

# Schlussdokumentation PREN1

## Gruppe 28

Andreas Rebsamen (Elektrotechnik)

Joel Grepper (Informatik)

Manuel Omlin (Maschinentechnik)

Marco Schöni (Maschinentechnik)

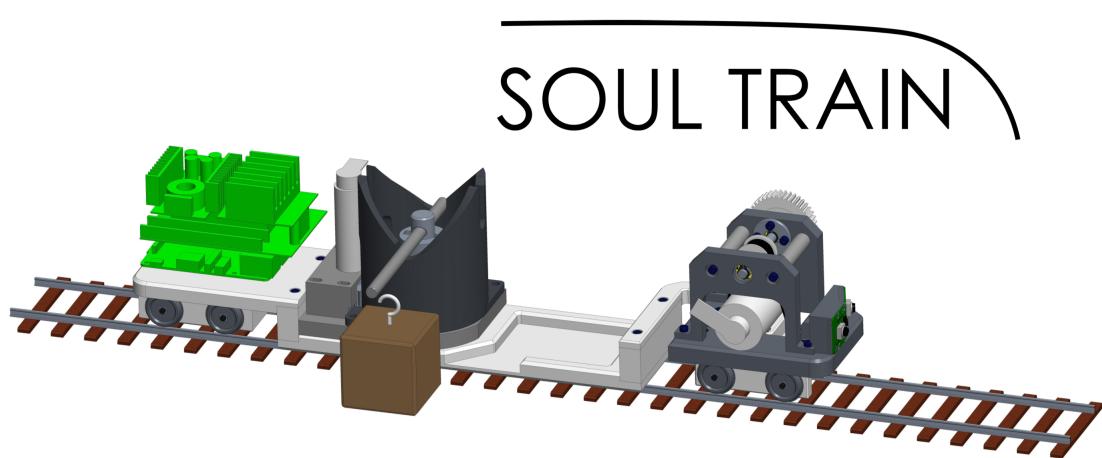
Patrick Marty (Informatik)

Steve Ineichen (Informatik)

## Hochgeschwindigkeitsschienenfahrzeug "SOUL TRAIN"

Hochschule Luzern – Technik & Architektur

TA.BA\_PREN1.H1801



Horw, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, 10.01.2019

## **Redlichkeitserklärung**

Die Verfasser bestätigen mit ihrer Unterschrift, dass die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als die angegebenen Hilfsmittel angefertigt worden ist.

Die aus fremden Quellen (einschliesslich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht vorgelegt worden.

Eingereicht in Horw, am 11. Januar 2019



Andreas Rebsamen



Joel Grepper



Manuel Omlin



Marco Schöni



Patrick Marty



Steve Ineichen

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Management Summary</b>	<b>3</b>
<b>2 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>3 Lösungskonzepte</b>	<b>5</b>
3.1 Ablauf . . . . .	6
3.2 Fahrwerk . . . . .	8
3.3 Würfelaufnahme/Transport . . . . .	15
3.4 Motorauslegung . . . . .	18
3.5 Akustik . . . . .	19
3.6 Beschleunigung . . . . .	21
3.7 Elektronik Komponenten . . . . .	23
3.8 Signalerkennung . . . . .	31
3.9 Gleiserkennung . . . . .	34
3.10 Aufgabentrennung zwischen Pi und Tiny . . . . .	36
3.11 Interface zwischen Pi und Tiny . . . . .	36
3.12 Software Lösungskonzepte . . . . .	39
3.13 Grenzgeschwindigkeit . . . . .	42
<b>4 Projektmanagement</b>	<b>44</b>
4.1 Organigramm . . . . .	44
4.2 Zeitplanung . . . . .	45
4.3 Dokumentation . . . . .	46
4.4 Datenaustausch . . . . .	46
<b>5 Schlussdiskussion</b>	<b>47</b>
5.1 Kosten . . . . .	47
5.2 Risikomanagement . . . . .	48
5.3 Nächste Schritte . . . . .	49
5.4 Lessons learned . . . . .	50
<b>6 Verzeichnisse</b>	<b>51</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>58</b>
7.1 Aufgabenstellung . . . . .	59
7.2 Technologie Recherche . . . . .	62
7.3 Anforderungsliste . . . . .	64
7.4 Berechnungen . . . . .	66
7.5 Konzeptentwicklung Maschinentechnik . . . . .	67
7.6 Antrieb . . . . .	77
7.7 Fahrdaten: Beschleunigung . . . . .	82
7.8 Stromversorgung . . . . .	89
7.9 Akustik . . . . .	94
7.10 Vision . . . . .	97
7.11 Objekterkennung . . . . .	102
7.12 Software Architektur Konzept . . . . .	109

# 1 Management Summary

Im Rahmen des Moduls PREN (Produktentwicklung) an der Hochschule Luzern wurde dieses Dokument durch das Team 28 erstellt. Das interdisziplinäre Team besteht aus Maschinenbau-, Elektrotechnik- und Informatikstudenten. In dieser Durchführung des Moduls wird in der Aufgabenstellung eine Entwicklung eines Schnellzuges gefordert. Dieser Zug muss eine definierte Strecke mit Geraden und Kurven in zwei Runden so schnell wie möglich passieren. Dabei muss der Zug einen Holzwürfel, welcher in der Startzone mittels eines Krans aufgeladen wird, während der gesamten Strecke transportieren. Während die Strecke zurückgelegt wird, muss der Zug eine Signaltafel mit Nummer erkennen und in der dritten Runde bei dieser Nummer so genau wie möglich anhalten. Die erkannte Nummer soll akustisch wiedergegeben werden. Der Zug muss autonom, also benutzerunabhängig agieren. Im Rahmen des PREN1 wurden mit Technologierecherchen mehrere Lösungsvarianten erarbeitet. Aus diesen Lösungsvarianten wurde dann die optimale Kombination von Teilkomponenten ausgewählt und zu einem Konzept als Gesamtlösung zusammengeführt.

Dieses Konzept beinhaltet eine mechanische Grundkonstruktion mit zwei Trägerwagen. Diese mechanische Grundkonstruktion wurde so entwickelt, dass der Schwerpunkt tief gehalten wird und somit hohe Kurvengeschwindigkeiten erreicht werden können. Angetrieben wird der Schnellzug mit einem DC-Motor mit eingebauter Encoderscheibe, um präzise Geschwindigkeiten zu erreichen. Der Kran, der den Würfel auf den Zug hebt, ist eine eigene Hub-Schwenk-Konstruktion mit DC-Motor. Die Signal- und Nummernerkennung wird mittels Kamera und Machine-Learning Algorithmen realisiert. Als zentrale Recheneinheit dient ein Raspberry PI 3+, welcher von einem Raspberry PI Zero und einem Mikrocontroller unterstützt wird. Im PREN2 wird das entwickelte Konzept realisiert, getestet und optimiert.

## 2 Einleitung

In dieser Arbeit liegt das Gesamtkonzept für einen autonomen Schnellzug vor. Dieses Konzept wurde im HS18 im Rahmen des PREN1 entwickelt und wird im FS19 im Modul PREN2 realisiert. Die Aufgabe besteht darin, einen Schnellzug zu entwickeln, welcher eine definierte Strecke mit Geraden und Kurven so schnell wie möglich zurücklegt. Im Startbereich muss mittels einer am Zug befestigen Konstruktion ein Holzwürfel auf den Zug gehoben und transportiert werden. Danach muss der Zug eine Lichtschranke passieren und zwei Runden auf der Strecke so schnell wie möglich absolvieren. Dabei muss er ein seitlich befindendes Signal mit Nummer erkennen, welches die Halteposition signalisiert. Diese Halteposition muss in der dritten Runde angefahren werden, und der Zug soll dort so nahe wie möglich anhalten. Die erkannte Nummer soll auch mittels akustischem Signal ausgegeben werden.

Der Zug wurde mit folgenden Schwerpunkten entwickelt:

- Kompaktheit
- Einfachheit
- niedriges Gewicht
- Robustheit
- niedrige Kosten

Im Hauptteil dieser Arbeit wird das Konzept des Zuges beschrieben. Die Beschreibung ist aufgeteilt in die drei Fachgebiete Maschinentechnik, Elektrotechnik und Informatik. Im Maschinentechnik-Bereich wird die mechanische Grundkonstruktion des Zuges und des Krans für den Holzwürfel erläutert. Der Antrieb, die Sensorik und die Stromversorgung des Zuges wird im Elektrotechnikteil beschrieben. Im Abschnitt Informatik wird die Signalerkennung, die akustische Ausgabe und der Softwareaufbau beschrieben. Projektmanagement, Kostenübersicht und Schlussdiskussion sind im hinteren Teil der Arbeit zu finden.

In diesem Konzept wurden bei der Entwicklung die Schwerpunkte Kompaktheit, Einfachheit und niedriges Gewicht berücksichtigt, um eine optimale maximale Geschwindigkeit mit dem Zug zu erreichen. Dabei soll aber auch ein Schwergewicht auf Robustheit und Prozesssicherheit gelegt werden. Zusätzliche Optimierungen, besonders in der maximalen Geschwindigkeit, können während dem PREN2, der Realisierungsphase, erzielt werden.

### **3 Lösungskonzepte**

Damit das Schienenfahrzeug alle Teilaufgaben optimal erfüllen kann, soll im Verlauf von PREN1 ein Lösungskonzept entwickelt und gewisse Teilfunktionen getestet werden. Das Gesamtkonzept besteht aus verschiedenen Teilkonzepten, für die jeweils mehrere Lösungsvorschläge aufbereitet und anschliessend bewertet wurden. Der Entscheidungsprozess wurde im Rahmen eines Testates dokumentiert und wird in diesem Dokument nicht thematisiert (befindet sich im Anhang). In den folgenden Unterkapiteln wird jede definierte Teilfunktion des Schienenfahrzeugs beschrieben und die jeweilige Lösung dazu präsentiert. Liegen bereits praktische Tests vor, werden diese ebenfalls dargestellt. Für alle Probleme soll eine möglichst einfache und doch effektive Lösungsvariante präsentiert werden. Im unmittelbar nächsten Kapitel wird der Ablauf mit einem Zustandsdiagramm dargestellt.

#### **Übersicht Lösungskonzepte**

- Ablauf
- Fahrwerk
- Würfelaufnahme / Transport
- Motorauslegung
- Akustik
- Beschleunigung / Geschwindigkeit
- Elektronik & Komponenten
- Signalerkennung & Gleiserkennung
- Zusammenspiel RPI und Tiny
- Software

### 3.1 Ablauf

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über den gesamten Ablauf, der nötig ist, um die Aufgabenstellung zu erfüllen. Der Ablauf ist in Abbildung 1 grafisch dargestellt. Dieser Ablauf kann in fünf Zustände unterteilt werden.

- Initialisierung
- Würfelaufnahme
- Hochgeschwindigkeits-Fahrt
- Parkplatzsuche
- Parkieren

Im folgenden werden die Zustände kurz beschrieben.

#### **Initialisierung**

Alle Systeme werden gestartet, sobald sie mit Strom versorgt werden. Alle Schnittstellen werden initialisiert und die Kommunikation zwischen den Komponenten beginnt. Beim Ende der Initialisierung soll über das Web Interface angezeigt werden, dass das System bereit ist und die Fahrt gestartet werden kann.

#### **Würfelaufnahme**

Nach dem Startsignal über das Web Interface fährt der Zug in langsamer Fahrt vorwärts, bis der Würfle von den Sensoren erfasst wird. Sobald der Würfel erkannt wurde, hält der Zug an und der Schwenker mit dem Würfel wird eingefahren.

#### **Hochgeschwindigkeits-Fahrt**

Nachdem der Würfel Aufgeladen ist, kann der Zug beschleunigen. Der Zug soll immer die höchstmögliche Geschwindigkeit fahren. Die Geschwindigkeit wird für die Kurven gemäss der Spurerkennung angepasst. Auch sucht das System dauernd das Info Signal und erkennt die Nummer darauf. Sobald die Nummer erkannt wurde, gibt das System diese Information akustisch aus. Sobald das Signal für das Ende der Zeitmessung erkannt wird, verlangsamt der Zug und beginnt die Parkplatzsuche.

#### **Parkplatzsuche**

Um das korrekte Haltesignal zu finden, kann der Zug eine so tiefe Geschwindigkeit fahren wie nötig. Die Bilderkennung sucht das korrekte Signal und entscheidet, wo der Zug parkiert werden soll.

#### **Parkieren**

Nachdem das korrekte Signal erkannt ist, wird der Parksensor ausgeklappt. Dieser misst die Distanz zum Haltesignal bis ein bestimmter Schwellwert für die Haltedistanz erreicht ist. Beim Erreichen der Haltedistanz stoppt der Zug und beendet damit die Fahrt.

