW/CCW	–	Drehrichtung, Der Drehrichtungswechsel erfolgt, wenn der Eingang auf GND gelegt wird.
5	HALL A	blau	Hallsensor A
6	HALL B	orange	Hallsensor B
7	HALL C	braun	Hallsensor C
8	+V HALL	gelb	Spannungsversorgung HALLSENSOR, ENABLE und BRAKE (+5 V; max. 20 mA)
9	SPEED OUT	–	Gegentaktausgang zur Drehzahlerfasung; 12 Impulse pro 360° bei 4-poligem Motor
10	+ 5V out	–	Versorgungsspannung zur Drehzahlstellung über Potentiometer (+6 VDC)
11	+ REF	–	Eingang Referenz Motordrehzahl (0...6 VDC)
12	GND	weiß	Masse

Abbildung 43 Ein/Ausgänge V04

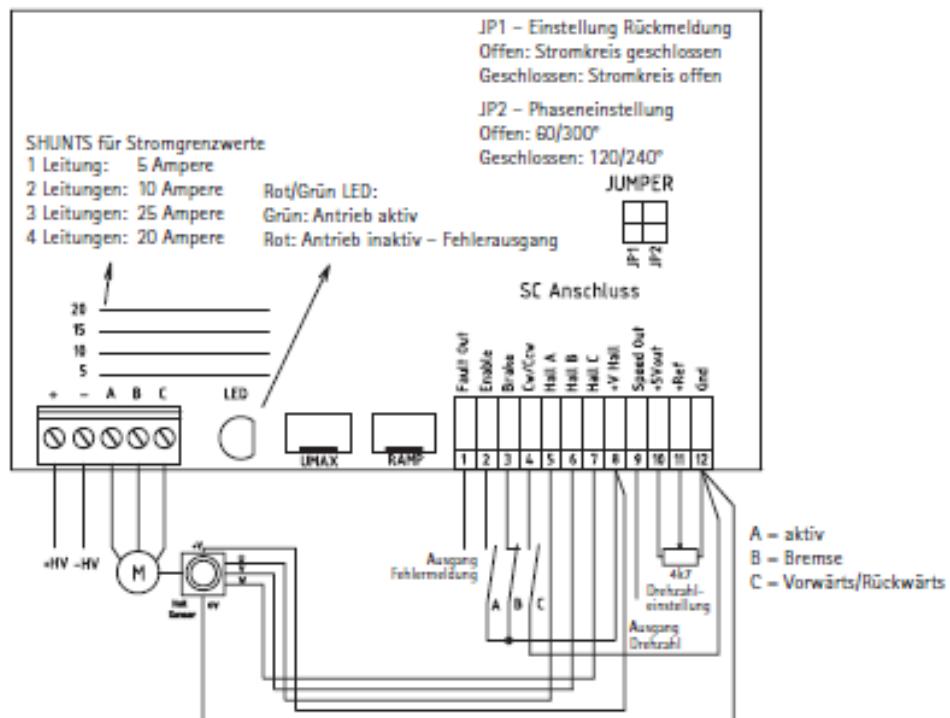


Abbildung 44 Schema V04

Verkableitung

Die Verkabelung der Steuerung ist dem Schaltplan zu entnehmen.

6.4.4 Steuerung Zielvorrichtung

Servo

Mit den drei Servos HS-8775MG von Hitec werden die Zielklappen bewegt. Die Signale für die Winkeleinstellung kommen direkt vom Arduino.

Weil die Stromversorgung über den Arduino nicht ausreicht um den Touchscreen und alle drei Servos zu versorgen braucht eine externe Speisung von 5 V. Der maximale Stromverbrauch eines Servos liegt bei 3 A. Deshalb muss darauf geachtet werden, dass das 5 V Netzteil ausgelegt ist um genügend Strom zu liefern.



6.4.5 Arduino

Die Programme für die Steuerung werden mit der Software Arduino IDE geschrieben. Als erstes wird ein Programm für den Einzelschussmodus ausgelegt. Damit sollen die Tests der Maschine durchgeführt werden.

- Programmierung Beschleuniger** Das Programm, das den Digital/Analog Wandler mit dem Arduino ansteuert, wurde, wie die Hardware, von Herrn Raillard zur Verfügung gestellt.
Um den D/A Wandler MCP4725 ansteuern zu können, muss zuerst eine eigens dafür vorgesehene Bibliothek der Software hinzugefügt werden.
`#include <Adafruit_MCP4725.h>`

Anschliessend wird das Signal im Programm umgewandelt und über einen Befehl in der gewünschten Spannung ausgegeben.

```
void setDac2DifferentialOutputVoltage(double voltage)
{
    int data=voltage*4095/5.0;
    data=data/2;//Ausgang Differentiell, nur halbe Spannung pro DAC!
    dac2.setVoltage(data, false);
}

void loop(void)
{

    setDac1DifferentialOutputVoltage(7); //Spannungsoutput für Motor1
    setDac2DifferentialOutputVoltage(7); //Spannungsoutput für Motor2
```

Abbildung 45 Ausschnitt Programm Beschleuniger

Für die Variierung der Drehzahl werden Spannungen zwischen 2 und 7 Volt ausgegeben. Bei einer Spannung von 7 Volt erreicht der Motor die maximale Drehzahl von 4000 min^{-1} , bei einer Spannung von 2 Volt ca. 1100 min^{-1} .

Die effektive Geschwindigkeit des Balls bei diesen Umdrehungen müsste mit Tests ermittelt werden. Gegebenenfalls kann der Bereich noch angepasst werden.

- Programmierung Drehscheibe** Für das Einzelschussprogramm wird das Programm der Drehscheibe so geschrieben, dass beim Drücken des Knopfs «Schuss» die Scheibe um ca. 1/5 gedreht wird um genau einen Ball auszugeben.
Die Position des Motors wird nicht erfasst. Deshalb wird die Umdrehung zeitgesteuert ausgeführt. Der Motor wird für 1.5 Sekunden angetrieben und wieder gebremst. Der genaue Winkel, welcher gefahren wurde, ist aus der Steuerung nicht ersichtlich. Die optimale Zeit für eine Umdrehung, dass nicht noch ein zweiter Ball nachkommen kann, muss mit Tests ermittelt werden.

```

analogWrite(motorSpeedPin, HIGH); // Motor einschalten
delay(1500); // 1.5 sekunden für halbe Umdrehung
analogWrite(motorSpeedPin, 0); // Motor anhalten
digitalWrite(motorBreakPin, LOW); // Bremse aktivieren
delay(500); // 0.5 Sekunde warten
digitalWrite(motorBreakPin, HIGH); // Bremse deaktivieren

```

Abbildung 46 Auszug aus Programm Einzelschuss

Für das Programm der automatischen Schussfolge würde die Drehzahl der Scheibe variiert werden um so die Schusskadenz zu verändern. Erst beim Drücken des Knopfs «Stopp» würde die Bremse aktiviert. Die Drehzahl kann, gleich wie beim Beschleuniger, mit dem Touchscreen bedient werden.

Um die Position der Drehscheibe zu erfassen könnte einen Sensor als Lichtschranke an der Scheibe angebracht werden. (In Abbildung 47 als rote Linie markiert)

Das Signal für das Bremsen des Motors kann dann gegeben werden, sobald die Drehscheibe die Schranke passiert. Damit wird sichergestellt, dass nur ein einzelner Ball abgeschossen wird.

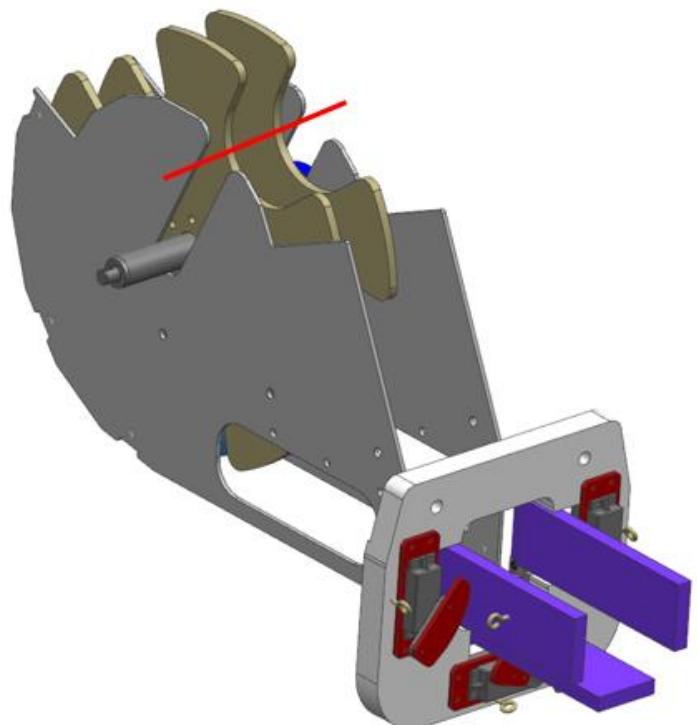


Abbildung 47 Lichtschranke für Positionierung

Programmierung Servos	Das Signal für die Servos kann direkt vom Arduino über ein PWM Ausgang gegeben werden. Als Wert wird der gewünschte Winkel eingegeben. Dies wird über den Schieber am Touchscreen gesteuert. Bei einem Neustart sollen die Servos in die Ausgangsposition fahren.
------------------------------	---

Serielle Kommunikation	Das ursprüngliche Konzept sah vor, die Steuerung mit zwei Arduinos umzusetzen. Zwei Arduinos können mit serieller Kommunikation Signale untereinander senden und empfangen. Der erste soll mit dem Touchscreen verbunden werden und dessen Signale umwandeln und an den nächsten Arduino weiter senden. Der zweite empfängt und verarbeitet die Signale und sendet sie weiter an den jeweiligen Motor oder Servo.
-------------------------------	---

Dadurch hätten der Touchscreen und die drei Servos die Stromversorgung vom Arduino und ein 5 V Netzteil wäre nicht nötig.

Bei den Tests kam es jedoch zu Problemen. Die Steuerung der Servos durch den Touchscreen via serieller Kommunikation funktionierte nur sporadisch. Am PC konnten die gesendeten und empfangenen Signale überwacht werden. Für einige Stunden wurden die richtigen Signale übertragen, danach jedoch wieder für weiter Stunden nicht mehr, obwohl am ganzen Aufbau nichts verändert wurde. Die Ursache könnten Störungen in den Signalen sein welche nur teilweise auftraten.

Auf Grund der unzuverlässigen Funktionalität wurde entschieden die Steuerung ohne serielle Kommunikation aufzubauen. Erste Tests ergaben, dass dies so funktioniert. Jedoch braucht es eine zusätzliche Speisung von 5 V für die Servos. Ansonsten würde der Touchscreen nicht funktionieren.

6.4.6 Touchscreen

4D-Systems Die Firma 4D-Systems ist spezialisiert in der Entwicklung und Herstellung von Grafik Hardware. Der Sitz des Unternehmens ist in Sydney Australien.

Touchscreen Der «gen4-uLCD-70DCT-CLB-SB» ist ein [Bild mit HSR Hintergrund](#) kapazitiver Touchscreen mit 7" Bildschirm. Die Technologie von kapazitiven Touchscreens wird auch bei Smartphones und Tablets eingesetzt.

Shield Adapter Für die Verbindung des Touchscreens mit dem Arduino gibt es einen speziell dafür ausgelegten Shield Adapter, welcher auf einen Arduino aufgesteckt werden kann.

Die Kommunikation mit dem Arduino erfolgt über die Pins 2 und 3. Abbildung 48 zeigt das Schema des Adapter Shield und die Verbindung mit dem Arduino.

Über die Jumper Shunts (J2) könnte eine externe Stromversorgung von 5 V für den Bildschirm angeschlossen werden anstatt via Arduino.

Ein Betriebsanleitung zum Shield Adapter und auch zum Touchscreen findet sich auf der Homepage von 4D Systems.