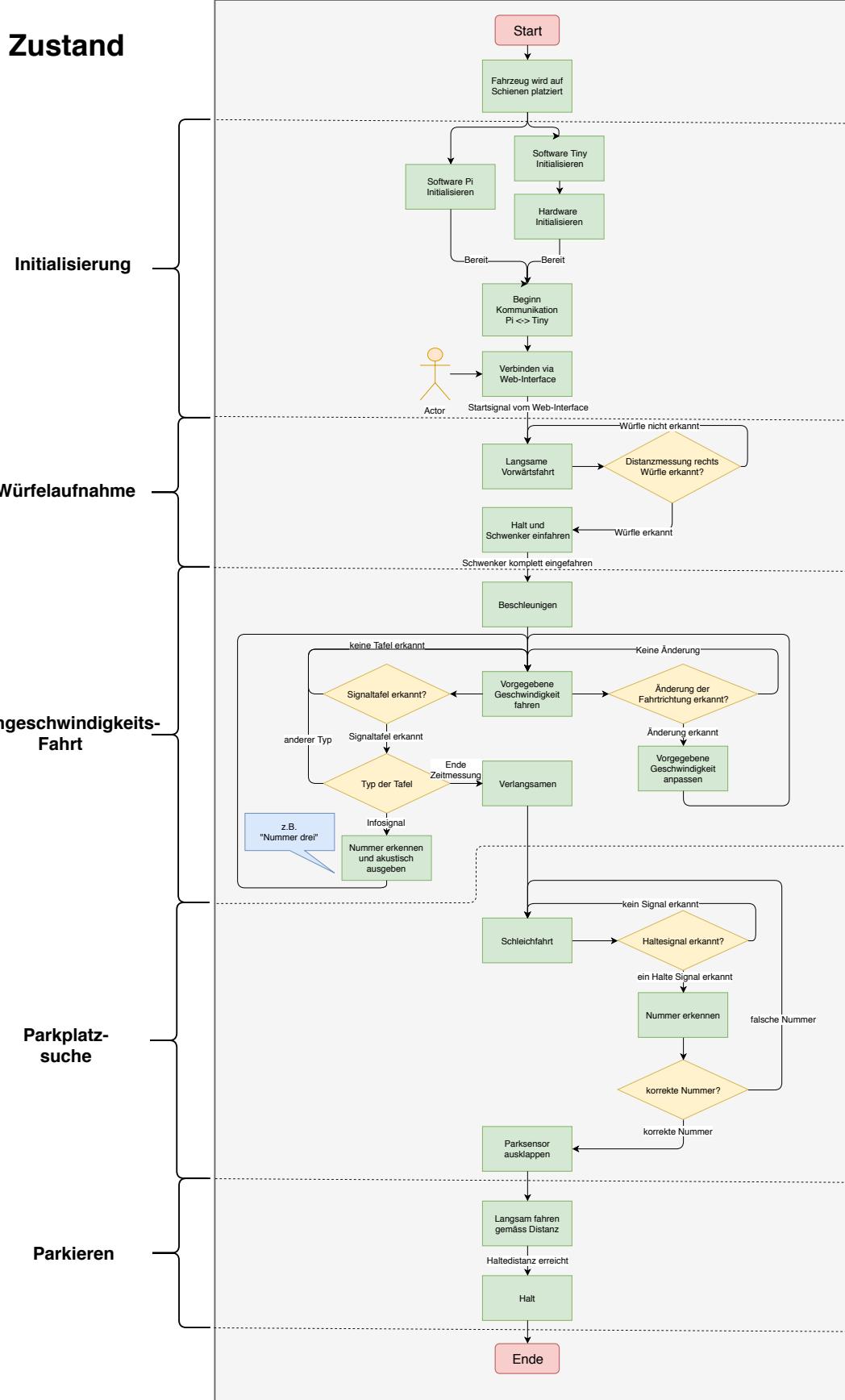


Abbildung 1: Ablaufdiagramm

### 3.2 Fahrwerk

Die Lokomotive in Abbildung 2 (siehe Tabelle 1) ist in die drei Unterbaugruppen Antriebswagen (Position 1), Führungswagen (Position 2) und Ladungsträger (Position 3) unterteilt. Der Antriebswagen enthält alle notwendigen Komponenten, um die Lokomotive zu beschleunigen und wieder abzubremsen. Zusätzlich sind die Kameras für die Spur- und Signalerkennung an ihm angebracht. Der Führungswagen hingegen dient lediglich als Abstützung für den Ladungsträger. Er bietet aber zusätzlichen Bauraum für elektronische Komponenten.

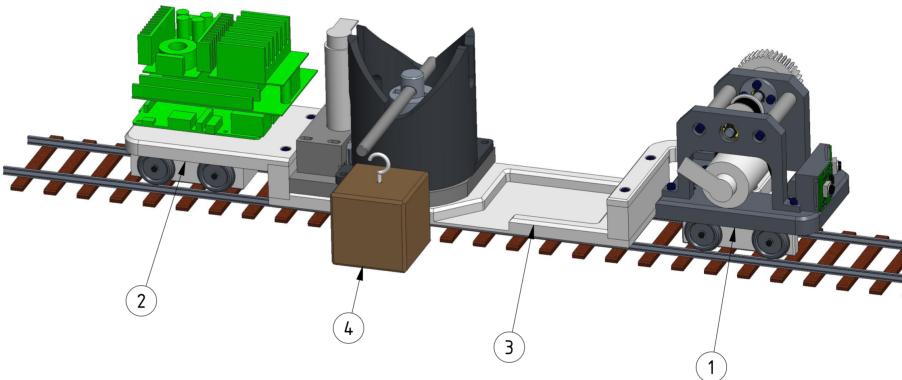


Abbildung 2: Baugruppe Lokomotive

Position	Bezeichnung
Position 1	Antriebswagen
Position 2	Führungswagen
Position 3	Ladungsträger
Position 4	Transportgut (Würfel)

Tabelle 1: Positionsnummern der Lokomotive

In der Querschnittsdarstellung in Abbildung 3 sind die Lagerungen zwischen dem Ladungsträger und dem Antriebs- beziehungsweise dem Führungswagen besser sichtbar. Ebenfalls ist ersichtlich, dass der Antriebswagen durch einen Zahnriemen angetrieben wird. Der Aufbau der einzelnen Unterbaugruppen wird in den nächsten Abschnitten genauer vorgestellt.

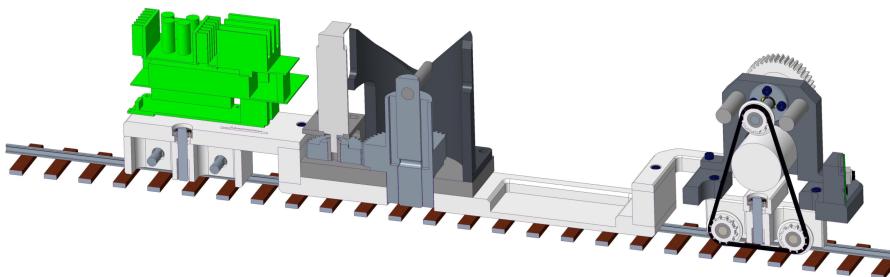


Abbildung 3: Schnittansicht der Lokomotive

### 3.2.1 Antriebs- und Führungswagen

Der Grundaufbau der beiden Wagen ist derselbe, mit dem Unterschied, dass der Antriebswagen durch einen Motor angetrieben wird. Der Grundwagen, beziehungsweise der Führungswagen in Abbildung 4 (siehe Tabelle 2) besteht aus einem Rahmen und einer Platte, welche miteinander verstiftet (Position 2) und verschraubt (Position 3) sind. Im Rahmen werden die beiden Achsen jeweils mit einem Los- (Position 7) und einem Festlager (Position 8) gelagert und mit Sicherungsringen (Position 6) gesichert. Die Achsen sind an beiden Enden mit einem Gewinde versehen, damit die Räder bei Bedarf schnell und einfach gewechselt werden können, ohne dass der ganze Wagen auseinander genommen werden muss. Die Anfräsfäche auf der Welle (Position 5) dient für das bessere Befestigen der Räder mit einem Gabelschlüssel.

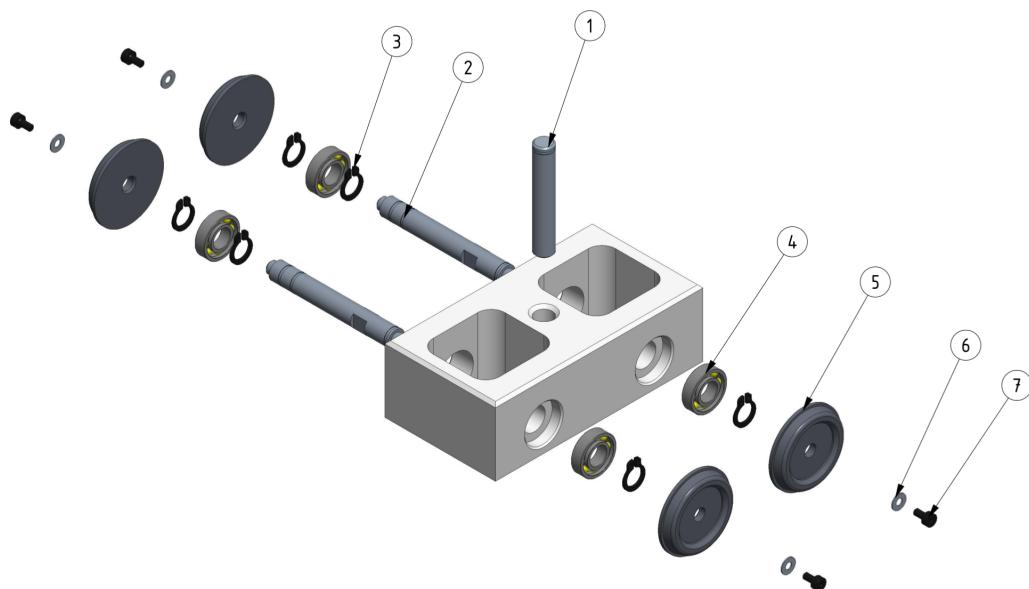


Abbildung 4: Explosionsdarstellung Grundwagens

Position	Bezeichnung
Position 1	Drehachse Wagen-Ladungsträger (eingepresst)
Position 2	Achsen (Gewinde an beiden Seiten, Anfräsfäche für Gabelschlüssel)
Position 3	Sicherungsring für Rillenkugellager
Position 4	Eingepresstes Rillenkugellager (Festlager) bzw. Loslager
Position 5	Rad
Position 6	Unterlagscheibe
Position 7	Zylinderschraube

Tabelle 2: Positionsnummern des Grundwagens

Der Antriebswagen in Abbildung 5 (siehe Tabelle 3) ist, wie bereits erwähnt, grundsätzlich gleich aufgebaut wie der Führungswagen. Jedoch ist der Rahmen aufgrund des Riemenantriebs H-Förmig aufgebaut. Das heisst, die beiden Nuten des Wagenrahmens sind nach Aussen hin offen. Das Ziel dieser Konstruktion ist es den Riemen, falls nötig, schnell wechselbar zu montieren. Durch die H-Form können die Achsen und die Räder für die Riemenmontage am Rahmen montiert bleiben. Die Platte, welche am Rahmen angebracht ist, ist für die Kameras grösser dimensioniert. Die Kamera für die Gleiserkennung wird einstellbar befestigt, damit bei der Testphase des Prototyps Optimierungen des Winkels vorgenommen werden können. Die Kamera für die Signalerkennung wird fix montiert. Der Stromfluss von der Schiene auf die Lokomotive erfolgt über vier Schleifkontakte, welche als Einkaufsteile von Lieferanten bezogen werden. Davon sind pro Wagen zwei jeweils zwischen den Rädern angebracht.

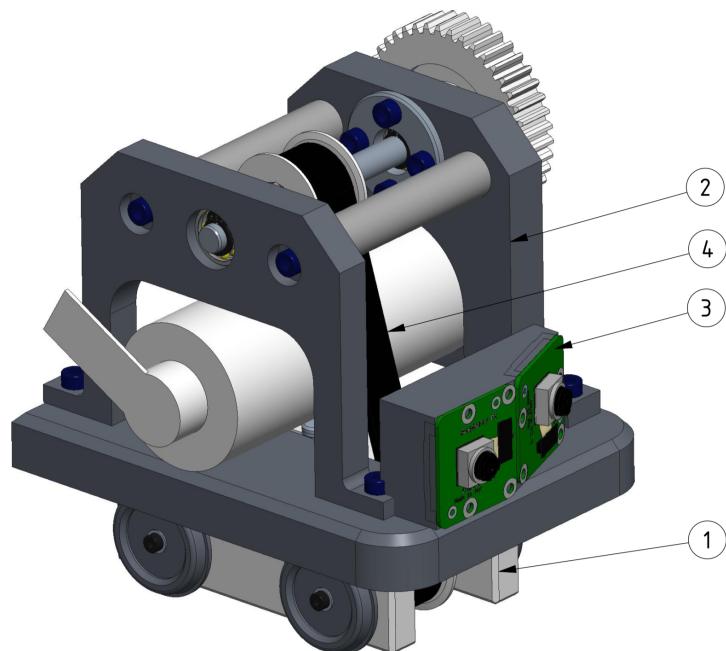


Abbildung 5: Baugruppe Antriebswagen

<b>Position</b>	<b>Bezeichnung</b>
Position 1	Wagen
Position 2	Antriebseinheit
Position 3	Kameras
Position 4	Zahnriemen

Tabelle 3: Positionsnummern des Antriebswagens

Die Antriebseinheit in Abbildung 6 (siehe Tabelle 4) besteht aus einem Grundgestell, an welchem die Lagerung der Antriebswelle und der Motor angebracht sind. Das Drehmoment vom Motor wird über ein geradverzahntes Zahnrad mit einem Übersetzungsverhältnis von 1:2 auf eine Achse übertragen. Von dieser wird es über einen Riemen auf die beiden Radachsen und somit auf die Räder weitergeleitet. Durch die Berechnung der maximalen Geschwindigkeit wird entsprechend der Motor ausgelegt. Dies wird im nächsten Abschnitt genauer beschrieben.

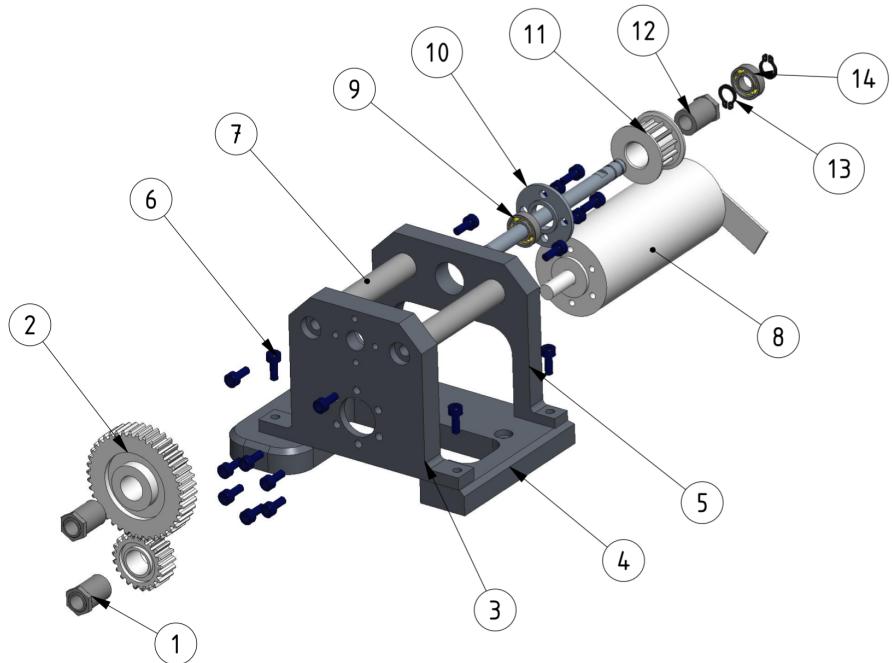


Abbildung 6: Explosionsdarstellung Antriebseinheit

<b>Position</b>	<b>Bezeichnung</b>
Position 1	Spannsatz
Position 2	Zahnräder (Übersetzung 1:2)
Position 3	Motorhalterung
Position 4	Grundplatte
Position 5	Achsenlagerplatte
Position 6	Zylinderschraube
Position 7	Distanzhülsen
Position 8	Motor
Position 9	Rillenkugellager (Loslager)
Position 10	Lagersicherungsplatte
Position 11	Zahnriemenenrad
Position 12	Spannsatz
Position 13	Sicherungsring
Position 14	Rillenkugellager (Festlager)

Tabelle 4: Positionen Antriebseinheit

### Beschleunigungsberechnung

Wie schnell die Lokomotive beschleunigen kann, hängt von der Reibung zwischen Rad und Schiene und der Masse des Zuges ab. Die Grunddefinition der Beschleunigung ist der Quotient von Kraft und Masse. Die Reibung ist durch den Reibkoeffizienten bestimmt, welcher sich von Materialpaarung zu Materialpaarung unterscheidet (siehe Tabelle 5). Zusätzlich ist der Reibkoeffizient von der Oberflächenbeschaffenheit, der Rauigkeit, abhängig. Je grösser die Rauigkeit, desto mehr Reibung entsteht und desto schneller kann beschleunigt werden.

Material Schiene	Material Rad	Reibungskoeffizient
Stahl	Stahl	0.12
Stahl	Holz	0.3
Stahl	Kunststoff	0.08
Stahl	Gummi	0.3

Tabelle 5: Reibungskoeffizienten von Materialpaarungen (durch Versuche ermittelt)

Um die maximale Beschleunigung zu berechnen, wird das Gesamtgewicht der Lokomotive auf die vier Räder aufgeteilt. In der Tabelle 6 sind die gegebenen Grössen für die nachfolgenden Berechnungen aufgelistet.

Grösse	Wert
Durchmesser Rad [D]	22 Millimeter
Reibungskoeffizient [k]	0.3

Tabelle 6: Grössen für die Beschleunigungsberechnung

$$F_{Rad} = \frac{F_G}{8} = \frac{m \cdot g = 3kg \cdot 9.81m/s^2}{8} = 0.375N$$

$$F_{Reibung} = F_{Rad} \cdot k = 0.375N \cdot 0.3 = 0.1125N$$

$$M_{Rad} = F_{Rad} \cdot 0.5 \cdot D_{Rad} = 0.1125N \cdot 0.5 \cdot 22mm = 1.24mNm$$

$$a_{max} = \frac{F_{Reibung}}{\frac{F_{Rad}}{g}} = \frac{0.1125N}{\frac{0.375N}{9.81m/s^2}} = 2.94m/s^2$$

### Geschwindigkeitsberechnung

Die Fahrgeschwindigkeit der Lokomotive wird durch zwei Faktoren bestimmt. Einerseits muss die maximale Geschwindigkeit der Anforderungsliste eingehalten werden, und andererseits wird die Geschwindigkeit in der Kurvenfahrt durch den Schwerpunkt des Fahrzeuges eingeschränkt. Nachdem die Lokomotive auf die Fahrtgeschwindigkeit beschleunigt wurde, ist die Rollreibung das einzige, was der Motor mit seiner Leistung

kompensieren muss. In der Anforderungsliste wurde eine minimale Geschwindigkeit von 0.5 Meter pro Sekunde festgelegt. Der begrenzende Faktor der Geschwindigkeit in der Kurve ist der Schwerpunkt der Lokomotive. Je tiefer dieser ist, umso schneller kann die Kurve abgefahren werden. Über die Zentripedalkraft und die Gewichtskraft der Lokomotive wird die Momentengleichung aufgestellt und anhand der gegebenen Werte in Tabelle 7 wird die maximal erreichbare Geschwindigkeit in der Kurve, ohne aus den Gleisen zu kippen, berechnet. Sie sind durch getroffene Annahmen entstanden, da noch nicht alle Komponenten und die dazugehörigen Massen festgelgt sind.

Das Kippmoment wird durch den Aufbau der Lokomotive minimiert, da der Schwerpunkt durch den Ladungsträger mehr in das Zentrum des Kreismittelpunktes rückt. Dies wird in den nachfolgenden Berechnungen nicht berücksichtigt.

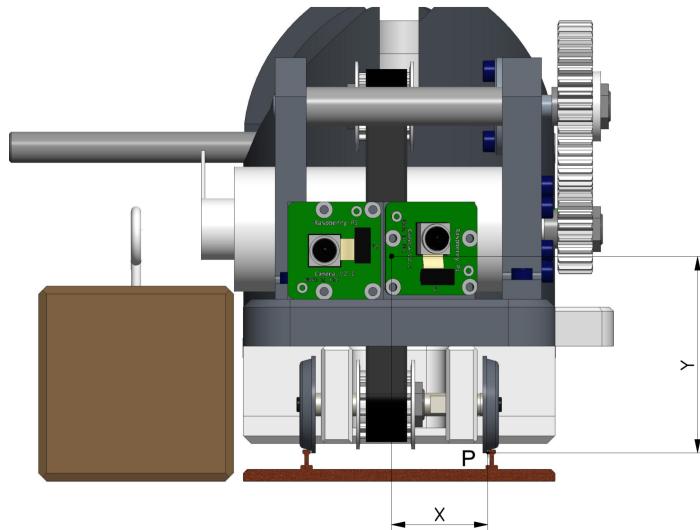


Abbildung 7: Schwerpunkt der Lokomotive (Symbolisch)

Grösse	Wert
Minimaler Radius [r]	0.8 Meter
Masse [m]	3 Kilogramm
Schwerpunkt in x-Achse (maximaler Wert) [x]	0.0225 Meter
Schwerpunkt in y-Achse (maximaler Wert) [y]	0.05 Meter

Tabelle 7: Größen für die Geschwindigkeitsberechnung

Die Gewichts- und Zentripedalkraft, welche das Gleichungssystem für die Geschwindigkeitsberechnung bilden, sind wie folgt definiert:

$$F_G = m \cdot g = 3kg \cdot 9.81m/s^2 = 29.4N$$

$$F_{max,z} = \frac{F_G \cdot x}{y} = \frac{29.4N \cdot 0.0225m}{0.05m} = 13.24N$$

Da das Drehmoment eine vektorielle Grösse ist, müssen die beiden entstehenden Momente am Drehpunkt "P" am Gleis zusammen Null ergeben. Oder anders gesagt, müssen die beiden Momente gleich gross sein, damit das System "statisch" bestimmt ist. Die Berechnungen sind auf den kleinsten Kurvenradius ausgelegt, da dort die grösste Zentripedalkraft entsteht. Somit ergibt sich eine maximale Geschwindigkeit von 1.53 Meter pro Sekunde.

$$F_{max,z} = \frac{m \cdot v_{max}^2}{r}$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{F_{max,z} \cdot r}{m}} = \sqrt{\frac{13.24N \cdot 0.8m}{3kg}} = 1.53m/s$$

### 3.2.2 Ladungsträger

Der Ladungsträger ist das Verbindungselement von Antriebswagen und Führungswagen. Er wird an beiden Enden drehbar mit je einem Radiallager gelagert. Die Flächen der Platten reiben auf den beiden Wagen. Durch eine optimale Materialpaarung wird diese Reibkraft jedoch vernachlässigbar klein. Der Träger besteht aus den drei Teilen mit Position 1,3 und 7 (siehe Abbildung 8), welche durch Zylinderschrauben (Position 5) und einer Zwischenplatte (Position 2) zusammengebaut wird. Der Hauptgrund ist die einfacheren, materialsparenden, sowie kostengünstigere Herstellung.

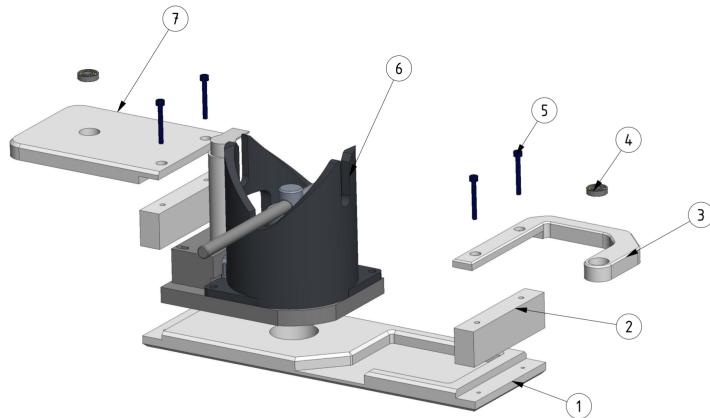


Abbildung 8: Explosionsdarstellung Ladungsträger

Position	Bezeichnung
Position 1	Grundplatte
Position 2	Zwischenplatte
Position 3	Bügelgelenk
Position 4	Rillenkugellager
Position 5	Zylinderschrauben
Position 6	Würfelkran
Position 7	Plattengelenk

Tabelle 8: Positionen des Ladungsträgers

### 3.3 Würfelaufnahme/Transport

Um den Würfel rechts neben der Gleisstrecke aufzunehmen, wird eine einfache Lösung angestrebt, steuerungstechnisch sowie mechanisch. Aus dem morphologischen Kasten (Anhang) und der Nutzwertanalyse geht hervor, dass die Würfelaufnahme mit einem Draht und einem Stab durchgeführt wird. Damit nur ein Aktor angesteuert werden muss, wird von dem Prinzip einer Kurvenscheibe Gebrauch gemacht. Die gesamte Vorrichtung besteht grundsätzlich aus drei Elementen: Einem Kran zur Lastaufnahme, einem Antriebsstrang und der Kurvenscheibe.

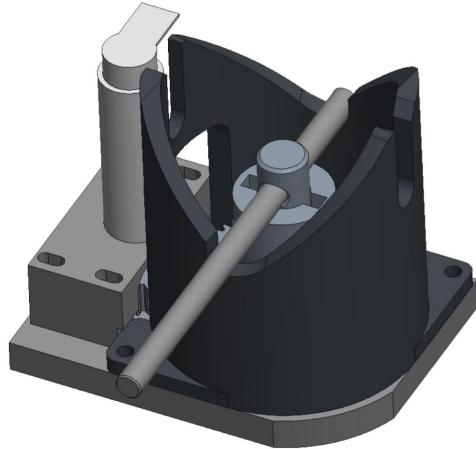


Abbildung 9: Baugruppe

#### 3.3.1 Kran

Der Kran besteht aus drei Drehteilen, welche mit einer Pressverbindung zusammengefügt wurden. Das zentrale Element des Krans wird auf Grund seiner optimalen Gleiteigenschaften und der geringen Dichte aus Teflon gefertigt. Der kleinere Stahlstift ist für die Drehmomentübertragung zuständig. Der grössere der beiden Stahlstifte ist der eigentliche Ausleger. An dessen Ende wird ein Draht aus Federstahl geformt und angehängt. Dieser Draht soll als Haken zur Lastaufnahme dienen. Weiter ist der Ausleger in beide Richtungen von der Drehachse ausgedehnt, da die Kurvenscheibe zwei Laufflächen hat, um für einen stabilen Hub zu sorgen. Der ganze Aufbau wird mittels einer Spielpassung in einer Bohrung mit zwei Längsnuten in einem 3D gedruckten, modifizierten Zahnrad gelagert.



Abbildung 10: Draufsicht

### **3.3.2 Antriebsstrang**

Der Antrieb besteht aus einem Motor, dessen Aufhängung und zwei Zahnrädern. Der Motor ist ein bürstenbehafteter Motor mit Encoder und Getriebe vorne drauf. Mit dieser Variante und der Übersetzung, zusammengesetzt aus Getriebe und Zahnrädern, kann von der Steuerung aus genau definiert werden, wie viele Umdrehungen der Motor benötigt, um mit dem Kranausleger eine Viertelumdrehung zu fahren. Das eine Zahnrad ist Standard und von Mädlar eingekauft. Das zweite Zahnrad jedoch wurde nur als STEP von Mädlar heruntergeladen und anschliessend im CAD bearbeitet. Die Bohrung und der Flansch in der Mitte wurden verlängert und mit zwei Längsnuten versehen. Die Bohrung gilt als Axialführung und die Nuten dienen als Drehmomentübertragung.

### **3.3.3 Kurvenscheibe**

Die Kurvenscheibe ist ebenfalls ein 3D-Druckteil. Der Grundkörper ist ein Rohr mit dem Aussendurchmesser 80 mm. An diesem wurden zwei Bahnführungen mittels Freiformflächen für den Kranausleger erzeugt. Die Steigung dieser Flächen ist variabel. Zu Beginn ist die Steigung gering und wird dann exponentiell grösser. Dies wurde aus dem einen Grund gewählt, damit das Anfahren für den Motor nicht zu streng ist. Nachdem die Drehbewegung und der vertikale Hub gemacht wurden, stoppt der Motor und der Kranausleger sollte durch die Schwerkraft heruntergezogen werden. Der Würfel wird nun in der für ihn vorgesehenen Aufnahme auf dem Zug platziert.



Abbildung 11: Links: Kurvenscheibe, Rechts: Zahnrad

### 3.3.4 Testaufbau

Der Testaufbau besteht hauptsächlich aus 3D-Druckteilen und weichen Kunststoffen. Er dient momentan als Funktionsmuster. Wenn sich dieser weiter bewährt, möchte man mit den gefertigten Teilen weiterarbeiten. Der Test dient zur Probe des ausgewählten Lösungskonzepts der Würfelaufnahme. Erste Tests zeigen, dass die Funktion mit kleinen Anpassungen direkt umgesetzt werden kann.