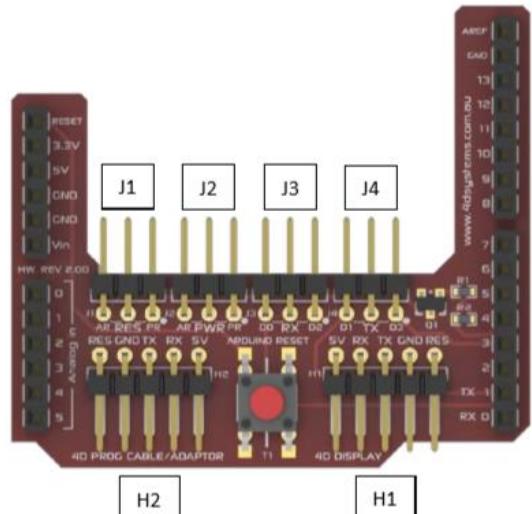


Abbildung 48 Arduino Shield Adapter

<http://www.4dsystems.com.au/>

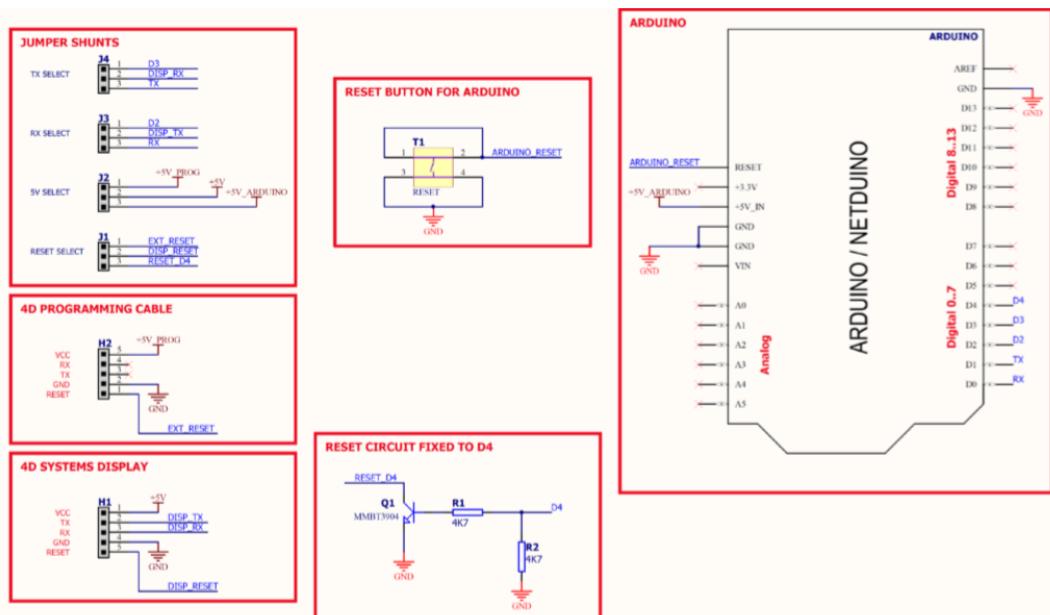


Abbildung 49 Schema Arduino Shield Adapter

Workshop 4 IDE

Die Benutzeroberfläche des Bildschirms kann mit einer Software, die von 4D Systems kostenlos heruntergeladen werden kann, programmiert werden.

Das Programm besteht aus drei Unterprogramme, Designer, ViSi und ViSi Genie. Bei den ersten beiden kann die Oberfläche mit 4DGL code geschrieben werden. Dazu sind Vorkenntnisse in diesem Bereich notwendig.

Mit ViSi Genie kann der Display mit dem «Drag and Drop» System individuell zusammengestellt werden, die Programmierung findet automatisch im Hintergrund statt.

Dadurch kann die Benutzeroberfläche sehr einfach und schnell aufgebaut werden.

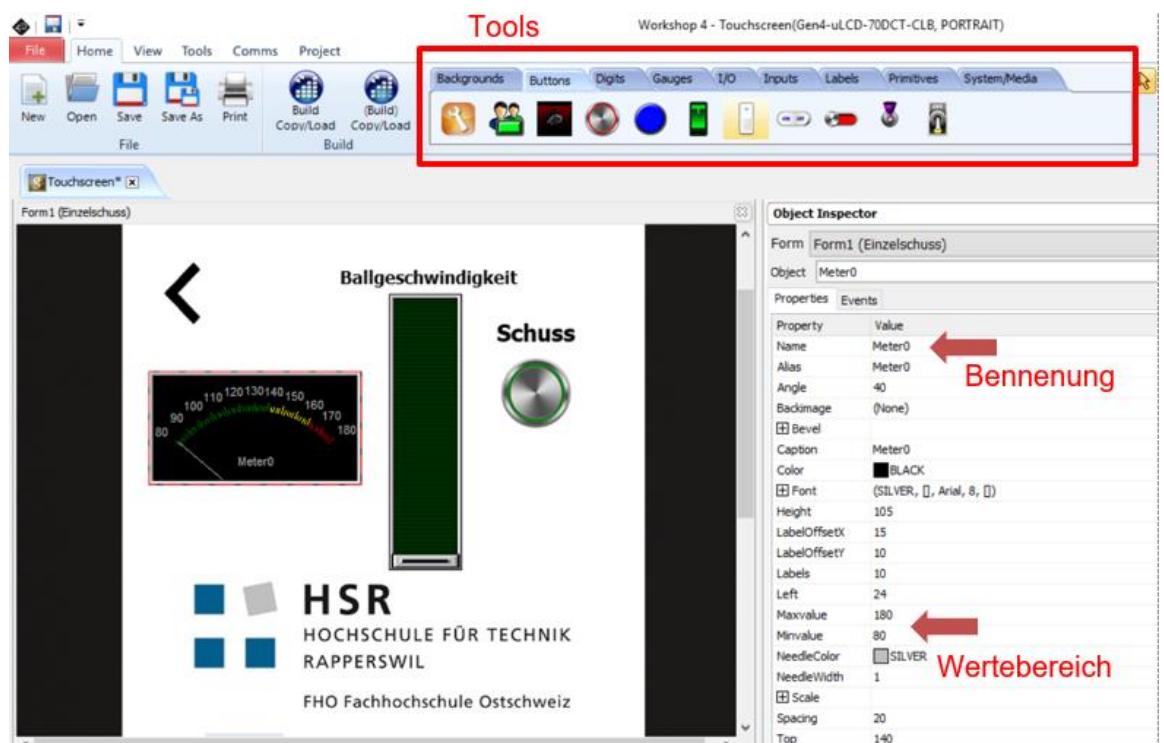


Abbildung 50 Benutzeroberfläche ViSi Genie

Der Hintergrund kann durch Farben dargestellt werden oder es ist möglich ein eigenes Bild einzufügen. In den Untermenüs können Knöpfe, Schieber, Anzeigen und andere Tools eingefügt werden. Bei Schieber oder Meteranzeigen können die Wertebereiche im Menü ausgewählt werden.

Wichtig für die Arduino Programmierung ist die Benennung der einzelnen Objekte. Der Name (Object ID) sagt aus um was es sich handelt. In Abbildung 51 handelt es sich um eine „Coolgauge“. Die Zahl steht für den Index und steigt wenn ein weiteres Objekt des gleichen Typs eingefügt wird. Auf diese Weise kann vom Arduino unterschieden werden was auf dem Touchscreen gedrückt wurde.

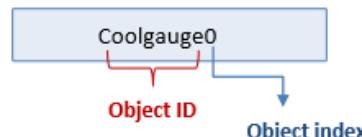


Abbildung 51 Benennung von Objekten

Im Untermenü «Events» kann für jedes Objekt definiert werden was passieren soll sobald es betätigt wird.

Der Slider0 steht für den Schieber für die Ballgeschwindigkeit. Sobald dieser verändert wird gibt das Programm den Befehl «Report Message», ein Signal wird gesendet. Gleichzeitig wird die Veränderung auf dem Meter0 (Geschwindigkeitstacho) gesetzt.

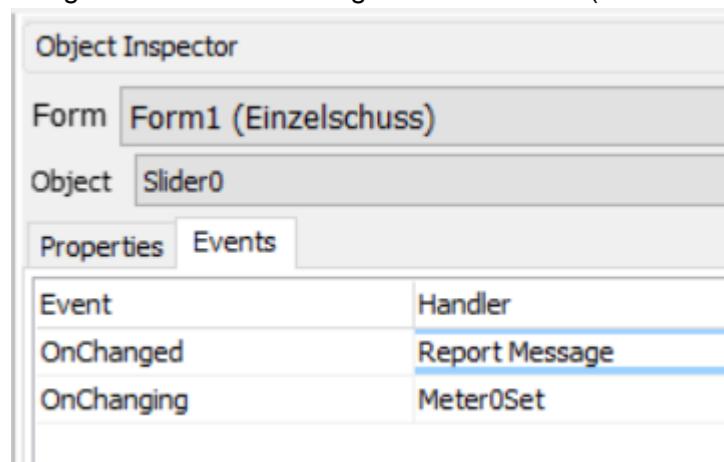


Abbildung 52 Event Slider0

- Programmieren** Für die Verbindung des Touchscreens mit dem PC wird ein Programmieradapter verwendet. Mit einem FFC Kabel wird dieser am Touchscreen und via Micro USB am PC angeschlossen. Die SD Speicherkarte wird ebenfalls am PC angeschlossen.

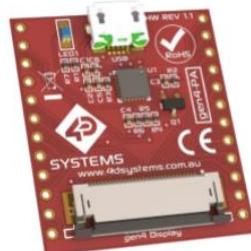


Abbildung 53 Programmieradapter

Im Menü «Comms» muss sichergestellt werden, dass das Programm den Display erkennt. Unter «Project» kann die Baud Rate gewählt werden. Diese muss mit der Baud Rate im Arduino Programm übereinstimmen. Für die Steuerung der Ballschussmaschine wurde diese auf 2400 festgelegt. Im Bereich «Destination» wird der Speicherort der erstellten Oberfläche ausgewählt. Dies sollte auf «Run Flash» stehen.

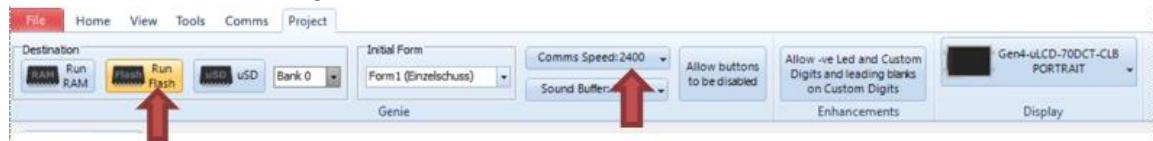


Abbildung 54 Project

Anschliessend wird im Home Bereich das Programm auf den Touchscreen geladen in dem auf den Button Build Copy/Load geklickt wird. Nun kann das Kabel getrennt werden und die SD Karte wieder in den Touchscreen eingefügt werden.

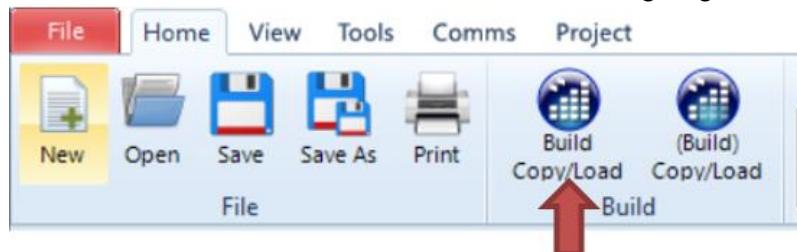


Abbildung 55 Laden des Programms

- Probleme mit der Software** Beim ersten Versuch den Touchscreen zu programmieren wurden von der Software Fehlermeldungen angezeigt. Der Support vom 4D Systems konnte beim Lösen des Problems

helfen. Einige Einstellung beim Programm mussten angepasst werden. Abbildung 56 zeigt die richtigen Einstellungen um die Fehler zu vermeiden.

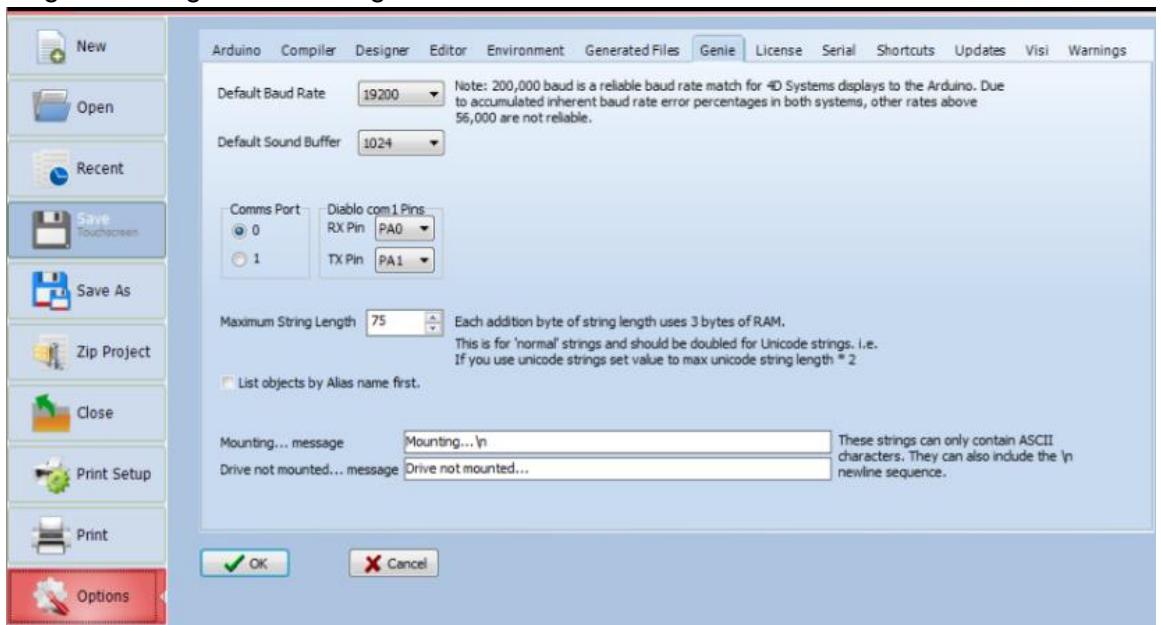


Abbildung 56 Genie Einstellungen

Programmierung am Arduino

Um den Touchscreen mit dem Arduino programmieren zu können muss zuerst eine Bibliothek, welche von Hersteller zur Verfügung gestellt wird, installiert werden. Diese kann gratis heruntergeladen werden.