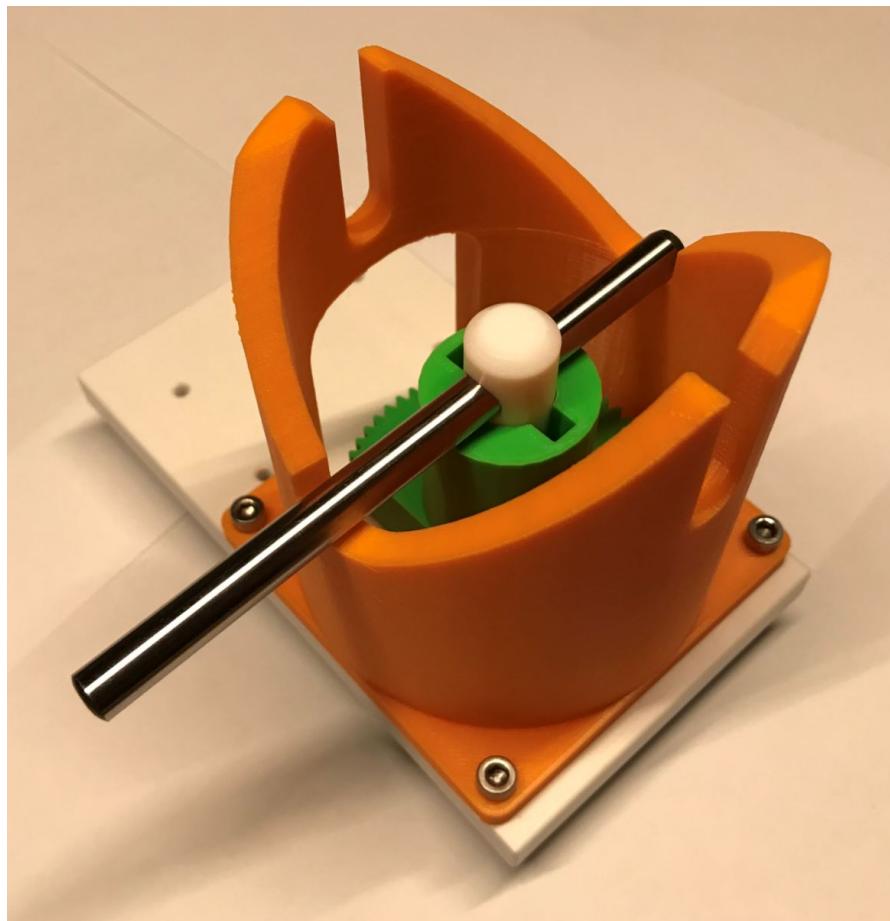


Abbildung 12: Testaufbau

### 3.4 Motorauslegung

Um die Aufgabenstellung der schnellen Fahrt auf Schienen bestmöglichst zu erfüllen, wird ein zuverlässiger starker Motor benötigt. Um einen solchen aus einer Vielzahl von Auswahlmöglichkeiten zu definieren, hat man sich auf den Katalog definiert maxon motor ag beschränkt. Im Anhang findet man ein Dokument mit den Berechnungen zur Motorauswahl. In Absprache der Disziplinen Elektrotechnik und Maschinentechnik wurde ein bürstenbehafteter Gleichstrommotor als geeignetes Modell definiert. Im vorher schon erwähnten Dokument wird für den gesamten Zug eine Masse von 3 Kilogramm gerechnet und einen Raddurchmesser von 22 mm. Für eine Endgeschwindigkeit von 3 m/s mit den definierten Raddurchmessern ergibt sich eine Drehzahl von 2600 1/min. Mit einer Übersetzung von 2, was mit Zahnrädern und den Platzverhältnissen gut realisierbar ist, ergibt sich eine Abgangsdrehzahl für den Motor von 5200 1/min. Das ist im Rahmen der Motoren von maxon motor ag. Was jedoch den Motor an seine Grenzen führt, wird die Grenzbeschleunigung sein. Durch die Beschleunigung bedingte Trägheitskraft, welche durch ein Moment vom Motor überwunden werden muss. Das Moment rechnet sich aus der gewollten Beschleunigung, der Masse und dem Hebel auf den Rädern. Wird nun die Übersetzung von 2 noch eingerechnet, ergibt sich ein Moment von 110 mNm. Durch die Schienen haben wir eine gewisse elektrische Leistung zur Verfügung. Diese ergibt sich aus dem Produkt der Spannung 20 Volt und dem Strom von 3 Ampere. Theoretisch stehen also 60 Watt zur Verfügung. Als eine preiswerte Lösung in Form eines DC Motors kommen bei maxon motor ag nur die zwei Produktreihen DCX und RE in Frage. Maxon motor ag bietet ein Sponsoring in Form von Motoren mit kleinen Makeln an. Diese dürfen nicht mehr ausgeliefert werden. Die Wunschmotoren der Gruppe 28 sind auf Grund der Leistung der DCX 32 oder der RE 30.



Abbildung 13: DC Motoren

### 3.5 Akustik

Während der Fahrt wird ein Signal mit einer Nummer gelesen, diese Nummer soll am Ende der Fahrt akustisch ausgegeben werden. In diesem Kapitel wird das Lösungskonzept für die akustische Komponente aufgezeigt.

#### Anforderungen

- Zahl akustisch wiedergeben (Speaker oder Buzzer)
- Korrekte Zahl wird wiedergegeben
- Kompakt
- Günstig
- Keine eigene Stromquelle
- Verständliche Ausgabe

**Konzept** Das Audiosignal wird über einen Buzzer wiedergegeben. Der Buzzer kann über GPIO (General Purpose Input Output) angesprochen werden. Für unseren Anwendungsfall wird eine Frequenz an einem Ausgang ausgegeben. Die 3.3V des Raspberry Pi reichen aus, um den Buzzer zu versorgen und auch der Signalpegel des GPIO ist genügend hoch.

**Komponente** Als Komponenten verwenden wir einen 3.3V Passiv Buzzer. Der Buzzer ist mit seinen 25mm x 25mm sehr kompakt und sollte ohne Probleme auf dem Zug Platz finden. Auch ist er für unter 5 Fr. zu erwerben und schont somit das Budget. Die Verbindung von Buzzer zu Raspberry Pi ist online gut dokumentiert und sollte keine unerwarteten Probleme mit sich bringen.

Name	Passiver Buzzer / Speaker, 3.3V
Preis	5 Fr.
Länge	25mm
Breite	25mm
Höhe	7mm
Gewicht	10g
Versorgungsspannung	3.3V

Tabelle 9: technische Daten ([www.playzone.ch](http://www.playzone.ch))

**Bauplan / Interface** Über die GPIO Header des Raspberry Pi kann der Buzzer direkt angesprochen und versorgt werden. Ein einzelnes Signalkabel reicht für die Kommunikation aus und hält den Aufbau einfach.

Bezeichnung	GPIO Header	Buzzer
Stromversorgung	3V3	VCC
Ground	GND	GND
Signal	GPIO17	SIG

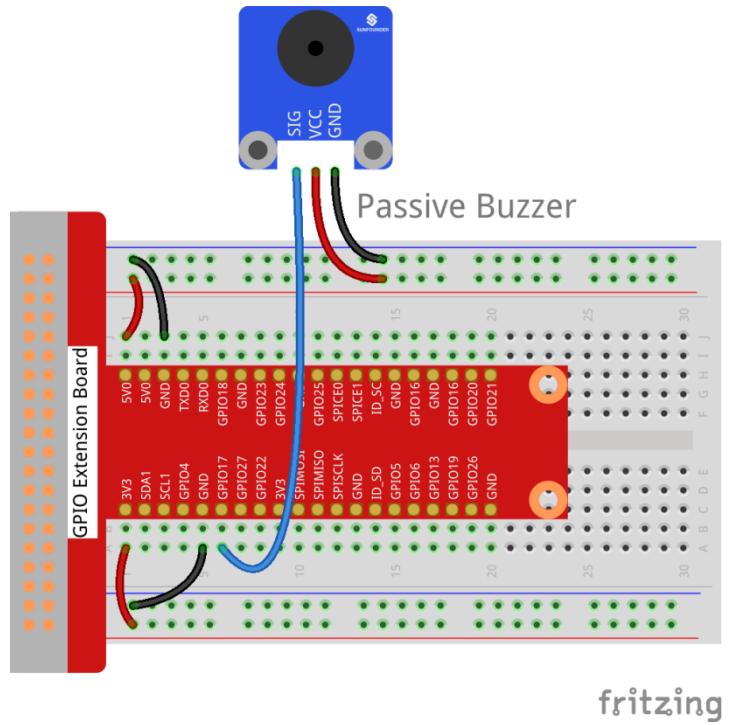


Abbildung 14: Verkabelung Buzzer

**Daten** Dem Buzzer können verschiedene Frequenzen angelegt werden. Somit auch das Spielen einer Melodie möglich. Für unsere Anwendung reicht jedoch eine einzelne Frequenz. Die Frequenz wird im Intervall von 300ms an den Buzzer angelegt und ist somit in der Lage die höchste mögliche Zahl "9" innerhalb von 2.7s abzuspielen.

Die Frequenz wird in Form einer Zahl (von 100 bis 1000) angegeben, der Frequenzbereich kann je nach Buzzer variieren.

**Realisierung** Der Code wird in Python realisiert und macht Verwendung von den Bibliotheken GPIO und time. Es wird in einem Intervall (300ms) eine Frequenz auf den GPIO Port ausgegeben. Alle Module/Komponente werden asynchron ausgeführt, das Ausführen von time.sleep(ms) sollte somit kein Problem sein.

Das Buzzern wird aus einer selbst implementierten "Sound"-Bibliothek über die Funktion "buzz\_by\_number(number)" ausgeführt. Dabei wird über eine Schnittstelle die gewünschte Nummer an den Buzzer gesendet.

### 3.6 Beschleunigung

Mithilfe elektronischer Komponenten kann Beschleunigung, Geschwindigkeit und Distanz (vom Startbereich) gemessen und analysiert werden. Zusätzlich kann eine approximierte Position des Zuges auf der Strecke berechnet werden. Die Berechnungen dazu sind in Kapitel 3.7.2 beschrieben.

#### Anforderungen

- Momentane Beschleunigung auslesen
  - Fahrtrichtung
  - Querbeschleunigung
- Beschleunigung in Geschwindigkeit und Distanz umrechnen
- Approximierte Position berechnen

**Konzept** Über einen Beschleunigungssensor werden Beschleunigung und Rotation ausgelesen. Die Beschleunigung kann zusätzlich in Geschwindigkeit und Distanz umgerechnet werden.

**Komponente** Bei der Komponentenwahl fiel der Entscheid auf einen Adafruit  $I^2C$  3-Achsen Beschleunigungssensor, dieser kann Beschleunigung sowie Rotation berechnen. Er weist eine sehr kompakte Bauform auf und ist relativ günstig zu erwerben. Online haben verschiedene Nutzer mit dieser Komponente positive Erfahrung gesammelt. Auch ist die Komponente gut dokumentiert und man findet verschiedene Tutorien, wie man diese mit einem Raspberry Pi kombinieren kann.

Name	Adafruit ADXL 345
Preis	1Fr
Länge	25mm
Breite	19mm
Höhe	3.14mm
Gewicht	1.27g
Versorgungsspannung	3-5V

Tabelle 10: Technische Daten (<https://www.adafruit.com/product/1231>)

**Bauplan / Interface** Der Sensor wird über die  $I^2C$  Schnittstelle angesprochen und verwendet somit eine Datenleitung (SDA) und eine Clockleitung (SCL). Für die Stromversorgung werden die Anschlüsse für 3.3V des GPIO Headers benutzt.

Bezeichnung	GPIO Port	MPU 6050
Stromversorgung	3V3	VCC
Ground	GND	GND
Daten	SDA	SDA
Clock	SCL	SCL

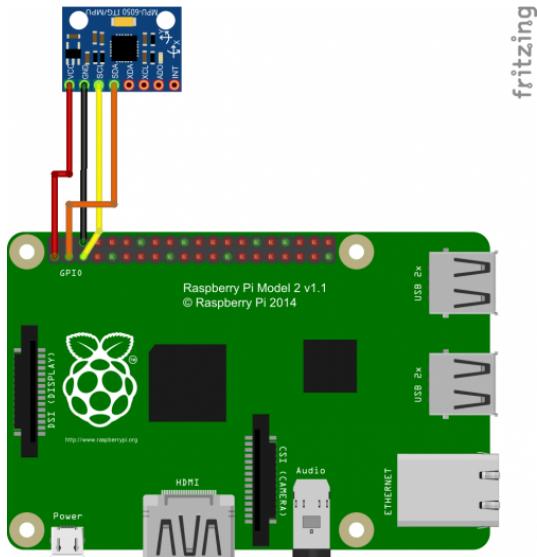


Abbildung 15: Verkabelung Beschleunigungssensor (<http://fritzing.org>)

## Daten

Mithilfe eines Skripts erhalten wir eine gute Übersicht der erhaltenen Daten.

### Gyroskop

```
gyroskop\_xout: -260  skaliert: -2
gyroskop\_yout: -154  skaliert: -2
gyroskop\_zout: 78    skaliert: 0
```

### Beschleunigungssensor

```
beschleunigung\_xout: -1048  skaliert: -0.06396484375
beschleunigung\_yout: -676   skaliert: -0.041259765625
beschleunigung\_zout: 16644  skaliert: 1.01586914062
X Rotation: -2.32121150537
Y Rotation: 3.59994842011
```

**Realisierung** Daten werden in einem von uns festgelegten Intervall über die  $i^2c$  Schnittstelle eingelesen. Die  $i^2c$  Schnittstelle muss in der Raspberry Pi Konfiguration aktiviert werden. Weiter müssen die benötigten Tools «i2c-tools» sowie «python-smbus» installiert werden. Dem Raspberry Pi wird eine Adresse auf dem  $i^2c$  Datenbus zugewiesen, welche über «sudo i2cdetect -y 1» abgerufen werden kann.

Softwaretechnisch wird die Schnittstelle in Python realisiert. Python verfügt über mächtige Bibliotheken in den Bereichen Mathematik und  $i^2c$ . Der Beschleunigungssensor kann direkt über seine Adresse angesprochen werden und gibt die Daten in Form eines Words zurück. Der Beschleunigungssensor muss für jedes Datenwort (z.B. gyroskop\_xout) eine Anfrage auf den Datenbus schreiben und lesen.

Die erhaltenen Daten werden in momentane Geschwindigkeitsdaten (Beschleunigung, Geschwindigkeit, Distanz) umgerechnet und anschliessend analysiert.

### 3.7 Elektronik Komponenten

In diesem Kapitel wird der Aufbau der Elektronik des Zuges beschrieben. Die Abbildung 16 veranschaulicht den Aufbau der Elektronik. Darauf sind alle logischen Verbindungen eingezeichnet. Weitere elektrische Verbindungen für die Stromversorgung werden im Kapitel 3.7.1 erläutert.

Zentral dabei ist der Mikrocontroller Tiny K22. Die Software auf dem Mikrocontroller initialisiert alle Komponenten, überwacht deren Status und sendet die nötigen Informationen an das Pi. Diese Schnittstelle ist detailliert im Kapitel 3.11 beschrieben.

Die Schnittstelle über den Debugger zum PC wird hier nicht weiter beschrieben, da diese Verbindung nur zum Entwickeln benutzt wird und für das endgültige Produkt nicht mehr von Bedeutung ist.

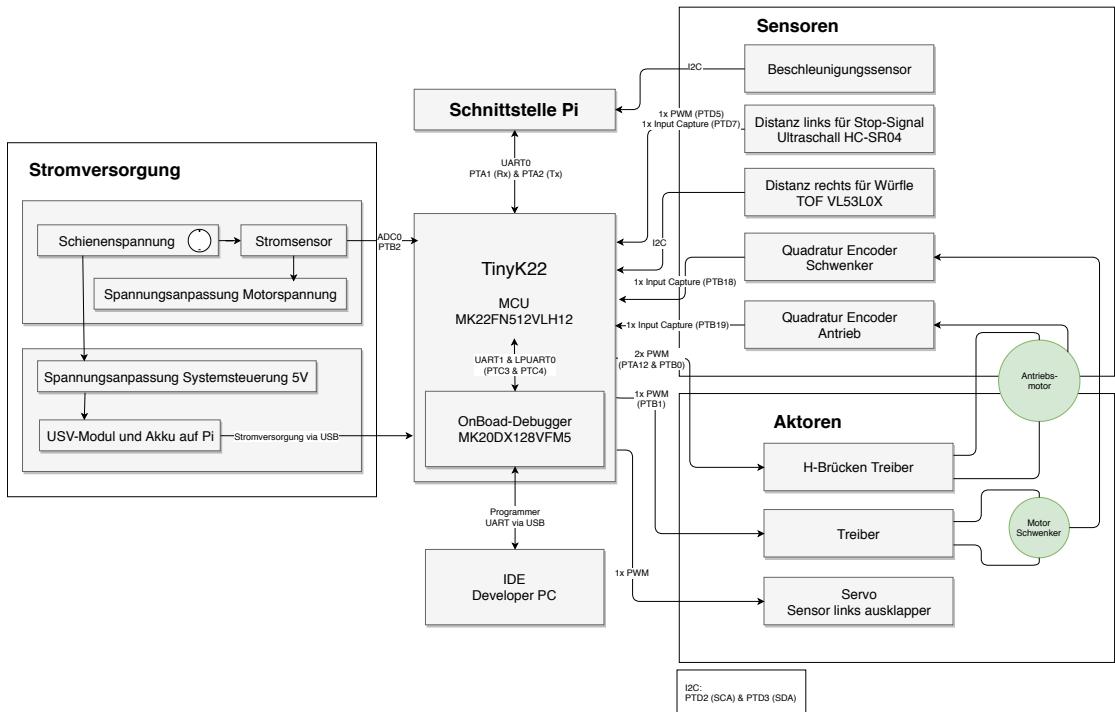


Abbildung 16: Komponentendiagramm Elektronik

#### 3.7.1 Stromversorgung

Die Energie für das System wird über die Schienen bezogen. Die Antriebsenergie wird direkt von den Schienen bezogen und lediglich auf die korrekte Motorspannung angepasst. Die Systemsteuerung wird über ein StromPi 3 mit Strom versorgt. Als primäre Stromquelle wird dafür die Schienenspannung benutzt. Bei der Hochgeschwindigkeitsfahrt wird diese Quelle abgeschaltet, damit die gesamte Energie für den Antrieb zur Verfügung steht. Das StromPi schaltet automatisch auf die sekundäre Stromversorgung für das Pi um. Diese sekundäre Quelle wird durch einen LiFePO4-Akku auf dem StromPi realisiert. Sobald die primäre Stromquelle von den Schienen wieder zur Verfügung steht wird der Akku wieder nachgeladen.

Das Pi zero und das TinyK22 mit diversen Sensoren und Aktoren werden über die USB-Anschlüsse des Pi versorgt.

## Antriebsenergie

Die Energie für den Antrieb wird direkt von den Schienen bezogen. Bei der Hochgeschwindigkeitsfahrt werden alle anderen Verbraucher (z.B. Raspberry PI) von den Schienen entkoppelt, um die gesamte Energie für den Antrieb nutzen zu können.

## Verpolungsschutz

Auf den Schienen steht eine Gleichspannung zur Verfügung, wobei eine Schienenseite der + Pol und die andere Seite der – Pol ist. Daraus ergibt sich das Problem, dass beim Platzieren des Zuges entgegen der vorgesehenen Fahrtrichtung eine Verpolung stattfindet. Auch ist die Zuordnung der Pole in der Aufgabenstellung noch nicht spezifiziert. Um sicherzustellen, dass das System unabhängig von der Polung der Schienen funktioniert, muss eine Gleichrichtung realisiert werden. Dies kann mit einem Brückengleichrichter realisiert werden. (siehe Abbildung 17)

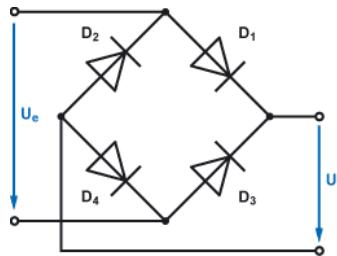


Abbildung 17: Brückengleichrichter ([www.elektronik-kompendium.de](http://www.elektronik-kompendium.de))

Die Ausgangsspannung  $U_a$  hat dabei immer dieselbe Polarität, unabhängig welche Polarität  $U_e$  hat.

Für den Hochgeschwindigkeitszug wird ein "B40C 3700-2200" verwendet. Dabei handelt es sich um eine Integrierte Schaltung für einen Brückengleichrichter. Der maximal zulässige Strom ist dabei  $3.7A$ . Bei diesem Strom fällt über dem Gleichrichter eine Spannung von ca.  $1V$  ab.

## Spannungsanpassung

Gemäß der Aufgabenstellung stehen  $20 \pm 2V$  bei bis zu  $3A$  zur Verfügung. Aufgrund der grossen Toleranz von  $4V$  muss die Spannung angepasst werden, um eine stabile Spannung sicherzustellen. Dafür wird ein DC-DC Converter verwendet. Dabei ist zu beachten, dass der Converter für den maximalen Strom von  $3A$  ausgelegt ist.

## Unterbrechungssicherheit

Um sicherzustellen, dass ein allfälliger Wackelkontakt der Schleifkontakte überbrückt werden kann und um grössere Spannungsschwankungen zu vermeiden, wird ein Kondensator zur Stützung eingesetzt.

## Stromüberwachung

Um den Stromverbrauch des Antriebs zu überwachen, wird ein Strom Messwiderstand eingesetzt. Eine Differenzverstärker Schaltung bereitet die Spannung über dem Strom Messwiderstand auf, damit der Mikrocontroller mit dem Analog-Digital Wandler den Strom bestimmen kann. Mit dieser Information kann die Software des Mikrocontrollers auf Stromspitzen reagieren und z.B. die Geschwindigkeit reduzieren. Der Stromverbrauch ist auch für die Entwicklungs- und Testphase eine sehr wertvolle Information, damit das System optimal ausgelegt werden kann. Zur Messung wird ein "13FR200E - Strom Messwiderstand" verwendet. Dieser hat einen Widerstand von  $0.2\Omega$ . Der Strom kann

daraus mit dem Ohmschen Gesetz bestimmt werden.

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_R}{0.2\Omega}$$

### Akku

Während der Hochgeschwindigkeitsfahrt wird die Systemsteuerung über einen Akku mit Storm versorgt. Die benötigte Leistung der einzelnen Komponenten ist in Tabelle 11 aufgeführt. Im schlimmsten Fall soll der Akku das System dabei mindestens für zwei komplette Abläufe mit Energie versorgen können.

Eine Runde darf maximal vier Minuten dauern. Das bedeutet die Energie des Akkus muss für mindestens acht Minuten reichen. Daraus ergibt sich für die Energie

$$E = P \cdot t = 14.2W \cdot 8min = 113.6Wmin = 1.9Wh$$

Komponente	Leistung (max)
Raspberry Pi 3 Model B	12.50W
Raspberry Pi zero W	1.20W
Tiny K22	0.10W
Encoder	0.07W
H-Brückentreiber	0.02W
Treiber Schwenker Motor	0.5mW
Beschleunigungssensor	0.3mW
TOF-Sensor	20mW
Ultraschall Sensor	75mW
<b>Total</b>	<b>14.20W</b>

Tabelle 11: benötigte Leistung der Komponenten

Das StormPi Modul wird mit einem LiFePO4-Akku ergänzt. Der verbaute Akku hat  $1000mAh$ . Bei einer Spannung von  $3.7V$  entspricht dies  $3.7Wh$ . Dies ist genügend für zwei Durchläufe. Ausserdem wird der Akku ausserhalb der Hochgeschwindigkeitsfahrt nachgeladen, was eine zusätzliche Reserve ergibt.

### 3.7.2 Sensoren

Mit diversen Sensoren sollen folgende Daten aufgenommen werden.

- Beschleunigung
- Geschwindigkeit
- Position
- Distanz rechts (für Erkennung Würfel)
- Distanz links (für Erkennung Haltesignal)

## Beschleunigung

Die Beschleunigung wird mit einem Beschleunigungssensor ADXL345 aufgenommen. Dieser kommuniziert über eine  $I^2C$  Schnittstelle mit dem Mikrocontroller. Er liefert jeweils die Beschleunigung in x-, y-, und z-Richtung. Der Sensor wird parallel zur Fahrtrichtung montiert, so dass es genügt, eine Beschleunigungsrichtung für die Querbeschleunigung und eine Richtung für die Längsbeschleunigung auszuwerten. Die Verwendung des Sensors ist in Kapitel 3.6 detailliert beschreiben.

## Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit wird hauptsächlich über den Quadratur Encoder am Antriebsmotor aufgenommen. Zusätzlich wird die Geschwindigkeit über die Beschleunigung zur Kontrolle nachgerechnet.

**Quadratur Encoder:** Der Quadratur Encoder MR, Typ L gibt 1024 Impulse pro Umdrehung. Der Verlauf eines Impulses ist in Abbildung 18 dargestellt. Der Encoder stellt drei Kanäle zur Verfügung. Über die Kanäle A und B kann einzeln die Geschwindigkeit bestimmt werden. Durch Auswerten der Phasenverschiebung der beiden Kanäle ("A eilt B vor" oder "A eilt B nach") kann zusätzlich noch die Drehrichtung bestimmt werden. Der Kanal I ist mit Kanal A und B synchronisiert und kann ebenfalls zur Bestimmung der Geschwindigkeit dienen.

Für die Bestimmung der Geschwindigkeit kann die Dauer zwischen zwei Impulsen gemessen werden, oder es können die Anzahl Impulse in einer bestimmten Zeit gezählt werden. Für dieses Projekt soll die Dauer des Impulses gemessen werden. Der Vorteil dieser Methode ist die bessere Präzision, da nach jedem einzelnen Impuls die durchschnittliche Geschwindigkeit seit dem letzten Impuls sofort bestimmt werden kann. Das Risiko ist, dass bei hohen Umdrehungszahlen der Mikrocontroller nicht schnell genug ist mit dem Zählen, oder dass der Zähler des Mikrocontrollers bei sehr tiefen Umdrehungszahlen überläuft.

Die maximale Umdrehungszahl des Antriebsmotors für die angestrebte Maximalgeschwindigkeit liegt bei  $5200\text{min}^{-1}$ . Mit 1024 Impulsen pro Umdrehung ergibt dies

$$5200\text{min}^{-1} \cdot 1024\text{Impulse} = 5'324'800 \frac{\text{Impulse}}{\text{min}}$$

Dies sind dann

$$5'324'800 \frac{\text{Impulse}}{\text{min}} / 60\text{s} = 88'747 \frac{\text{Impulse}}{\text{s}}$$

Dies ergibt eine Impulsdauer von

$$\frac{1}{88'747 \frac{\text{Impulse}}{\text{s}}} = 11.29\mu\text{s}$$

Bei der schnellsten möglichen Timer-Einstellung auf dem TinyK22 ( $60\text{MHz}$ ) ergibt dies noch  $676 \frac{\text{Ticks}}{\text{Impuls}}$ . Bei der Implementierung muss also beachtet werden, dass bei hoher Geschwindigkeit möglichst wenig Zeit in der Interrupt Routine verbracht wird, da diese dann sehr oft aufgerufen wird. Sollte sich zeigen, dass der Mikrocontroller durch die hohe Impulsrate überlastet ist, muss ein Encoder mit weniger Impulsen pro Umdrehung gewählt werden oder ein Frequenz Teiler dazwischen geschaltet werden.