<https://github.com/4dsystems/ViSi-Genie-Arduino-Library>

Bei jedem Neustart des Touchscreens soll auf diesem ein «Reset» durchgeführt werden. Dies wird im Setup des Arduino Programms vorgenommen. Abbildung 57 zeigt die Standard Einstellungen des Setups um den Touchscreen ansteuern zu können.

Mit dem Befehl `genie.WriteContrast(5);` kann der Kontrast des Displays eingestellt werden.

```

Test_TouchscreenButton §

#include <genieArduino.h>
#define RESETLINE 4

Genie genie;

void setup() {
    Serial.begin(2400);
    mySerial.begin(2400);
    genie.Begin(Serial);

    genie.AttachEventHandler(myGenieEventHandler);

    pinMode(RESETLINE, OUTPUT);
    digitalWrite(RESETLINE, 1);
    delay(100);
    digitalWrite(RESETLINE, 0);
    delay (3500);

    genie.WriteContrast(5);
    genie.WriteString(0, GENIE_VERSION);
}

```

Abbildung 57 Touchscreen Setup

Im Programmabschnitt «loop» wird lediglich auf Befehlsschlaufe des Touchscreens verwiesen.

```
void loop() {
    genie.DoEvents();
}
```

Abbildung 58 void loop

Die Aufführung der Befehle findet im sogenannten «myGenieEventHandler» statt. *genieFrame Event* ist von der Bibliothek definiert und enthält die Struktur der Befehle, die vom Touchscreen kommen.

Denie.DequeueEvent(&Event) reiht die ankommenden Befehle in eine Liste ein und arbeitet diese der Reihe nach ab.

Als erstes wird abgefragt ob ein Signal vom Touchscreen kommt

```
if (Event.reportObject.cmd==GENIE_REPORT_EVENT)
```

Anschliessen wird geprüft um was es sich handelt. Hier wird der Name des Objektes eingegeben welcher vom Programm Workshop 4IDE vorgegeben ist. Im Beispiel auf Abbildung 59 handelt es sich um einen Knopf (4DBUTTON)

```
if (Event.reportObject.object==GENIE_OBJ_4DBUTTON)
```

Zum Schluss wird der Index des Objekts abgefragt, um von anderen Knöpfen auf dem Display unterschieden zu können. Dies wird in hexadezimaler Form angegeben. Die Indexnummer in Abbildung 59 ist 4.

```
if (Event.reportObject.index==0x004)
```

Jetzt kann der gewünschte Befehl eingegeben werden, welcher ausgeführt werden soll bei drücken des Knopfs.

```
void myGenieEventHandler(void)
{
    genieFrame Event;
    genie.DequeueEvent (&Event);

    if (Event.reportObject.cmd == GENIE_REPORT_EVENT)
    {
        if (Event.reportObject.object == GENIE_OBJ_4DBUTTON)
        {
            if (Event.reportObject.index == 0x004)
            {
                // Hier auszuführender Befehl einfügen
            }
        }
    }
}
```

Abbildung 59 Touchscreen Befehle

6.4.7 Stromversorgung

Netzteil

Die vier Netzteile, 48V ,24V, 12V und 5V werden über ein Netzkabel mit den 230 V versorgt. Dazu wurden im Gehäuse ein Einbau Gerätestecker montiert. Um die gelöteten Stellen abzudecken wurde ein passendes Gehäuse mit dem 3D Drucker gefertigt.



Abbildung 60 Einbau Gerätestecker

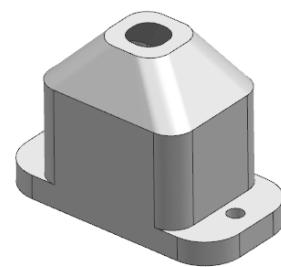


Abbildung 61 Steckergehäuse

Abbildung 63 zeigt den Schaltplan der Steuerung für die Ballschussmaschine. Für eine bessere Übersicht ist ein grösserer Ausdruck des Schaltplanes im Anhang.

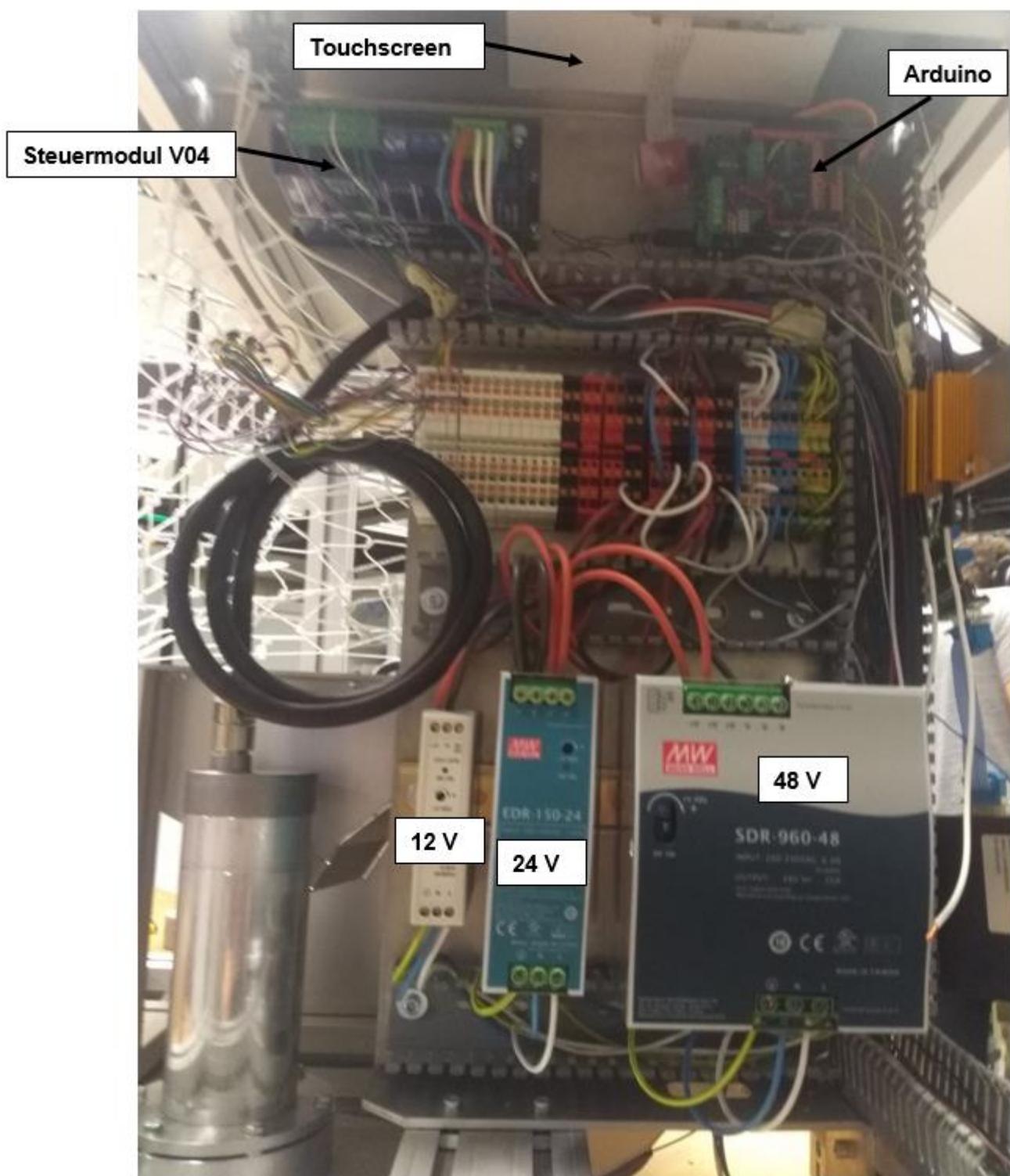


Abbildung 62 Foto Verkabelung

Schaltplan Ballschussmaschine

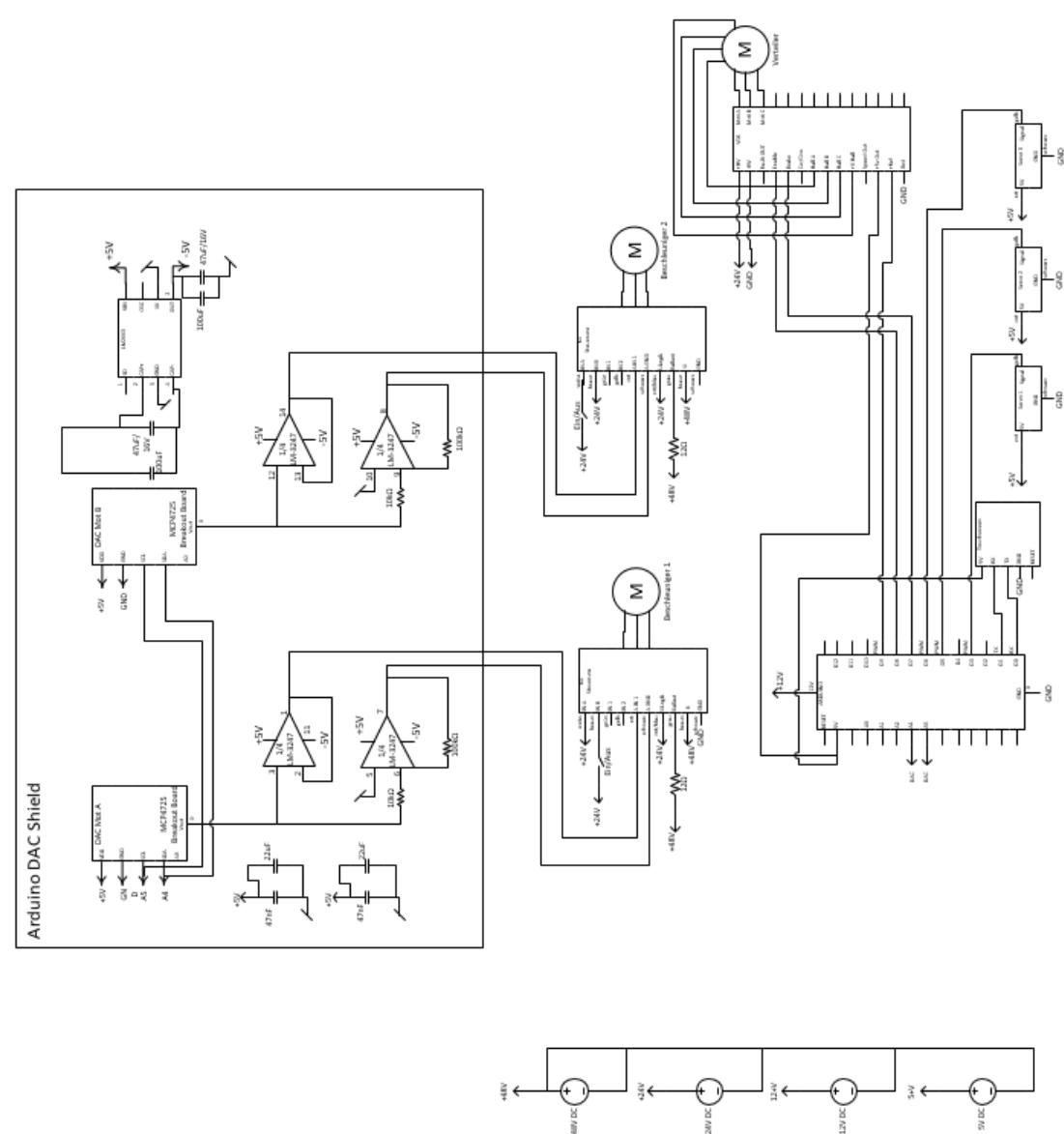


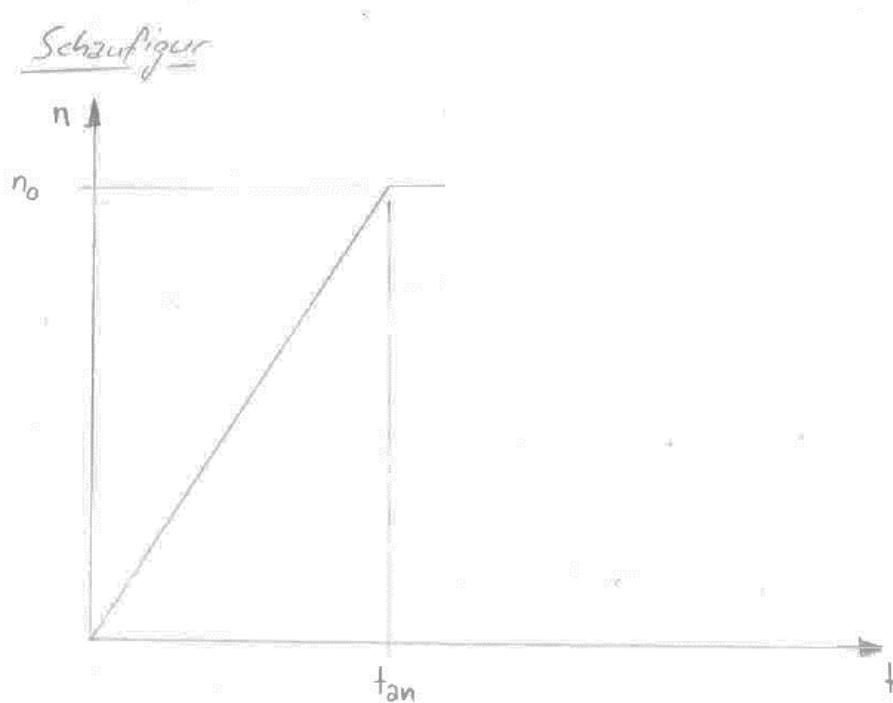
Abbildung 63 Schaltplan

6.5 Berechnungen

6.5.1 Berechnung Anlaufzeit Drehscheibe

Beschrieb Die Anlaufzeit ist ein wichtiger Parameter. Sie wurde bei der Wahl der Drehscheibe und des Motors immer nachgerechnet. Im diesem Abschnitt wird die Berechnungsgrundlage dazu erläutert und die Werte für die finale Ausführung durchgerechnet.