Damit der Timer nicht überläuft, muss eine Impulspause fertig sein, bevor der Timer den Wert

$$2^{32} \approx 4.29\text{Mrd}$$

erreicht. Dies ergibt bei  $60MHz$  eine Zeit von

$$2^{32} \cdot \frac{1}{60MHz} = 71.58s$$

Also ist ein tiefstmögliche Umdrehungszahl

$$\frac{1}{71.58s \cdot 1024} = 13.6 \cdot 10^{-6}s^{-1}$$

Diese Umdrehungszahl sollte nicht unterschritten werden. Diese Zahl ist jedoch so klein, dass dies als Stillstand gewertet werden kann.

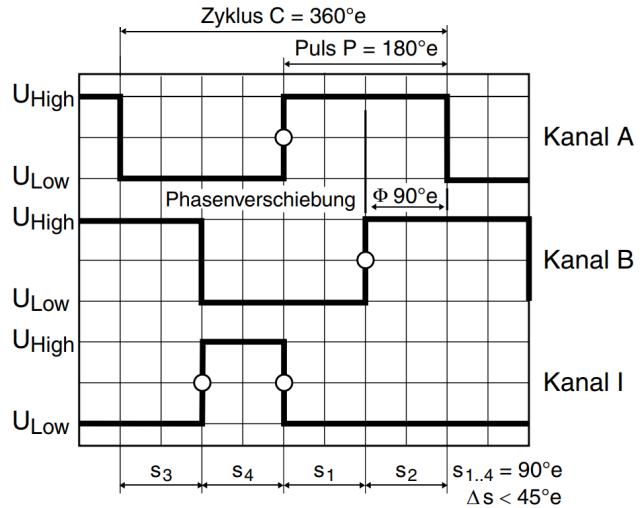


Abbildung 18: Signalverlauf Encoder ([www.maxonmotor.ch](http://www.maxonmotor.ch))

Die Geschwindigkeit des Zuges ( $v_{Zug}$ ) kann somit aus der Umdrehungszahl des Motors ( $N_{Motor}$ ) mittels der Mechanischen Übersetzung und der Grösse der Räder berechnet werden.

$$v_{Zug}(N_{Motor}) = \frac{N_{Motor}}{2} \cdot d \cdot \pi$$

$d$ : Raddurchmesser 22mm

**Nachrechnen der Geschwindigkeit:** Unter der Annahme, dass zu Beginn der Messung zum Zeitpunkt  $t = 0$  die Geschwindigkeit 0 ist ( $v(t = 0) = 0$ ), kann die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t$  bestimmt werden mit

$$v(t) = \int_0^t a(x)dx$$

Da aber auf einem Digitalen System die Daten nur zu diskreten Zeitpunkten ausgewertet werden können, ergibt sich dann eine Summe der Beschleunigungen zum Zeitpunkt  $k$

$$v[k] = \sum_{i=0}^k a[i]\Delta t$$

### Position

Über den Beschleunigungssensor kann man die aktuelle Position auf der Fahrbahn berechnen. Die zurückgelegte Strecke errechnet sich durch Integration der Geschwindigkeit oder durch zweifache Integration der Beschleunigung.

Unter der Annahme, dass zu Beginn der Messung zum Zeitpunkt  $t = 0$  die zurückgelegte Strecke 0 ist ( $s(t = 0) = 0$ ), kann die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t$  bestimmt werden mit

$$s(t) = \int_0^t v(x)dx$$

Da aber auf einem Digitalen System die Daten nur zu diskreten Zeitpunkten ausgewertet werden können, ergibt sich dann eine Summen der Geschwindigkeiten zum Zeitpunkt  $k$

$$s[k] = \sum_{i=0}^k v[i]\Delta t$$

Die Geschwindigkeit wird gemäss der Beschreibung oben bestimmt.

### Distanz

Auf beiden Seiten des Zuges wird eine Distanzmessung benötigt. Auf der rechten Seite des Zuges muss der Würfel erkannt werden, und auf der linken Seite soll ein ausklappbarer Sensor am Schluss die genaue Distanz zum Haltesignal bestimmen.

**Würfelerkennung:** Gemäss der Aufgabenstellung befindet sich der Würfel in einem Abstand von  $8 \pm 1\text{cm}$  von der Gleismitte. Somit muss der Distanzsensor Distanzen zwischen ca.  $20\text{mm}$  und  $80\text{mm}$  erkennen können. Der exakte Wert der Distanz ist dabei nicht entscheidend, da nur ein bestimmter Schwellwert erkannt werden muss. Die Distanz zum Würfel wird mit einem TOF (Timo-Of-Flight) Sensor VL53L0X ermittelt.

**Haltesignal Erkennung:** Um möglichst präzise anhalten zu können, muss die Systemsteuerung den exakten Wert der Distanz zum Haltesignal kennen. Dies wird mit einem Distanzsensor ermittelt. Diese Distanz wird mit einem Ultraschall Sensor HC-SR04 gemessen. Es ist entscheidend, dass der Sensor korrekt und mit wenig Toleranz auf der Mechanik befestigt wird, um eine exakte Ausrichtung auf das Haltesignal sicherzustellen.

### 3.7.3 Aktoren

Die Aktoren stellen die Schnittstelle zur Mechanik dar. Diese sollen alle nötigen mechanischen Bewegungen auf Befehl des Mikrocontrollers ausführen.

#### H-Brücken Treiber für Antriebsmotor

Um den Antriebsmotor anzusteuern, wird ein H-Brückentreiber verwendet. Damit kann der Motor durch ein PWM Signal in der Geschwindigkeit fast beliebig eingestellt werden. Über die wahlweise Ansteuerung einer der beiden Eingänge der H-Brücke wird die Richtung bestimmt.

Es wird ein Arduion IBT \_ 2 DC-Motoren Treiber mit einem BTS7960 eingesetzt. Dieses Bauteil kann Motoren mit einem Strom von bis zu 43A versorgen.

### Antriebsmotor

Als Antriebsmotor dient ein Maxon DCX 32 L. Dieser kann eine Leistung von bis zu 70 Watt umsetzen. Dabei zu beachten ist, dass der Anlaufstrom bis zu 70A betragen kann. Dieser Strom muss begrenzt werden, indem der Mikrocontroller die Beschleunigung gemäss dem gemessenen Stromverbrauch anpasst. Maxon [2018a] Dies ist bei einer Versorgungsspannung von 24V spezifiziert. Da aber nicht die maximale Drehzahl benötigt wird, kann auch eine entsprechend tiefere Spannung angelegt werden. Die Drehzahlkonstante des Motors ist  $350 \frac{\text{min}^{-1}}{\text{V}}$ . Für die angestrebte Drehzahl von  $5200 \text{min}^{-1}$  ergibt sich eine Spannung von

$$\frac{5200 \text{min}^{-1}}{350 \frac{\text{min}^{-1}}{\text{V}}} = 14.8 \text{V}$$

Somit muss der Antriebsmotor mit einer Spannung von mindestens 14.8V versorgt werden.

### Motortreiber für Schwenker-Motor

Da die Richtung immer dieselbe ist reicht für den Schwenker ein normaler DC-Motoren Treiber. Um eine sanfte Beschleunigung und Bremsung der Konstruktion zu ermöglichen, soll auch der Schwenker-Motor mit einem PWM angesteuert werden. Als Treiber wird ein Board mit einem L298N verwendet.

### Schwenker-Motor

Für den Schwenker wird ein Maxon DCX 19 S verwendet. Um die Position des Schwenkers zu bestimmen, ist auch an diesem Motor ein Encoder befestigt. Durch die Bestimmung der nötigen Umdrehungen, bis der Schwenker eingefahren ist, kann genau festgestellt werden, wie viele Impulse abgewartet werden müssen, bis der Motor anhalten muss. Maxon [2018b]

### Distanzsensor links ausklappen

Um den Sensor beim Parkieren auszuklappen zu können, wird dieser an einem Servo befestigt. Sobald die Systemsteuerung entscheidet, dass das korrekte Haltesignal das Nächste ist, gibt sie den Befehl den Sensor auszuklappen. Dafür wird ein "Tower Pro Micro Servo SG90" verwendet. Dieser hat ein Drehmoment von bis zu  $2.5 \text{kg} - \text{cm}$ . Mi-PC [2016]

#### 3.7.4 Proof-of-Concept

Um die Funktionsfähigkeit der einzelnen Komponenten sicherzustellen, wurden diverse Tests gemacht. Das Ziel dieser Tests war es, die einfachste Form jeder Funktionalität zu realisieren. Auf eine quantitativ genaue Anpassung wurde in diesem ersten Schritt verzichtet, dies ist für die Realisierung des Projekts vorgesehen. Das Ziel der Tests war somit nur, zu zeigen, dass die Komponente wie vorgesehen funktionieren kann. Eine Übersicht der durchgeführten Tests ist in Tabelle 12 ersichtlich.

Komponente	Beschreibung des Tests	Ok
Tiny K22	Der Mikrocontroller konnte erfolgreich programmiert werden und Hardware kann darüber angesteuert werden.	✓
UART Kommunikation	Mittels dem "Raspberry Pi APROG HAT" konnte erfolgreich zwischen dem Pi und dem Tiny mittels UART kommuniziert werden.	✓
Beschleunigungssensor	Der Beschleunigungssensor wurde über die Schnittstelle angesteuert und die Werte für die x-, y- und z-Richtung konnten erfolgreich ausgelesen werden.	✓
Motorenansteuerung	Vom Mikrocontroller wurde ein PWM generiert. Der Pin mit dem PWM wurde mit dem Motorentreiber Arduion IBT 2 und dieser dann mit einem Motor verbunden. Durch Vorgaben des Mikrocontrollers konnte die Geschwindigkeit und die Richtung des Motors eingestellt werden.	✓
Encoder	Der Encoder wurde vom Mikrocontroller ausgelesen und die Zeiten und Impulse ausgewertet. Es zeigte sich, dass der Encoder korrekt 1024 Impulse pro Umdrehung liefert. Daraus lässt sich dann die Umdrehungszahl berechnen. Auch wurde eine Zeitmessung durchgeführt, um festzustellen wie viel Zeit die Interrupt-Routine von der Flanke des Encoders, bis die Routine beendet ist, benötigt. Hochgerechnet für die maximale Geschwindigkeit ergibt dies eine Auslastung des Mikrocontrollers von ca. 10%.	✓
Ultraschallsensor	Der Ultraschallsensor wurde vom Mikrocontroller gemäß dem Datenblatt angesteuert. Mittels der gemessenen Zeit konnte eine approximative Distanz berechnet werden. Für einen exakten Wert sind noch genauere Abstimmungen nötig. Der Sensor reagiert jedoch zuverlässig auf Objekte in der Grösse des Würfels oder der Haltesignale.	✓
TOF-Sensor	Mit einer Code-Bibliothek, die für das Tiny K22 angepasst wurde, konnte der TOF-Sensor erfolgreich angesteuert werden. Damit kann eine approximative Distanz berechnet werden. Für einen exakten Wert sind noch genauere Abstimmungen nötig. Der Sensor reagiert jedoch zuverlässig auf Objekte in der Grösse des Würfels oder der Haltesignale.	✓
Spannungsanpassung	Der DC-DC Converter wurde mit einer Spannungsquelle verbunden und die Ausgangsspannung bei diversen Einstellungen korrekt gemessen.	✓
Stromüberwachung	Eine Differenzverstärker Schaltung wurde mit unterschiedlichen Lastwiderständen simuliert und durch die Messspannung den Strom bestimmt und mit dem Strom der Simulation verglichen.	✓

Tabelle 12: Übersicht Proof-of-Concept Elektronik

### 3.8 Signalerkennung

In der Aufgabenstellung wird gefordert, dass der Schnellzug während der Bewältigung der Strecke ein Signal mit aufgedruckter Nummer erkennt. Die Nummer ist auf einer 3x3cm grossen Tafel mit weissem Hintergrund, schwarz aufgedruckt oder weiss auf schwarzem Hintergrund. Die Aufgabe Signalerkennung wird in zwei Teilaufgaben unterteilt:

- Erkennung der Signalkennung mit Tafel
- Erkennung der aufgedruckten Nummer

Wie bereits in der Übersicht beschrieben, werden im Gesamtkonzept zwei Kameras verwendet. Eine Kamera wird zur Erkennung der Schienenrichtung verwendet. Die zweite Kamera wird für die Signalerkennung eingesetzt. Der Raspberry PI 3+, welcher als Hauptrecheneinheit geplant ist, verfügt nur über einen CSI-Anschluss (Camera Serial Interface). Für die Signalerkennung wird auf einen weiteren kleineren Raspberry PI zero gesetzt. Dieser verfügt wie der Raspberry PI 3+ einen vollwertigen CSI-Anschluss und kann somit die zweite Kamera bedienen. Dies führt auch dazu, dass der Raspberry PI 3+ zusätzlich entlastet werden kann.

#### Architektur

Die Signalerkennung in zwei Teilaufgaben zu trennen hat noch einen weiteren Vorteil. Die beiden Teilaufgaben werden auf beide Raspberry PIs verteilt. Der Raspberry PI zero ist für die Bildaufnahme Verarbeitung und für die Signalerkennung mit Tafel zuständig. Der Raspberry PI 3+ übernimmt dann die Erkennung der aufgedruckten Nummer auf der Tafel. So können die Ressourcen des Raspberry PI 3+ gezielter eingesetzt werden.

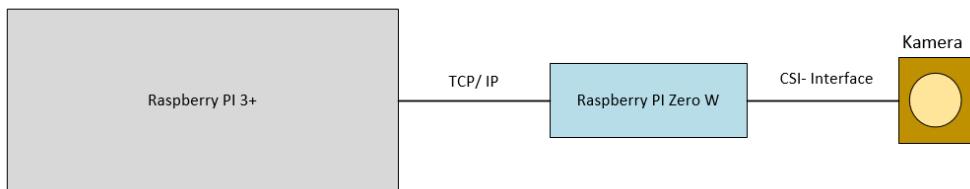


Abbildung 19: Architektur Hardware Signalerkennung

Für die Nummernerkennung auf der Tafel wird ein Machine-Learning Algorithmus verwendet. Damit die Trainingsdaten des Modells eingelesen werden können und somit ausführbar werden, braucht es eine gewisse Grösse des Arbeitsspeichers. Der Arbeitsspeicher des Raspberry PI zero (512Mb) reicht dafür nicht aus. Der Raspberry PI 3+ verfügt über mehr Speicher (1Gb) und kann somit den Algorithmus bearbeiten. Für die Kameraaufnahmen und die Bearbeitung der Bilder und schlussendlich die Konturenerkennung der Signalkennung ist der Raspberry PI zero gut geeignet.