Berechnung Die Scheibe wird vom Stand bis auf die Nenndrehzahl n_0 beschleunigt.



Also kann mit folgenden gegebenen Werten:

- Masse Antriebswelle $m_w = 0.421\text{kg}$
- Trägheitsradius Antriebswelle $i_w = 22.979\text{mm}$
- Masse Beschleunigungsscheibe POM $m_{SP} = 3.082\text{kg}$
- Masse Beschleunigungsscheibe Aluminium $m_{SA} = 6.121\text{kg}$
- Trägheitsradius Beschleunigungsscheiben (POM und Aluminium) $i_s = 100.062\text{mm}$
- Nenndrehzahl $n_0 = 4000 \text{ 1/min}$
- Massenträgheit Motor $J_M = 57\text{kgmm}^2$
- Nennmoment Motor $M_M = 0.76\text{Nm}$

die Anlaufzeit wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned}
 \omega_0 &= n_0 \cdot \frac{\pi}{30} = 4000 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{\pi \text{ min}}{30 \cdot 5} = 418,9 \text{ s}^{-1} \\
 \text{POM-S: } \sum M &= J \cdot \alpha \Rightarrow \alpha_p = \frac{\sum M}{\sum J} = \frac{M_p}{m_w \cdot i_w^2 + m_{sp} \cdot i_s^2 + J_M} \\
 &= \frac{760,9 \text{ Nm}}{0,4216 \cdot (100,062 \text{ mm})^2 + 3,082 \cdot (100,062 \text{ mm})^2 + 526 \text{ gmm}^2} \\
 \alpha_p &= 24,4 \text{ s}^{-2} \quad (\alpha_A = 12,3 \text{ s}^{-2}) \\
 t_{an-P} &= \frac{\omega_0}{\alpha_p} = \frac{418,9 \text{ s}^{-1}}{24,4 \text{ s}^{-2}} = 17,2 \text{ s} \quad (t_{an-A} = 34,1 \text{ s})
 \end{aligned}$$

Also ist die Anlaufzeit für die POM-Scheibe $t_{an-P} = 17.2 \text{ s}$ und für die Aluminium-Scheibe $t_{an-A} = 34.1 \text{ s}$.

Die Lagerreibung wurde vernachlässigt.

Auswertung

Die Anlaufzeit ist insbesondere bei der Aluminiumscheibe relativ hoch. Als Massnahme wurde die Anlage so programmiert, dass sie direkt beim Einschalten die Scheiben auf die Nenndrehzahl hochfährt. Auf konstanter Drehzahl ist der Stromverbrauch nicht sehr hoch, da die Scheiben ausserhalb des Schussbetriebs frei drehen.

Natürlich bedeutet das auch, dass zu extreme Schussgeschwindigkeitswechsel nicht möglich sind. Dazu müsste man stärkere Motoren einbauen oder Scheiben mit einer geringeren Massenträgheit einsetzen.

6.5.2 Energieerhaltung in der Scheibe bei Schuss

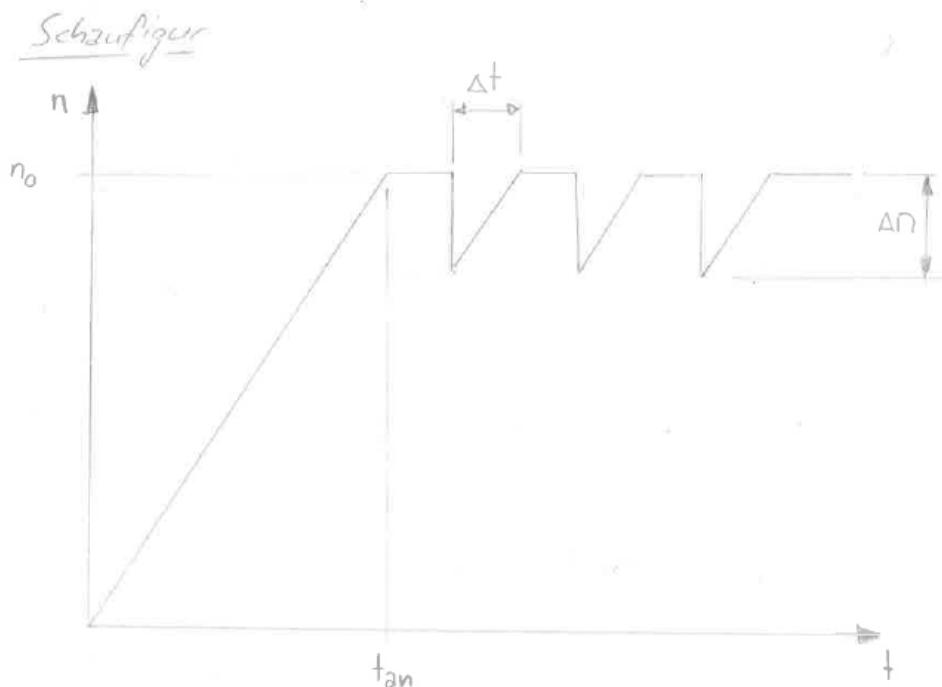
Beschrieb

Während des Schussbetriebes müssen die Motoren dazu in der Lage sein, die Scheiben auf der gewünschten Drehzahl zu halten oder sogar beschleunigen zu können. Deshalb darf der Energieverlust durch das Abschiessen der Bälle kleiner sein, als die vom Motor gelieferte Energie.

Diese Berechnung baut auf den Werten vom Kapitel 6.5.1 Berechnung Anlaufzeit Drehscheibe auf.

Berechnung

Wird die Drehzahlkurve vom Kapitel 6.5.1 Berechnung Anlaufzeit Drehscheibe weitergeführt, so könnte sie vereinfacht wie folgt aussehen.



Folgende gegebenen Werte müssen ergänzt werden:

- Radius Beschleunigungsscheiben $r_s = 140\text{mm}$
- Masse Unihockeyball $m_B = 0.023\text{kg}$

Wie in der Beschreibung erwähnt, kann die Drehzahländerung Δn und die Zeit für die Arbeitszeit Δt mit dem Energieerhaltungssatz berechnet werden.

Energieerhaltung

$\text{nur halbe Energie von 1 Scheibe notwendig}$
 $= (r_s \cdot \omega_1)^2$

$$E_{kin1} = E_{kin2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} J_{IP} \omega_0^2 = \frac{1}{2} \cdot J_{IP} \cdot \omega_{IP}^2 + \frac{1}{4} m_B \cdot V_B^2$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} J_{IP} (\omega_0^2 - \omega_{IP}^2) = \frac{1}{2} m_B \cdot r_s^2 \cdot \omega_{IP}^2$$

$$\Leftrightarrow J_{IP} \omega_0^2 = \omega_{IP}^2 \left(\frac{1}{2} m_B \cdot r_s^2 + J_{IP} \right)$$

$$\Leftrightarrow \omega_{IP} = \sqrt{\frac{J_{IP} \omega_0^2}{\frac{1}{2} m_B \cdot r_s^2 + J_{IP}}}$$

$$\Rightarrow \omega_{IP} = 417,4 \text{s}^{-1}$$

$$\Delta \omega_p = \omega_0 - \omega_{IP} = 418,9 \text{s}^{-1} - 417,4 \text{s}^{-1} = 1,5 \text{s}^{-1}$$

$$\Delta t_p = \frac{\Delta \omega_p}{\omega_p} = 0,06 \text{ s}$$

Die Drehzahländerung $\Delta\omega_P = 1.5 \text{ rad/s}$ entspricht einem $\Delta n = \text{ca. } 14 \text{ U/min.}$

Die Lagerreibung wurde vernachlässigt. Es wurde ausser Acht gelassen, dass sich der Ball nicht deformiert und kein Abrieb zwischen Scheibe und Ball stattfindet.

Weil die Rechnung auf dem Energieerhaltungssatz beruht, ist die Arbeitszeit Δt von der Aluminium-Scheibe und der POM-Scheibe gleich. Die Drehzahländerung würde tiefer ausfallen.

Auswertung

Die Resultate sind unbedenklich. Jedoch ist die Aussagekraft dieser Berechnung etwas fragwürdig, denn die benötigte Deformationsenergie, die durch die Scheiben in den Ball eingebracht wird, könnte die Beschleunigungsenergie deutlich übersteigen. Die Bestimmung der benötigten Deformationsenergie ist an dieser Stelle zu aufwendig, da dafür umfangreiche numerische Methoden angewandt werden müssten. Darüber hinaus kann der Scheibenabstand durch den Monteur beliebig justiert werden.