## Software Tafelerkennung

Für die Erkennung der Tafel wird auf das Framework OpenCV gesetzt. OpenCV hat sich als Standardframework im Bereich der Echtzeitbildverarbeitung durchgesetzt. Weiter zeichnet sich OpenCV in seiner Effizienz und seiner breiten Community aus. In der Abbildung 20 ist der Ablauf der Tafelerkennung und in der Tabelle 13 die jeweilige Funktion beschrieben.

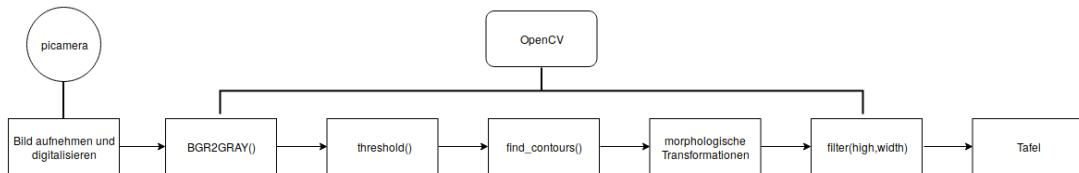


Abbildung 20: Ablauf Tafelerkennung

Funktion	Beschreibung
Bild aufnehmen und digitalisieren	Die Umgebung wird mittels der Raspberry PI Kamera und der Bibliothek picamera aufgenommen und dem OpenCV übergeben
BGR2GRAY	Die Farbinformationen des Bildes werden nicht benötigt und deshalb entfernt (Effizienz)
threshold	Für die Konturenerkennung braucht es nur die Schattierungen des Bildes. Aus diesem Grund wird ein Threshold auf das Bild gelegt, damit ein Binary-Picture generiert werden kann.
find-contours	Nun wird die OpenCV Funktion find-contours angewendet. Dabei werden benachbarte schwarze oder weisse Pixel miteinander zusammengefügt, bis eine Kontur entstehen kann.
morphologische Transformationen	Hier wird das Bild mittels morphologische Transformationen nachbearbeitet
filter	Die erkannten Konturen werden gefiltert nach Grösse und Form der Tafel.
Tafel	Nun ist das Bild mit der Tafel erkannt worden und wird zur Nummererkennung vorbereitet.

Tabelle 13: Beschreibung der OpenCV Funktionen

In der Abbildung 21 links sieht man die erkannte Position der Nummer auf der Tafel. Rechts sieht man die gleiche Aufnahme nach der Filterung. Dieses Bild wird nun auf die Grösse des rechten erkannten Rechteckes zugeschnitten und dem Raspberry PI 3+ zur Nummererkennung übergeben.

## Konfiguration Raspberry PI Kamera

Eine weitere Schwierigkeit bei der Nummererkennung ist die Aufnahme mittels Kamera. Bei hohen Geschwindigkeiten neigt das Bild dazu unscharf zu werden. Dies liegt daran, dass die Verschlusszeit der Kamera zu lange ist. Mit der Raspberry PI Kamera und der Schnittstelle piCamera können viele Parameter eingestellt werden. Hier liegt der Schlüssel zur Behebung von unscharfen Bildern. Wenn Parameter wie Belichtungszeit, Helligkeit, Sättigung und Weissabgleich fest eingestellt werden, können in erster Linie

reproduzierbare Bilder aufgenommen und die Belichtungszeit kann auf ein Minimum gesetzt werden. Wenn die Belichtungszeit kürzer gesetzt wird, ergibt dies aber dunklere Bilder. Mit digitaler Aufhellung oder sogar mit externer Beleuchtung kann aber diesem Effekt entgegengewirkt werden.



Abbildung 21: Nummerposition- und Nummererkennung

### Software Nummererkennung

Damit nun die Nummer auf der Tafel erkannt werden kann, wird ein Machine-Learning Algorithmus verwendet. Dafür wird die high-level API Keras verwendet. Als Backend kommt Tensorflow zum Einsatz. Als Trainingsdatabase kommt die frei Verfügbare MNIST- Database zum Einsatz. Die MNIST- Datenbank verfügt über 60'000 Zahlen in Handschrift. Die Tabelle 14 zeigt die Zusammenfassung der Tensorflowbackend bezüglich dem ausgewählten Keras Model. In den ersten Tests hat die Erkennung gut funktioniert auch auf dem Raspberry PI. Probleme sind in erster Linie mit der Nummer "1" aufgetaucht. Die MNIST Datenbank verfügt nur über die amerikanisch geschriebene "1". Die "1" in Arial wird dadurch nicht erkannt. Sobald in PREN2 die Schriftart der Zahlen bekannt gegeben wird, muss eventuell ein eigener Trainingsdatensatz erstellt werden oder auf einen anderen Datensatz, wie zum Beispiel von UCI Machine Learning Repository, zurückgegriffen werden.

<b>Layer(type)</b>	<b>Output Shape</b>	<b>Param #</b>
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 26, 26, 32)	320
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 24, 24, 64)	18496
max_pooling2d_1 (MaxPooling2)	(None, 12, 12, 64)	0
dropout_1 (Dropout)	(None, 12, 12, 64)	0
flatten_1 (Flatten)	(None, 9216)	0
dense_1 (Dense)	(None, 128)	1179776
dropout_2 (Dropout)	(None, 128)	0
dense_2 (Dense)	(None, 10)	1290

Tabelle 14: Auflistung aller Testklassen mit jeweiligen Testarten

## 3.9 Gleiserkennung

Ein Beschleunigungssensor für die Erfassung der Fahrdaten ist bereits in der Aufgabenstellung vorgeschrieben. Um aber eine ideale Regelung zu ermöglichen, wird zusätzlich eine Gleiserkennung implementiert. Mit welchem schon im Voraus erkennt werden kann ob eine Kurve bevorsteht oder ob sich der Hochgeschwindigkeitszug auf einer Geraden befindet. Während der Konzept Phase wurden verschiedene Verfahren evaluiert und zum Teil ausprobiert. Jedoch gab es keine Lösung, welche zusätzlich zur Richtung noch den Radius der Kurve bestimmen kann. Die momentane Lösung, welche angestrebt wird, kann also nur sagen, ob es geradeaus, nach links oder nach rechts geht. Diese Information wird in den Regelungskreis eingespeist. Dadurch wird die maximale Geschwindigkeit für den engsten Schienen-Radius festgelegt. Anschliessend wird mithilfe des Beschleunigungssensors versucht, an das Limit der Zentripetalkraft zu gelangen. Somit kann die bestmögliche Regelung implementiert werden, ohne genauere Angaben zum aktuellen Kurvenradius zu haben. Mehr Details zum Regelkreis und dem ganzen Ablauf sind im unter 3.1 zu finden.

### 3.9.1 Verfahren

Nachfolgend werden die Schritte zur Bearbeitung eines einzelnen Bildes aufgelistet. Die einzelnen Teilschritte werden für jedes Bild, welches aufgenommen wird, neu berechnet.

- Bild skalieren
- Umrechnen zu Schwarz-Weiss
- Kantenglättung anwenden (Canny Algorithmus)
- Konturen erkennung (Suzuki85 Algorithmus)
- Kleine Konturen erkennen und verwerfen
- Bild in zwei Hälften unterteilen
- Berechnen der Anzahl Konturen in beiden Hälften
  - Beide Hälften etwa gleich viele Konturen  $\Rightarrow$  Gleis geht geradeaus
  - Linke Hälfte hat mehr Konturen  $\Rightarrow$  Gleis geht nach links
  - Rechte Hälfte hat mehr Konturen  $\Rightarrow$  Gleis geht nach rechts

#### Bild skalieren

Das Bild muss für die Berechnungen runter skaliert werden, um die Rechenzeit zu reduzieren. Das Format wird dabei beibehalten, um Verzerrungen zu vermeiden. Zuerst wird also das Seitenverhältnis berechnet, um dann die kürzere Seite auf einen konfigurierbaren Wert zu setzen. Die längere Seite wird dann mit dem Seitenverhältnis Faktor berechnet.

#### Umrechnen zu Schwarz-Weiss

Der Canny Algorithmus für die Kantenglättung muss mit einem Schwarz-Weiss Bild gefüttert werden. Deshalb wird das farbige Bild zu einem Schwarz-Weiss Bild umgerechnet.

#### Kantenglättung anwenden (Canny Algorithmus)

Der Canny Algorithmus sucht Kanten im Bild und erzeugt ein binäres Bild (Schwarz oder Weiss), wobei die weissen Pixel eine Kante beschreiben.

### **Konturen erkennung (Suzuki85 Algorithmus)**

Das binäre Bild, welches mithilfe vom Canny Algorithmus erzeugt wird, kann mit dem Suzuki85 Algorithmus analysiert werden, um Konturen zu erkennen. Die Konturen sind jeweils eine Liste von Punkten, welche zusammen eine Kontur bilden.

### **Kleine Konturen erkennen und verwerfen**

Die Anzahl Punkte einer Kontur werden mit einem Schwellwert verglichen. Sind die Anzahl Punkte innerhalb der Kontur zu gering, wird sie verworfen. Somit können kleine Störungen im Bild bzw. kurze Linien ignoriert werden.

### **Bild in zwei Hälften unterteilen**

Das Bild wird nun in zwei Hälften geteilt, um die Entscheidung zu treffen ob geradeaus, nach links oder nach rechts gefahren wird.

### **Berechnen der Anzahl Konturen in beiden Hälften**

Um die Entscheidung zu treffen, wird einfach die Anzahl Punkte in jeder Hälfte verglichen. Hat es in der linken Hälfte mehr, geht das Gleis nach Links. Sind es in der rechten Hälfte mehr, geht es nach Rechts. Ist die Anzahl ungefähr identisch, dann geht es geradeaus. Da es nie genau gleich viele Punkte haben wird, gibt es eine minimal Differenz, die es zwischen links und rechts geben muss, damit eine Kurve detektiert wird.

### **3.10 Aufgabentrennung zwischen Pi und Tiny**

Dieses Kapitel beschreibt die Aufgabentrennung zwischen der Systemsteuerung auf dem Raspberry Pi 3+ (im folgenden Pi genannt) und dem Mikrocontroller MK22FN512VLH12 auf dem Entwicklerboard TinyK22 (im folgenden Tiny genannt). Das Pi dient im System als Master. Damit fällt das Pi alle Entscheidungen. Das Tiny dient als Slave, es führt die Entscheidungen vom Pi aus und gibt Rückmeldung zum aktuellen Status und zu den Sensordaten.

Im System sind folgende Aufgaben für die jeweiligen Steuerungen vorgesehen:

**Pi:**

- Entscheidung Start gemäss Befehl vom Webinterface
- Auswertung der Kameraaufnahmen
  - Entscheidung über bevorstehende Kurven
  - Entscheidungen gemäss erkannter Schilder
- Entscheidung der Fahrgeschwindigkeit
- Auswertung des Beschleunigungssensors
- Versenden der Sensordaten an das Webinterface

**Tiny:**

- Ansteuerung / Regelung Antriebsmotor
- Ansteuerung Schwenkermotor
  - inkl. Auswertung Position des Schwenkers bis vollständig eingefahren
- Auslesen von Sensordaten
  - Objekterkennung Würfel
  - Objekterkennung Haltesignal
  - Stromverbrauch
  - aktuelle Ist-Geschwindigkeit

Somit ist jedes System auf Informationen des anderen angewiesen. Deshalb ist eine klare Definition der Schnittstelle der beiden Komponenten nötig. Im folgenden Kapitel 3.11 wird diese Interface genauer beschrieben.

### **3.11 Interface zwischen Pi und Tiny**

Dieses Kapitel beschreibt die Kommunikation zwischen der Systemsteuerung auf dem Raspberry Pi und dem Mikrocontroller MK22FN512VLH12 auf dem Entwicklerboard TinyK22. Dabei sollen Informationen zur aktuellen Situation, sowie auch Informationen zum aktuellen Status des jeweiligen Systems ausgetauscht werden.

Diese Kommunikation soll es den Systemen ermöglichen, die zugewiesenen Aufgaben gemäss Kapitel 3.10 zu erfüllen.

### 3.11.1 Hardware Schnittstelle

Als Hardware Schnittstelle wird UART (auch RS-232 genannt) verwendet. Dies ist eine asynchrone serielle Schnittstelle. Die Kommunikation kann mit zwei Leitungen realisiert werden. Eine dient als Empfangsverbindung (Rx) und eine als Sendeverbindung (Tx). Diese Trennung erlaubt eine voll-duplexe Kommunikation.

### 3.11.2 Übertragungsprotokoll

In regelmässig wiederholenden Zeitpunkten werden Datenpakete (im folgenden Frame genannt) in einem fest vorgelegten Format ausgetauscht. Dabei gibt es ein Grundformat für die Informationen und zwei Formate für den Informationsinhalt, eines für Frames von Pi zum Tiny und ein anderes Format für die Frames vom Tiny zum Pi. Der Informationsinhalt der beiden Formate unterscheidet sich gemäss der Aufgabentrennung in Kapitel 3.10.

#### Grundformat

Die Frames bestehen jeweils aus einem Bezeichner (Key) und einem Wert (Value). Diese werden mit einem Komma getrennt. Als Abschluss dient das New Line Zeichen '\n'. Somit sieht ein Informationsstück folgendermassen aus:

$\{Key\}, \{Value\} \backslash n$

Zum Beispiel würde eine Information zur Geschwindigkeit folgendermassen aussehen:

$speed, 200$

Die gesamten Informationen werden als Zeichenkette (String) im Ascii Format verschickt. Zahlenwerte werden jeweils vor dem Senden in einen String umgewandelt und nach dem Empfangen wieder in einen Zahlenwert zurückkonvertiert. Dies verbessert die Leserlichkeit, was zum Testen und Simulieren der Kommunikation sehr hilfreich sein kann.