7 Schlussfolgerungen, Ausblicke und Empfehlung

7.1 Bilder von aktuellem Stand

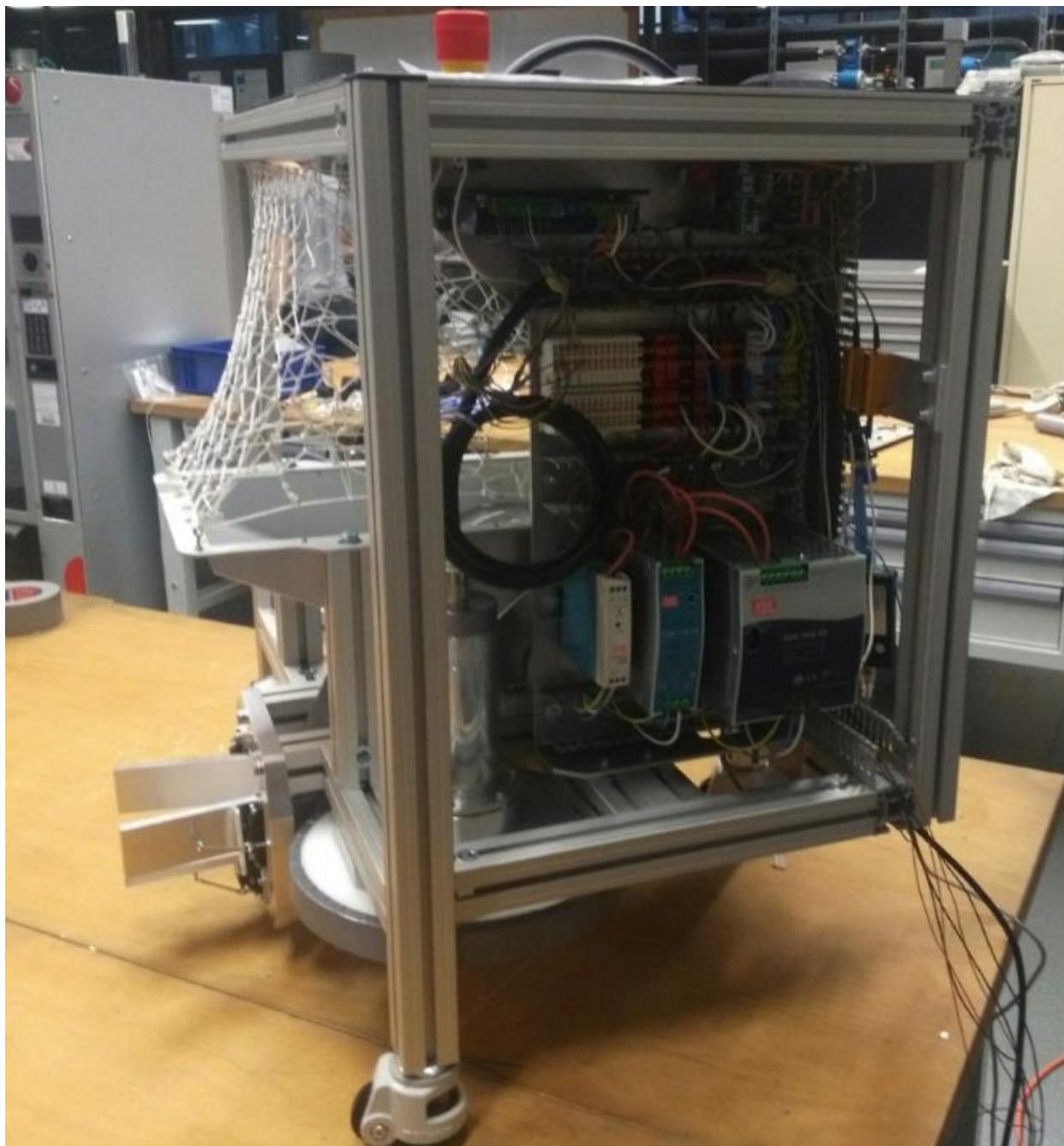


Abbildung 64 Ansicht von Seite

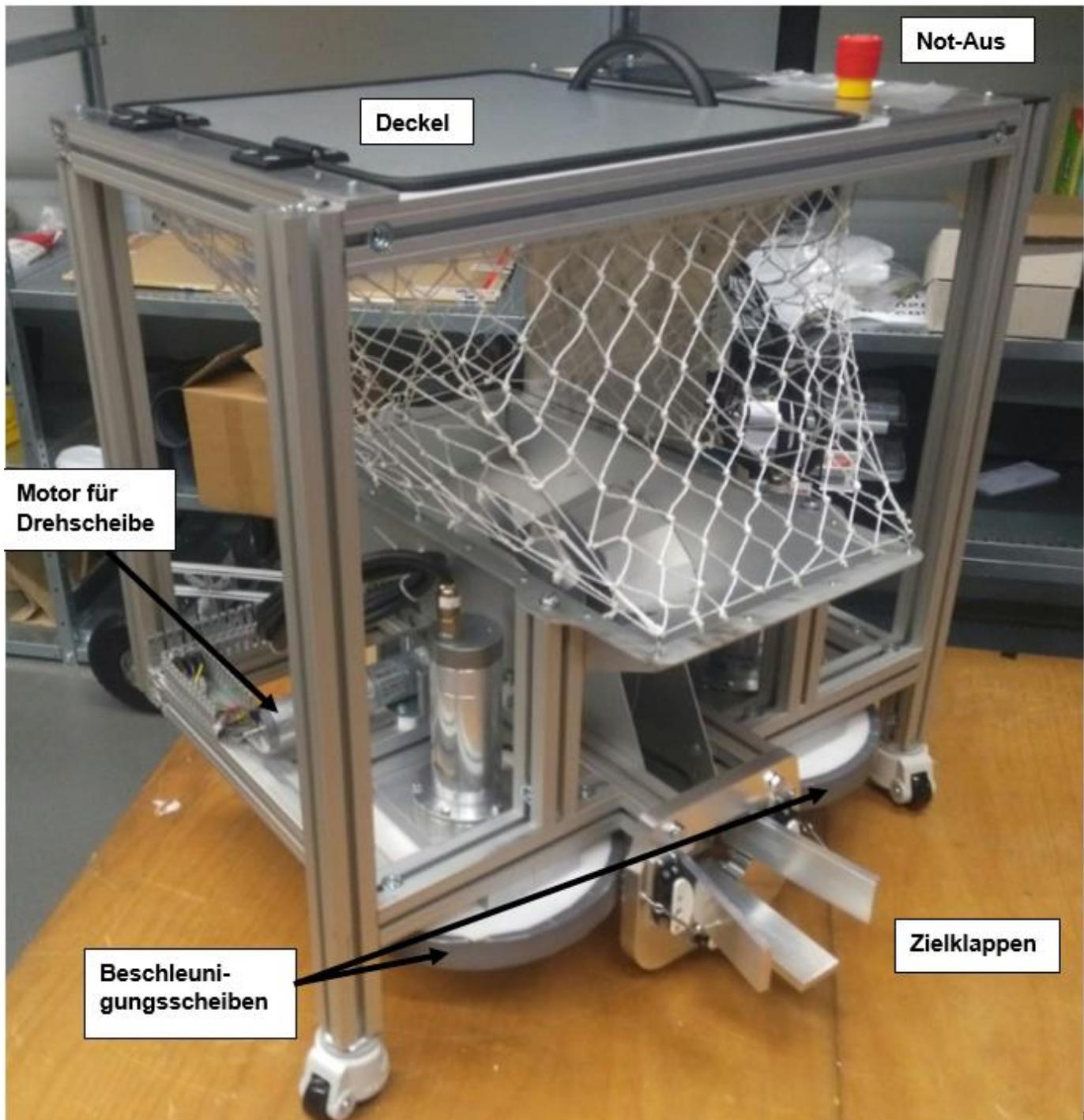


Abbildung 65 Ansicht von Vorne

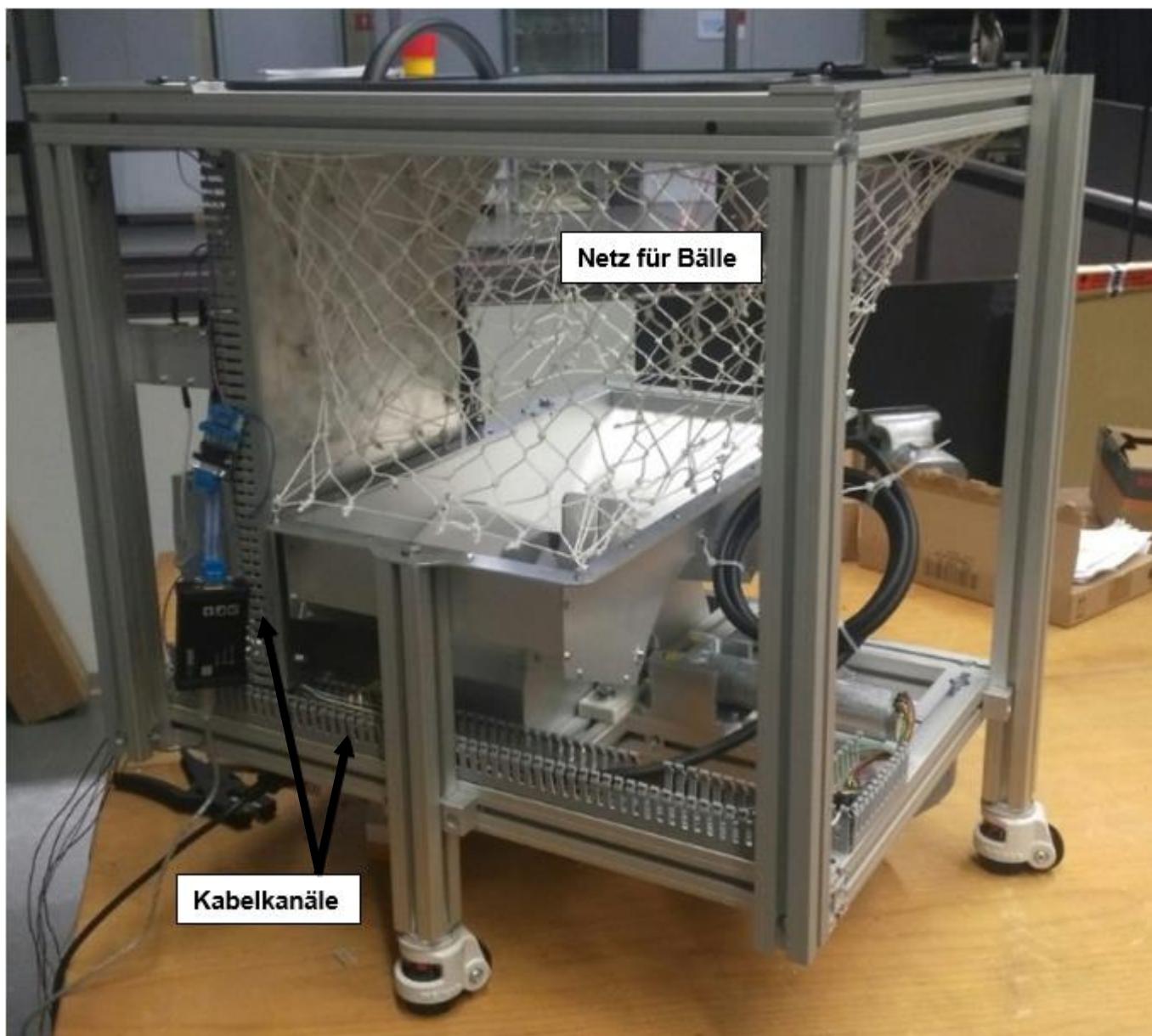


Abbildung 66 Ansicht von Hinten

7.2 Erkenntnisse und Empfehlungen

Allgemein Durch die knappe Zeit für die Bearbeitung der Aufgabe konnten zu wenige Tests gemacht werden. Es ist sinnvoll, wenn weitere Tests durchgeführt werden können. Dadurch kann die Anlage laufend verbessert werden. Darüber hinaus wurden Mängel entdeckt, konnten aber aus Zeitgründen nicht behoben werden.

In diesem Kapitel wird eine kurze Reflexion der verschiedenen Aspekten aufgeführt-

7.2.1 Konstruktion mechanisch – Gerüst / Chassis

Gewicht Das Gerüst ist sehr stabil und bietet durch die vielen Profile eine hohe Flexibilität für Anpassungen. Jedoch muss bedacht werden, dass dies nicht unbedingt eine gewichtsoptimierte Variante ist. Es könnte beim Gerüst durch konstruktive Massnahmen viel Gewicht gespart werden.

Optimierungsvorschlag: Geschweisste Aluminium-Halbzeug-Konstruktion, an weniger belasteten Stellen die Profile weglassen und mit der Verschalung ausreichende Stabilität schaffen.

Profilverbindung Die abgebildete Profilverbindung ist nicht optimal ausgeführt, denn sie kann nicht mit den Standard-Verbindungen von Kanya realisiert werden. Für den Prototypen konnte man eine improvisierte Lösung finden, die stabil und sicher ist. Für künftige Bestellungen sollte diese Verbindungsvariante jedoch überdacht werden.

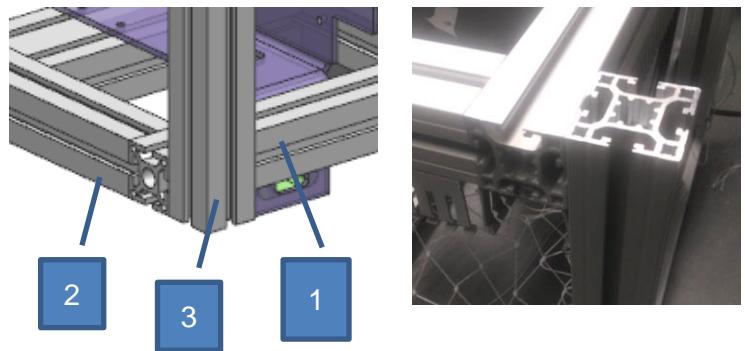


Abbildung 67: Schlechte Profilverbindung

Optimierungsvorschlag: Profil 1 verkürzen und Profil 2 bis zu Profil 3 verlängern. So entsteht eine Stoßverbindung von Profil 1 auf Profil 2 und eine weitere Stoßverbindung von Profil 2 zu Profil 3. Das ganze würde sich mit Universalverbindern lösen. Achtung: Dadurch kann die Breite der Ballführung nicht mehr verstellt werden.

Stützen Die Bockrollen sind relativ teuer. Außerdem ist das „aufbocken“ bei dem erhöhtem Gewicht der Anlage etwas mühselig und ist durch die variable Höhe der Stütze die Ausrichtung der Anlage nicht immer exakt gleich.

Optimierungsvorschlag: Separate Stützen und Rollen, die örtlich getrennt sind. Die Rollen könnten dann mit einem Hebel oder dergleichen angehoben werden. Außerdem die Stützen nicht aus schwarzem Vollgummi wählen (können Rückstände auf Boden verursachen)

Ballführung Die Breite der Ballführung ist mit 75mm und damit 3mm Spiel zwischen Ball und Seitenwand zu grosszügig.

Optimierungsvorschlag: Den Ball mit 72.5mm (0.5mm Spiel) führen.

7.2.2 Konstruktion mechanisch – Zielvorrichtung / „Mündung“

Öffnungsgrösse Die Öffnungsgrösse ist sehr gross und erlaubt viel Spiel zwischen Ball und Klappen. Dass Probleme mit unrunden Bällen und andere Ungenauigkeiten diese Öffnungsgrösse erfordern würden, konnten man durch die Tests nicht bestätigt werden. Eine kleinere Öffnung als 75mm würde kürzere und somit auch kostengünstigere Mündungsklappen zur Folge haben. Ausserdem könnte allgemein von einer höheren Schusspräzision ausgegangen werden.

Optimierungsvorschlag: Öffnungsgrösse auf 72.5 mm verkleinern. Eventuell ist ein kleiner Einlauf für eine schöne Aursichtung notwendig. Die genaue Streuung der Schüsse auf die Klappen kann bei 0° Auslenkung der Mündungsklappen und mit kurzer Schussdistanz gegen eine leicht verformbare Platte (z.B. Karton) sichtbar gemacht werden (Die Abdrücke im Karton durch die Bälle zeigen die Streuung). Es wäre auch eine kurze Einlaufzone vor der Mündung denkbar.

Mündungsklappen Bei maximaler Zustellung (seitlich = 10° und unten = 15°) kollidieren die Mündungsklappen. Ein Schuss nach oben links oder oben rechts ist also mit aktueller Konfiguration nicht machbar.

Optimierungsvorschlag: Durch eine verkleinerte Öffnungsgrösse könnte man kürzere Klappen umsetzen. Ausserdem werden die tatsächlichen nötigen Wippenwinkel tendenziell kleiner ausfallen (siehe „Kurvenscheiben“ im Kapitel 6.2.2). Die Kollision wäre damit nicht mehr so entscheidend. Eine Aussparung an der Klappe unten würde eine Kollision ebenfalls verhindern (siehe Abbildung 68 Kollision der Mündungsklappen). Achtung: Dabei könnte der Fall auftreten, dass der Ball durch die Flugbahn sehr früh auf eine seitliche Platte auftrifft und dann die Flugbahn so stark ändert, dass er die untere Klappe gar nicht mehr trifft.

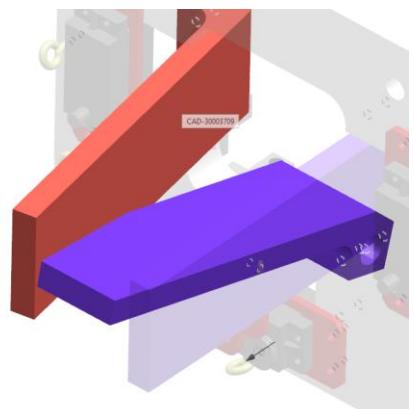
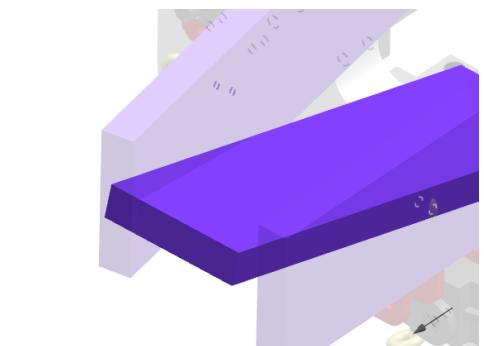
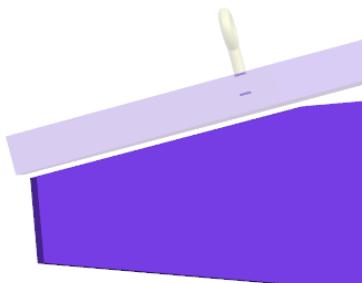


Abbildung 68 Kollision der Mündungsklappen

Abbildung 69 Aussparung an Klappe unten

Wellenböcke Die Wellenböcke sind unerwartet ungenau. Daraus ergibt es sich, dass eine seitliche Platte ein wenig mehr „hängt“ und damit nicht beide Enden auf der gleichen Höhe sind.

Optimierungsvorschlag: Integration der Lagerung in der Mündungsplatte.

7.2.3 Konstruktion mechanisch - Beschleuniger

Verschleiss an den Bällen Bei ersten Tests konnten Verschleissrückstände an den Bällen festgestellt werden. Dabei blieben an der Beschleunigungsscheibe auch Rückstände haften. Die Scheibe selbst nahm jedoch keinen Schaden

Es wurde ein Test durchgeführt mit einer Schaumstoff-Türbodendichtung. Sie wird von der Firma tesamoll® hergestellt.. Weil der Schaumstoff zu wenig abriebfest ist und sich durch die wirkende Zentrifugalkraft von der Scheibe ablöst, wurde es noch mit tesa® Aluminium Tape (*umgangssprachlich Panzer-Tape*) umwickelt. Ziel war eine weichere Kontaktfläche. Es konnte festgestellt werden, dass die Bälle mit deutlich höherer Geschwindigkeit abgeschossen wurden. Verschleiss war jedoch immer noch an den Bällen festzustellen.

Optimierungsvorschlag: Weitere Tests durchführen mit unterschiedlichen Scheibenabständen, Oberflächenbeschaffenheiten



Abbildung 70 tesamoll Schaumstoff-Türbodendichtung

7.2.4 Konstruktion mechanisch – Trichter

Zu viele Schrauben Der Blechbehälter hat sehr viele Befestigungsschrauben. Es sind vermutlich mehr als nötig.

Optimierungsvorschlag: Weniger Befestigungsschrauben

Spalt

Leider wurde bei der Konstruktion im CAD ein Spalt übersehen. Dieser war nicht beabsichtigt und wurde im 3D Modell auch wieder korrigiert. Bei dem Prototyp ist der Spalt jedoch zu sehen. Die Funktion beeinträchtigt er jedoch nicht, deshalb wurde der Fehler am Prototyp nicht korrigiert.

Optimierungsvorschlag: Modell wurde korrigiert und der Fehler beeinträchtigt die Funktion nicht. Es sind deshalb keine Massnahmen notwendig.

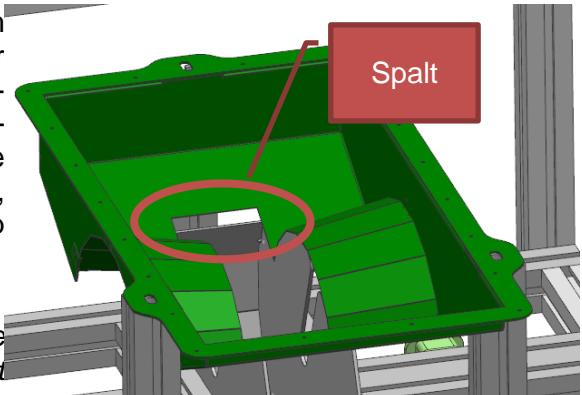


Abbildung 71 Spalt im Blechtrichter

Verspannen

Die hintere Stütze für den Trichter wurde absichtlich 7mm zu tief eingebaut. Dadurch wird der gelieferte Trichter leicht über das Gestell gespannt und liegt an den Auflagestellen besser an. **Diese Änderung ist nur für den hergestellten Trichter anwendbar!** Das Gerüst wurde anschliessend auf diese Änderung angepasst.

Optmierungsvorschlag: Der Effekt (schönes Anliegen) der diese Änderung hat ist hauptsächlich ästhetischer Natur und muss nicht unbedingt übernommen werden. Falls gewünscht, könnte die Distanz durch eine Justierschraube eingestellbar gemacht werden.

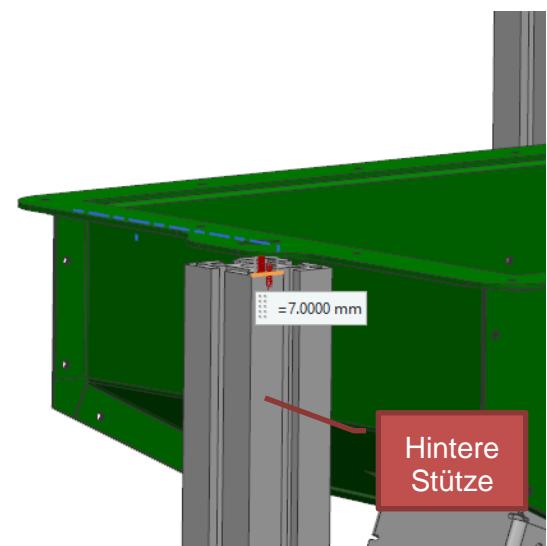


Abbildung 72 Höhenunterschied von hinterer Stütze zu Blechtrichter

Geschweisster Trichter

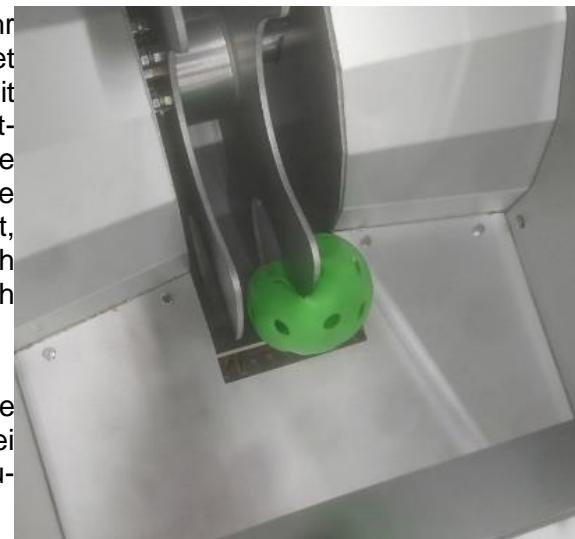
Der Blechbehälter wurde ursprünglich als Schweißkonstruktion geplant. Später wurde dann entschieden, dass eine geschraubte Version besser geeignet ist, da die Montagemöglichkeiten der HSR-Werkstatt bestmöglich genutzt werden sollen. Würden grössere Stückzahlen des Trichters benötigt werden, so sollte die Wahl eines geschraubten Trichters vermutlich überdacht werden.

Optimierungsvorschlag: Offerten für geschweisste und geschraubte Trichter vergleichen.

Trichterform

Obwohl beim Funktionsmuster eine sehr ähnliche Trichterform angewendet wurde, wurden bei den ersten Tests mit dem Motor und konstanter Drehzahl festgestellt, dass die Drehscheibe einige Bälle zerstören kann. Wurde zuvor die Drehscheibe nur von Hand bewegt, wurde die Ballaufnahme als unkritisch angesehen. Dies stellte sich als falsch heraus.

Nebst der Zerstörung der Bälle konnte festgestellt werden, dass die Bälle bei hoher Drehscheiben-Drehzahl nicht zuverlässig in die Öffnungen rollen.



Entweder könnte an dieser Stelle der Trichter oder die Drehscheibe verändert werden.

Gleich nachdem das Problem festgestellt wurde, versuchte man mit Karton eine andere Trichterform zu simulieren.

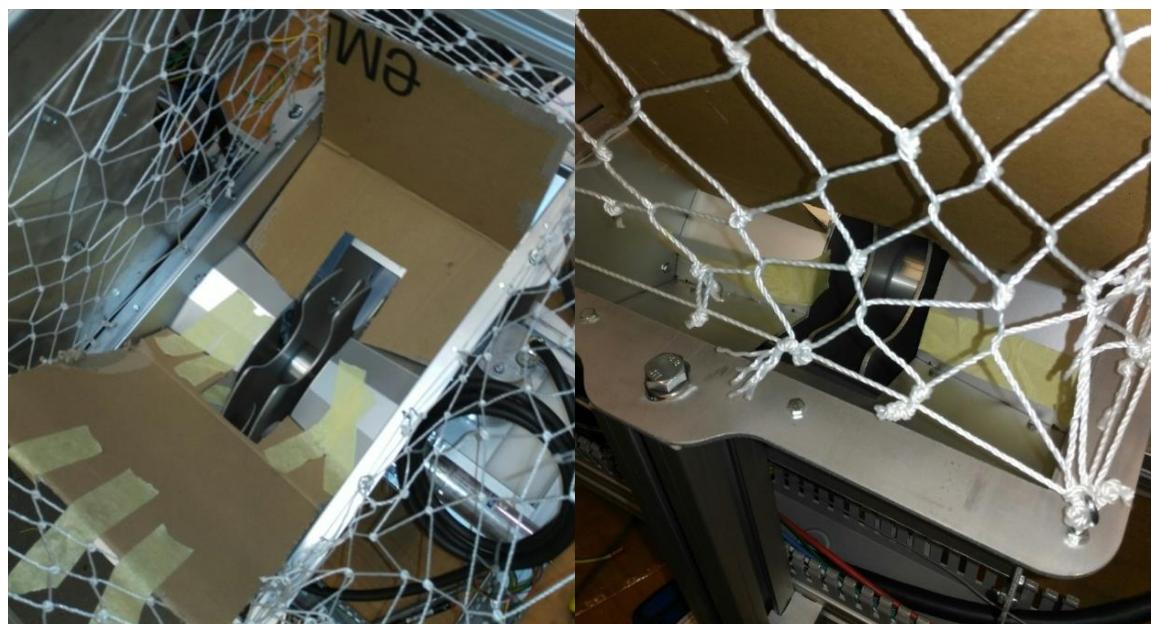


Abbildung 74 Trichterform wurde mit Karton verändert

Optimierungsvorschlag 1: Mit den Änderungen, die mit dem Karton simuliert wurden, fallen die Bälle gut in die Drehscheibe und werden nicht mehr beschädigt. Eine ähnliche Geometrie könnte man auch in den Trichter mit Aluminium-Bleche einbringen

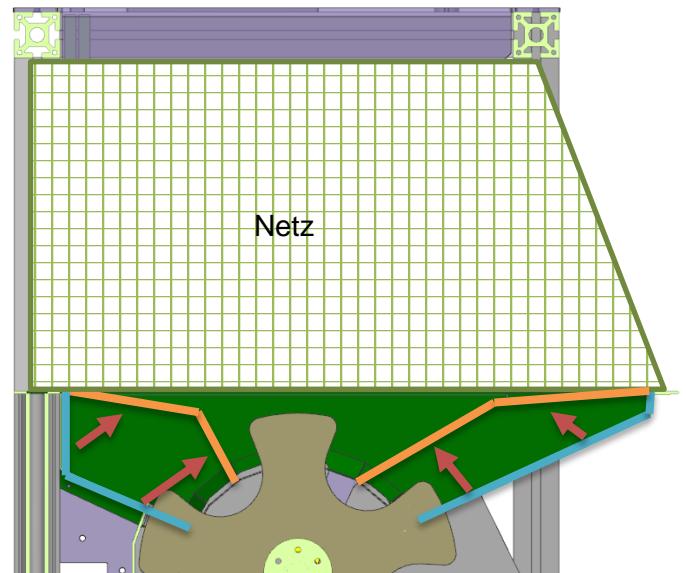


Abbildung 75 Veränderung (blau=alt nach orange=neu) der Einlaufzone Variante 1 durch Karton

Optimierungsvorschlag 2: Eine andere Möglichkeit, die Beschädigung zu verhindern wäre eine Vergrösserung des Einlauf-Bogens. Dadurch wäre eine Beschädigung der Bälle wie bisher gar nicht mehr möglich. Unklar ist jedoch, ob die Bälle auch bei hohen Drehzahlen in die Öffnungen fallen. Bevor diese platzeffizientere Methode umgesetzt wird, werden weitere Versuche empfohlen.

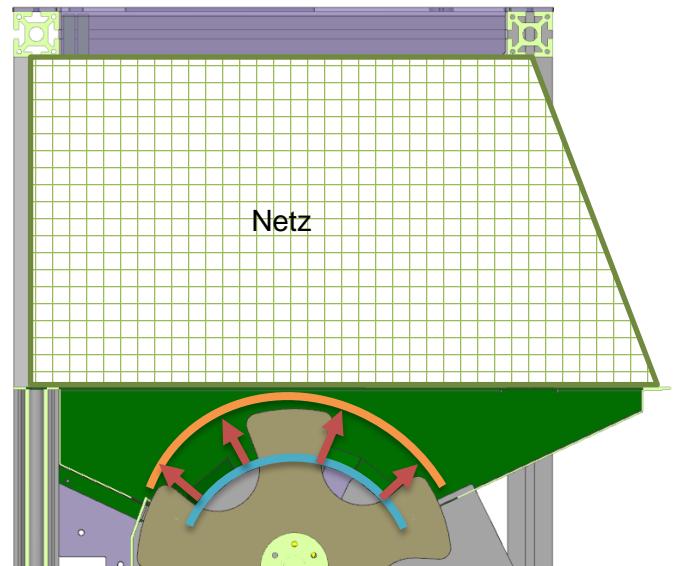


Abbildung 76 Veränderung (blau=alt nach orange=neu) der Einlaufzone Variante 2

7.2.5 Konstruktion mechanisch – Drehscheibe

Beidseitige Motor-Der Antrieb hat eine durchgehende Motorwelle. Das unbenutzte Ende ragt in den Kabelkanal, was ungünstig ist. Es wurde eine Schutzkappe mit dem FDM-3D-Drucker gemacht, was die Welle und die Kabel schützen sollte. Das ist jedoch keine optimale Lösung.

Optimierungsvorschlag: Einen Motor mit nur einseitiger Motorwelle beschaffen. Nach einer alternativen Kabelführung suchen.

7.2.6 Konstruktion mechanisch – Verkleidung

Verletzungsgefahr Obwohl die Bleche sauber entgratet wurden, besteht immer noch die Gefahr, dass sich an Lüftungsöffnungen eine Person an den Blechkanten der Lüftungsöffnungen schneidet oder sich anderweitig verletzt. Die Verletzungsgefahr ist jedoch gering und kann toleriert werden.

Lüftungsöffnungen wie rechts dargestellt wurden von dem Blechlieferanten (EMDE Blechfabrik Kaltbrunn) abgeklärt. Leider besitzt die EMDE Blechfabrik Kaltbrunn nicht die dazu erforderlichen Werkzeuge.



Abbildung 77 Lüftungsöffnungen Beispiel

Optimierungsvorschlag: Form der Lüftungsöffnungen überdenken. Vielleicht können Standard-Produkte aus der Gebäude-Lüftungstechnik eingesetzt werden.

7.2.7 Steuerung – Motoren für Beschleuniger

Problem	Während der Inbetriebnahme wurde festgestellt, dass die Motoren nach einigen wenigen Minuten abschalteten. Anschliessend musste ca. 10 Minuten gewartet werden bis sie wieder eingeschaltet werden konnten. Mit Hilfe von Domenico Leonardo vom ILT wurde eine Lösung für das Problem gesucht. Das Problem entstand wahrscheinlich durch eine generatorische Rückspeisespannung. Dies ist auf die gegeneinander laufenden Scheiben zurückzuführen, die auf Grund einer Unwucht bzw. hohen Massenträgheit ins Schwingen („Aufschaukeln“) geraten und teilweise Energie zurückspeisen. Im Zwischenkreis werden dann die Kondensatoren geladen, die sich nach dem Abschalten nur sehr langsam entladen. Zur Lösung des Problems schlägt der Motorenhersteller vor, einen Bremschopper vorzusehen. Dieser ist zwischen dem Powerkabel (Balastwiderstand) und den +48VDC zu verbinden. Durch den Widerstand wird überschüssige Energie abgebaut und letztendlich in Wärme umgesetzt. Dafür kann ein 12 Ohm Drahtwiderstand verwendet werden.
Lösung	Nach weiteren Tests mit dem Widerstand traten die Probleme jedoch wieder auf.

Lösung	Mit Hilfe von Domenico Leonardo vom ILT wurde das Problem erkannt. In der Standard Einstellung des Motors ist vorgesehen, dass Störungen quittiert werden sollten. Mit der vorhandenen Steuerung ist dies jedoch nicht möglich und so blieb der Motor im Störbetrieb. Dieser Parameter kann mit der „Kickstart“ Software umprogrammiert werden, damit der Motor nach Störungen einen automatischen Wiederanlauf startet. Mit dieser Einstellung lassen sich die Motoren betreiben. Die Störungen, welche vermutlich vom Netzteil
---------------	--

mit 48V auftreten, bleiben jedoch bestehen. Dies muss unbedingt noch weiter untersucht werden.

- Weitere Probleme** Stand 22.12.2017: Der von ebm Papst gelieferte USB Adapter kann nicht mehr mit dem PC verbunden werden. Es zeigt eine Verbindung des Gerätes an, jedoch können keine Daten übertragen werden. Dadurch können die Motoren nicht richtig parametriert werden. Hinzukommt, dass die Parameter von einem Motor verändert wurden und die des zweiten nicht.
Der Fehler wird in der Verkabelung vermutet. Es müsste der gesamte Aufbau der Verkabelung überprüft und gegebenenfalls überarbeitet werden. Dafür fehlt bis zum Abschluss der Semesterarbeit die Zeit. Es wäre auch vorteilhaft, wenn dies von einer Person durchgeführt oder überwacht wird mit Erfahrung in Elektrotechnik.

7.2.8 Steuerung – Überhitzung Arduino

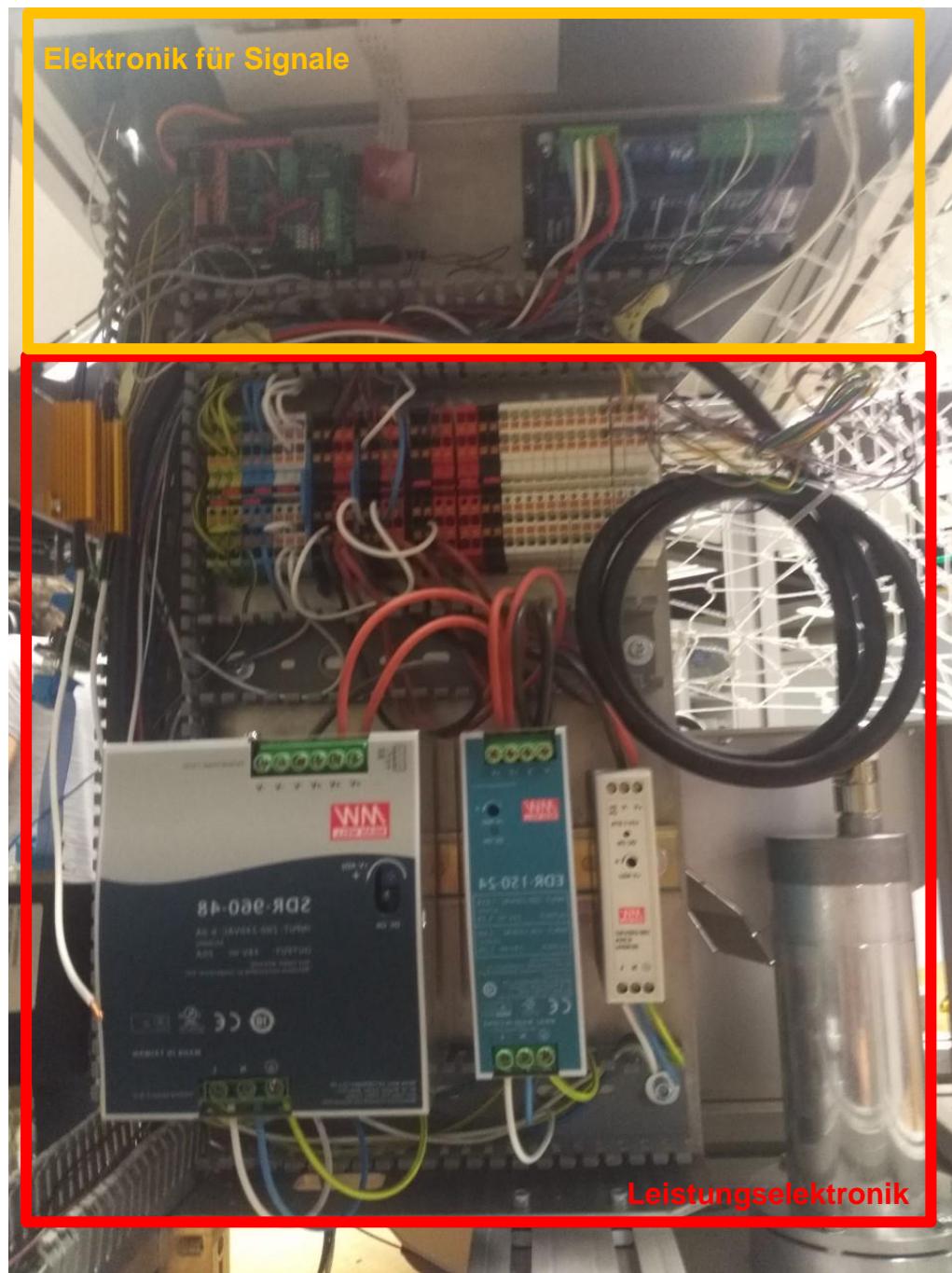
- Problem** Nach einigen Minuten Betriebszeit des Touchscreens wird der Spannungsverteiler auf dem Arduino extrem heiss und dies führt zum Absturz des Touchscreens. Dies kommt daher, dass der Arduino an eine Stromquelle von 12 V angeschlossen wird und nur 5 V an den Touchscreen weiter gibt. Dieser zieht bei der Benutzung relativ viel Strom und so wird die Leistung, welche durch den Spannungsverteiler „vernichtet“ werden muss, in Wärme umgewandelt.
- Lösung** Weil für die Servos ohnehin ein zusätzliches Netzgerät von 5 V vorgesehen ist, wird auch die Stromversorgung für den Touchscreen von dieser Speisung bezogen. Dies hat das Problem der Überhitzung gelöst.

7.2.9 Steuerung – Programm für automatischen Betrieb

Es wurde nur ein Programm für die Tests mit Einzelschussfunktion erstellt. Es ist jedoch einen Modus für den automatischen Betrieb vorgesehen.
Dafür muss das Programm so angepasst werden, dass der Motor des Verteilers permanent laufen und durch die Drehzahl variiert werden kann um die Schusskadenz zu verändern.
Mit dem Arduino kann mit der Funktion „random“ die Schussgeschwindigkeit, Kadenz und Schussrichtung zufallsbedingt geändert werden. Damit liesse sich eine willkürliche Schussabfolge programmieren.
Auf dem Touchscreen sollten Bereiche für Geschwindigkeit, Kadenz und Richtung eingegeben werden können, um so eine individuelle Schussfolge zu ermöglichen.

7.2.10 Steuerung – Verkabelung

- Trennung der Kabel** Bei den Tests ist es immer wieder zu Störungen von Kabelverbindungen gekommen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Leistungselektronik direkt neben der Feinelektronik (Signale für Steuerung) angebracht ist und der Arduino nicht abgeschirmt ist.
Die gesamte Verkabelung müsste überarbeitet werden. Die Kabel für die Stromversorgung müssen getrennt von den Kabeln für die Signale sein. Für den Arduino bräuchte es noch ein Gehäuse um Störeinflüsse zu vermeiden.



7.2.11 Steuerung – Not-Aus

Funktion des Not-In einem Störfall sollte die Maschine mit dem Not Aus komplett ausgeschalten werden Aus können. Die Motoren sollten umgehend gebremst werden, um allfällige Verletzungen oder Schäden zu vermeiden.

Der Not-Aus Knopf des Prototyps ist jedoch an die Netzversorgung von 230 V angeschlossen und unterbricht lediglich die Stromversorgung zur Maschine. Die Motoren laufen dann langsam aus, was etwa zwei bis drei Minuten dauern kann. Um die Bremsen der Motoren aktivieren zu können, muss die Steuerung noch weiterhin mit 24 V versorgt werden.

7.2.12 Steuerung – Zuverlässigkeit

Es kam bei der Installation der Steuerung immer wieder zu Problemen. Dies ist sicher auf die Unzuverlässigkeit des Aufbaus mit einem Mikrocontroller zurückzuführen. Für einen Prototypen ist dies ausreichend. Der Zeitaufwand für die Programmierung ist im Vergleich zu einem SPS Programm wesentlich geringer, aber für die Verkabelung und Installation muss dafür mehr Zeit investiert werden.

Für eine Weiterführung des Projekts wäre eine Umstellung auf eine leistungsstärkere Steuerung in Betracht zu ziehen.

7.3 Vergleich mit Pflichtenheft

Zweck	Um eine zusätzliche Übersicht des Projektstandes zu machen, werden anschliessend nochmals die Kriterien aus dem Pflichtenheft aufgeführt. Jedes Kriterium wird dabei kurz reflektiert.	
--------------	--	--

7.3.1 Technische Kriterien (Angaben zum Produkt)

Musskriterien	Nr.	Kriterium	Erfüllt?
	TM1	Gewicht max. 40kg	Schätzungsweise 40kg
	TM2	Transportierbar über Rollen	Ja
	TM3	Stufenlos einstellbare Zielvorrichtung	Ja
	TM4	Zielen vertikal (hoch-tief) und horizontal (links-rechts) möglich	Ja
	TM5	Mündungs-Geschwindigkeit regelbar 50-180km/h	Ja
	TM6	Speicherkapazität für 150-200 Bälle	Ja
	TM7	Schusskadenz 10-80 Bälle pro Minute stufenlos einstellbar	Ja
	TM8	Zielbereich muss auf 5m Distanz mit 50km/h Mündungsgeschwindigkeit mindestens 160mm breit und 115mm hoch sein.	Versuche ausstehend, nach Berechnungen aber erfüllt
	TM9	Betrieb über Stromzufuhr 240V/50Hz	Ja
	TM10	Keine Beschädigung der Bälle durch den Betrieb.	Nein
	TM11	Keine Rückstände oder Schäden auf dem Hallenboden	Unklar ob sich die Anlage während dem Betrieb verschiebt.
	TM12	Modularer Aufbau	Ja
	TM13	Schussverzögerung	Nein. Hardware-technisch problemlos realisierbar.

Optimierungs-kriterien	Nr.	Kriterium	Erfüllungsgrad x/10
	TO1	Möglichst Kompakte Bauweise	Kompakte Konzeptvarianten und Gehäuse praktisch vollständig ausgefüllt (Erfüllungsgrad 10/10)
	TO2	Möglichst tiefe Abschussposition	Sehr zufriedenstellend mit ca. 80mm über Stützenauflage. Minime Verbesserungen durch andere Zielvorrichtung denkbar. (Erfüllungsgrad 9/10)
	TO3	Möglichst hohe Ziel- und Wiederholgenauigkeit (geringe Streuung)	Bisher keine aussagekräftige Versuchsreihe durchgeführt. Erwarteter Streuungsradius von ca. 150mm auf 5m ist für die Anwendung zufriedenstellend. (Erfüllungsgrad 8/10)
	TO4	Möglichst schonender Umgang mit Bällen	Verschleiss an den Bällen durch Beschleunigungsscheiben und Dreh scheiben festgestellt. Weitere Versuche nötig. (Erfüllungsgrad 1/10)
	TO6	Möglichst grosse Mobilität auf unterschiedlichem Untergrund	Schwenkketten machen die Anlage gut manövriert. Für rauen Untergrund sind die kleinen Rollen nicht geeignet. Das Überwinden von Schwellen ist nicht vorgesehen. (Erfüllungsgrad 7/10)
	TO7	Schnelles und einfaches Befüllen mit Bällen.	Bälle können oben eingeschüttet werden. Einfacher geht es nicht. (Erfüllungsgrad 10/10)
	TO9	Möglichst leiser Betrieb	Je nach Testkonfiguration unterschiedlich. Verbesserungspotential durch Dämpfungselementen an den grossen Blechen. Lager und Antriebe drehen der Dynamik entsprechend. Gesamteindruck: Zufriedenstellend. (Erfüllungsgrad 8/10)
	TO10	Möglichst Leicht	Gewicht hätte an einigen Orten gespart werden können (Kunststoffverkleidung, Gerüst). Aluminiumkonstruktion und kompakte Bauweise halten das Gewicht tief. (Erfüllungsgrad 7/10)
	TO11	Programmierbarer Schussablauf (Trainingsprogramm mit zufälliger Schussabgabe und -richtung)	Nicht vorhanden. Hardware-technisch umsetzbar. (Erfüllungsgrad 1/10)
	TO11	Möglichst schüttelfrei	Maschine vibriert zwar leicht, überträgt dank Gummistützen Vibrationen kaum auf den Boden weiter. (Erfüllungsgrad 8/10)

7.3.2 Allgemeine, kommerzielle und wirtschaftliche Kriterien

Musskriterien	Nr.	Kriterium	Erfüllt?
	KM1	Herstellungskosten des Prototyps max. 6000 CHF	Überschritten
	KM2	Konstruktion mit UNIGRAPHICS NX-10	Ja
	KM3	FEM-Analysen mit MSC/MARC-MENTAT Version 2016	Keine
	KM4	Wartungsfrei	Ja
	KM5	Funktionsfähiger Prototyp bis 21.12.2017	Teilweise erfüllt
	KM6	Vollständige Dokumentation bis 22.12.2017	Ja

Optimierungs-kriterien	Nr.	Kriterium	Erfüllungsgrad x/10
	KO1	Möglichst Günstig in der Serie	Grundlagen vorhanden. Grundsätzlich können jedoch keine hinterlegten Aussagen dazu gemacht werden.
	KO2	Möglichst hohe Lebensdauer	Lebensdauer der bürstenlosen Motoren bei 5000 Stunden. Bei Betriebszeit von 5h/Woche würde es einer Lebensdauer von 20 Jahren entsprechen. Genaue Beurteilung durch Tests notwendig.
	KO3	Möglichst Verwendung von Standard- und Normteile bevorzugen	Wurde für alle Baugruppen bestmöglich umgesetzt. (Erfüllungsgrad 10/10)
	KO4	Möglichst einfache Reparatur möglich	Alle Baugruppen gut zugänglich. Bauweise ermöglicht einfachen Austausch von Baugruppen. (Erfüllungsgrad 9/10)
	KO5	Herstellmöglichkeiten der HSR Werkstatt favorisieren	Keine Spezialverfahren eingesetzt. Viele Blech- und Standardteile. Fräse- und Drehteile wären für HSR Werkstatt geeignet gewesen, leider waren sie bereits ausgelastet. (Erfüllungsgrad 8/10)
	KO6	Möglichst wenig Verschleisssteile	Verschleiss wird sich durch ausführliche und längere Testreihen zeigen.
	KO7	Möglichst einfache und intuitive Bedienbarkeit	Hardware-Voraussetzungen sind durch grossen Touchscreen gewährleistet. Software-Zwischenstand 21.12.2017 erfüllt das Kriterium gut. (Erfüllungsgrad 9/10)
	KO8	Möglichst ansprechendes Design	Saubere Oberflächen, schlichte Optik, solides Auftreten. Erfüllungsgrad (subjektiv 8/10)

KO9	Möglichst vielseitig (Variation von: Geschwindigkeit, Kadenz, Richtung)	Die Module sind ohne Einschränkung sehr vielseitig einsetzbar. (Erfüllungsgrad 10/10)
-----	---	---

7.4 Nice to have Kriterien

Nice to have	Nr.	Kriterium	
	N1	Über Funksteuerung bedienbar	Nicht erfüllt

7.5 Weiteres Vorgehen

Stand Es sollen weitere Tests mit dem Prototyp durchgeführt werden. Ein modularer Aufbau und viele Einstellmöglichkeiten ermöglichen es gezielte Anpassungen vorzunehmen. Durch ausführliche Testreihen sollen weitere Erkenntnisse gesammelt werden, was zu einer laufenden Verbesserung der Maschine führen soll.

Alle bekannten Probleme wurden in dem Bericht festgehalten. Weitere, bisher unbekannte Probleme sind dabei natürlich nicht ausgeschlossen.

Projektpräsentation Fall vom Kunden oder dem Betreuer gewünscht kann eine Präsentation über den Projektstand vom 22.12.2017 durchgeführt werden. Möglicher Termin wäre Dienstag, den 30.01.2017.

Weitere Arbeitsleistung Das Projektteam (Manuel Gmür und Ralph Sieber) würde sich nach Absprache bereitstellung des Projektteams erklären, weitere Arbeitsleistung für das Projekt zu bringen. Diese Arbeitsleistung soll kein Bestandteil der Semesterarbeit sein und mit dem HSR-Studentenlohn (28.15 CHF/h) vergütet werden. Der Arbeitseinsatz sollte nicht mehr als 49.2 Stunden betragen und wäre von Mittwoch, 31.01.2018 bis Mittwoch, 07.02.2018 möglich.

8 Literaturverzeichnis

Herkunft der Vorlage

Das Dokument wurde auf der Basis einer Vorlage für Technische Berichte erstellt. Die Vorlage ist ein Element des „Werkzeugkastens Technische Berichte“ der Hochschule für Technik Rapperswil. Sie orientiert sich an Prinzipien des Strukturierten Schreibens.

- [1] «Von Null auf 170 km/h zum Frühstück,» Höhere Fachschule für Technik Mittelland, [Online]. Available: <http://www.hftm.ch/ger/Seiteninhalt-Home/HFTM-News/Freitag-09.-Dezember-2016-Von-Null-auf-170-km-h-zum-Fruehstueck>.
- [2] Sports Tutor, [Online]. Available: www.sportstutorinc.com.
- [3] Spinshot, [Online]. Available: www.spinshot.co.uk.
- [4] Playmatetennis, [Online]. Available: www.playmatetennis.com.
- [5] Spinfire, [Online]. Available: www.spinfire.com.
- [6] Lobster, [Online]. Available: www.lobstersports.com.
- [7] Boni, [Online]. Available: www.boni.com.
- [8] N. Instrument, «digital.ni.com,» National Instrument, 11 März 2015. [Online]. Available: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/9C90B9A416A509DD86257EF2007C1926>.
- [9] Bossard, «Richtwerte für metrisches Regelgewinde: Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente,» 2011.
- [10] M. Henne, Skript Dynamik 1&2, Rapperswil: Hochschule für Technik Rapperswil, 2016.

9 Erklärung zur Urheberschaft

Erklärung Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Hilfe Dritter angefertigt habe. Ich habe nur die Hilfsmittel benutzt, die ich angegeben habe. Gedanken, die ich aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen habe, sind kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort/Datum Rapperswil, 22. Dezember 2017

Unterschrift

Gmür Manuel

Sieber Ralph

Anhang

I Aufgabenstellung

II Pflichtenheft

III Fragenkatalog

IV Terminplan

V Projektjournal

VI Morphologischer Kasten mechanisch

VII Morphologischer Kasten elektrische

VIII Technische Zeichnungen

- I CAD-30003732 Ballschussmaschine UH**
- II CAD-30004703 Blechtrichter mit Kinderteilen**
- III CAD-30004654 Verkleidung mit Kinderteilen**
- IV CAD-30004653 Vereinzler mit Kinderteilen**
- V CAD-30003724 Beschleuniger mit Kinderteilen**
- VI CAD-30003712 Zielvorrichtung mit Kinderteilen**
- VII CAD-30003703 Gerüst mit Kinderteilen**

IX Schaltpläne

X Kostenaufstellung

XI Besprechungsprotokolle

XII Interviews

XIII Datenblätter (Auswahl)

XIV CD