#### Frames: Pi $\Rightarrow$ Tiny

Das Pi schickt dem Tiny eine vorgegebene Soll-Geschwindigkeit und Richtung der nächsten Kurve. Auch Informationen über den aktuellen Status des Pi werden verschickt. Die genauen Bezeichner und die Bedeutung und Grösse der zugehörigen Werte sind in Tabelle 15 aufgelistet.

Bezeichner	Wert Beschreibung	Wert Zahlengrösse
speed	Soll-Geschwindigkeit	signed 32-Bit Integer
dir	Kurvenrichtung	signed 32-Bit Integer
status	Moral und weitere Informationen des Pi	unsigned 8-Bit Integer

Tabelle 15: Kommunikation Frames: Pi  $\Rightarrow$  Tiny

### Frames: Tiny $\Rightarrow$ Pi

Das Tiny nimmt die nötigen Sensordaten auf und schickt die nötigen Informationen dar-aus dem Pi. Auch Informationen über den aktuellen Status des Tiny werden verschickt. Die genauen Bezeichner und die Bedeutung und Grösse der Zugehörigen werte sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Bezeichner	Wert Beschreibung	Wert Zahlengrösse
is-speed	Ist-Geschwindigkeit (gemäss Encoder)	signed 32-Bit Integer
obj	Objekt erkannt (einzelne Bits 1 oder 0)	unsigned 8-Bit Integer
status	Moral und weitere Informationen es Tiny	unsigned 8-Bit Integer

Tabelle 16: Kommunikation Frames: Tiny  $\Rightarrow$  Pi

Der Wert der Moral ist bestimmt für Statusinformationen, welche den einzelnen Bits in der Zahl zugeordnet werden. Der genaue Inhalt kann sich je nach Status (gemäss Kapitel 3.1) unterscheiden. Der nötige Informationsinhalt, um den Ablauf zu erfüllen, ist in Tabelle 17 aufgelistet. Für Tests soll es möglich sein, den Inhalt je nach Bedarf zu erweitern.

Informationen Pi $\Rightarrow$ Tiny	Informationen Tiny $\Rightarrow$ Pi
Bereit	Bereit
Ablauf gestartet	Würfel erkannt
Befehl zum Schwenker einfahren	Schwenker vollständig eingefahren
Haltesignal erkannt (Parksensor ausklappen)	Haltedistanz erreicht
	Stromverbrauch zu hoch

Tabelle 17: Informationsinhalt des Statusbytes

## 3.12 Software Lösungskonzepte

Die Steuerungssoftware, welche auf dem Hauptrechner ausgeführt wird, soll in mehrere Teilprogramme aufgeteilt werden. Teilprogramme können so unabhängig voneinander implementiert und getestet werden. Um anschliessend zwischen den Teilprogrammen zu kommunizieren, wird eine Middleware verwendet. Die Middleware kann auch genutzt werden, um die einzelnen Teilprogramme zu testen. Zusätzlich können verschiedene Programmiersprachen für die einzelnen Teilprogramme verwendet werden. Dies erhöht zusätzlich die Flexibilität während der Entwicklung.

### 3.12.1 Architektur

Im folgenden Diagramm wird die Architektur der Steuerungssoftware aufgezeigt

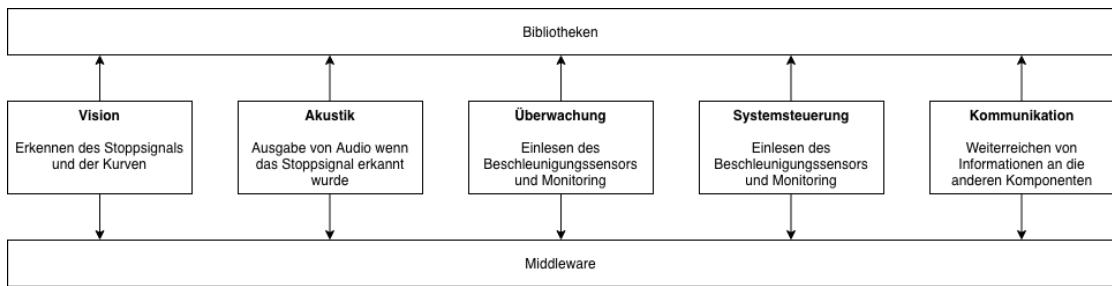


Abbildung 22: Software Architektur Middleware. Gezeichnet mit <https://draw.io>

#### Legende:

- Die Pfeile visualisieren die Abhängigkeiten innerhalb der Architektur

### 3.12.2 Technologie

Während der Technologierecherche wurde eine Analyse gemacht, um zu entscheiden welche Technologie eingesetzt werden soll. Bald wurde ZeroMQ auserkoren, da diese schlank ist und ohne Performance Probleme auf kleinen Einplatinenrechner läuft. Ausserdem ist die Middleware bekannt und hat eine hervorragende Dokumentation. Um die Daten, welche über die Middleware geschickt werden, mit verschiedenen Programmiersprachen zu nutzen, wird Protobuffers verwendet. Protobuffers ist ein Format zur Beschreibung von Daten. Dieses Format kann anschliessend verwendet werden, um Klassen bzw. Funktionen für fast jede Programmiersprache zu benutzen. Das heisst, dass die Daten einmalig definiert werden und anschliessend von allen Teilprogrammen verwendet werden können.

#### Beispiel Protobuf:

```
syntax = "proto3";  
  
message Direction {  
    string direction = 1;  
}
```

Man sieht nun, dass eine 'Direction' Mitteilung definiert wird. Diese hat ein String Attribut, welches direction heisst. Mit dieser Definition wird mithilfe eines 'protobuffer compiler' Code generiert. Dieser kann die definierte Message Serialisieren und Deserialisieren.

## Beispiel Generierung für Python:

```
protoc -I=pb --python_out=pb pb/direction.proto
```

Mithilfe von diesem Beispiel wird die Protobuf Definition (direction.proto) zu Python Code generiert.

### Beispiel Generierter Python Code:

```
# Generated by the protocol buffer compiler. DO NOT EDIT!
# source: direction.proto
```

```
import sys
_b=sys.version_info[0]<3 and (lambda x:x) or (lambda x:x.encode('latin1'))
from google.protobuf import descriptor as _descriptor
from google.protobuf import message as _message
from google.protobuf import reflection as _reflection
from google.protobuf import symbol_database as _symbol_database
# @@protoc_insertion_point(imports)

_sym_db = _symbol_database.Default()

DESCRIPTOR = _descriptor.FileDescriptor(
    name='direction.proto',
    package='',
    syntax='proto3',
    serialized_options=None,
    serialized_pb=_b('\n\x0f\x64irection.proto\"\\x1e\\n\\tDirection\\x12\\x11\\n\\tdirection'
))

_DIRECTION = _descriptor.Descriptor(
    name='Direction',
    full_name='Direction',
    filename=None,
    file=DESCRIPTOR,
    containing_type=None,
    fields=[
        _descriptor.FieldDescriptor(
            name='direction', full_name='Direction.direction', index=0,
            number=1, type=9, cpp_type=9, label=1,
            has_default_value=False, default_value=_b("").decode('utf-8'),
            message_type=None, enum_type=None, containing_type=None,
            is_extension=False, extension_scope=None,
            serialized_options=None, file=DESCRIPTOR),
    ],
    extensions=[],
    nested_types=[],
    enum_types=[],
    serialized_options=None,
    is_extendable=False,
```

```

syntax='proto3',
extension_ranges=[],
oneofs=[
],
serialized_start=19,
serialized_end=49,
)

DESCRIPTOR.message_types_by_name[ 'Direction' ] = _DIRECTION
_sym_db.RegisterFileDescriptor(DESCRIPTOR)

Direction = _reflection.GeneratedProtocolMessageType( 'Direction' , ( _message.Message , )
DESCRIPTOR = _DIRECTION,
__module__ = 'direction_pb2',
# @@protoc_insertion_point(class_scope:Direction)
))
_sym_db.RegisterMessage(Direction)

# @@protoc_insertion_point(module_scope)

```

Das generierte Python File, welches mithilfe des 'protobuf compiler' erzeugt wurde.

### 3.12.3 Proof-of-Concept

Um zu testen, ob eine Kommunikation zwischen zwei Prozessen mithilfe der Middleware möglich ist, wurde eine kleine Testsoftware entwickelt. Dabei wurde das 'direction.proto' File verwendet, um von einem Prozess eine Richtung (Direction) zu einem anderen Prozess zu senden und zu empfangen.

### 3.12.4 Performance

Die Performance wurde nicht gemessen und verifiziert. Jedoch wurden bei den Tests keine Limitationen gefunden. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Performance für unseren Anwendungsfall ausreicht. Ausserdem werden nur wichtige Events zwischen den Prozessen ausgetauscht und somit ist die Datenrate eher zweitrangig. Die Latenz ist jedoch sehr zentral um einen möglichst agilen Regelkreis zu implementieren. Hier bewegt sich ZeroMQ zwischen 450us - 700us.

#### Performance Tests:

- <http://zeromq.org/area:results>
- <http://nikolaveber.blogspot.com/2011/04/if-you-are-planning-large-or-not-even.html>

## 3.13 Grenzgeschwindigkeit

Die Grenzgeschwindigkeit ist nicht nur abhängig von der Masse des Zuges, des Schwerpunktes, der Leistung des Antriebs und den Kurven Radien. Es ist zentral, dass die Bilderkennung für die Signalerkennung und ebenfalls für die Gleiserkennung noch funktioniert. Deshalb werden in diesem Kapitel die verschiedenen Grenzgeschwindigkeiten aufgelistet, die näher betrachtet wurden. Daraus kann der Flaschenhals bezüglich Grenzgeschwindigkeit herausgelesen und dementsprechend auch die Risiken bestimmt werden.

### 3.13.1 Auflistung

Nachfolgend werden die einzelnen Grenzgeschwindigkeiten, die berechnet wurden, kurz beschrieben. Anschliessend wird in einem Fazit erläutert wo der Flaschenhals bezüglich der Geschwindigkeit liegt.

#### Grenzgeschwindigkeit ohne Bildverarbeitung

Die Grenzgeschwindigkeit ohne Bildverarbeitung basiert auf der Masse des Zuges, des Schwerpunktes, der Leistung des Motors und den Kurven Radien. Alle Berechnungen zu diesem Thema sind im Kapitel 3.2.1.

Gemäss den Berechnungen handelt es sich um 1.28m/s beim engsten Kurvenradius von 0.8m . Geradeaus kann wesentlich mehr erreicht werden. Wenn wir eine Gerade von 3m annehmen was wohl der maximal lange einer Geraden in PREN2 entspricht annehmen erreichen wir maximal 3m/s.

#### Grenzgeschwindigkeit mit Signalerkennung

Basierend auf der Grenzgeschwindigkeit ohne Bildverarbeitung, wird zusätzlich berücksichtigt, wie lange eine Aufnahme eines einzelnen Bildes dauert und wieviel Bilder gemacht werden müssen um die Umgebung genügend Abzudecken. Somit kann gewährleistet werden, dass ein verwendbares Bild aufgenommen werden kann während den Hochgeschwindigkeits-Runden. Die eigentliche Bildanalyse wird dabei vernachlässigt, weil dies nicht während den Hochgeschwindigkeits-Runden passiert, sondern anschliessend bei der Fahrt zum Haltesignal.

Maximal Geschwindigkeit: 3m/s Umgebung Abdeckung: 10cm (des Weges)

Pi Bilddaufnahme: 20ms Bilder Pro Meter:  $3\text{m/s} * 0.02\text{s} = 0.06\text{m} = 6\text{cm}$

Die normale Bilddaufnahme ist also genügend schnell, deckt alle Bereiche ab da alle 6cm ein Bild gemacht werden kann bei der maximalen Geschwindigkeit und ist somit kein Hindernis für eine rasche Fahrt.

#### Grenzgeschwindigkeit mit Signalerkennung & Gleiserkennung

Zusätzlich zu den anderen beiden Grenzgeschwindigkeiten wird nun noch die Gleiserkennung berücksichtigt welche gemessen etwa 100ms pro Bild benötigt. Die Gleiserkennung dient dazu, Kurven zu erkennen und bietet somit einen weiteren Parameter für die Regelung um eine maximale Geschwindigkeit zu fahren. Die Kamera kann das Gleis mindestens 20cm im voraus genügend gut erkennen. Dies ist wie vorhin gezeigt wichtig bei der Berechnung.

Maximal Geschwindigkeit: 3m/s Umgebung Abdeckung: 20cm (des Weges)

Pi Bilddaufnahme: 100ms Bilder Pro Meter:  $3\text{m/s} * 0.1\text{s} = 0.1\text{m} = 10\text{cm}$

Die Gleiserkennung ist somit wie die Signalerkennung genügend schnell, um auch mit der maximalen Geschwindigkeit von 3m/s zu fahren.

### **3.13.2 Fazit**

Die verschiedenen Grenzgeschwindigkeiten wurden analysiert und das Ergebnis ist klar. Der vermutliche Flaschenhals liegt bei der vorgegeben Leistung von 60 Watt und der daraus resultierenden Kombination von Motor & Mechanik. Dennoch ist es bemerkenswert was für Geschwindigkeiten möglich sind. Ob wir diese auch erreichen wird sich in PREN2 zeigen, wir sind aber sicher eine gute Konstruktion, ein gutes elektrisches Design und passende Softwaremittel gewählt zu haben.

## 4 Projektmanagement

Dieses Kapitel beschreibt das Projektmanagement des Team 28. Es wird auf die Organisation im Team, die Aufteilung der Arbeitspakete und Zeitplanung eingegangen.

### 4.1 Organigramm

Die Abbildung 23 zeigt die Organisation im Team auf. Das Team ist in die einzelnen Disziplinen Maschinentechnik, Elektrotechnik und Informatik aufgeteilt. Zusätzlich gibt es einen Projektleiter, dieser ist verantwortlich für die Kommunikation mit den Fachdozenten und ist bei allfälligen Abwesenheiten von Teammitgliedern informiert.

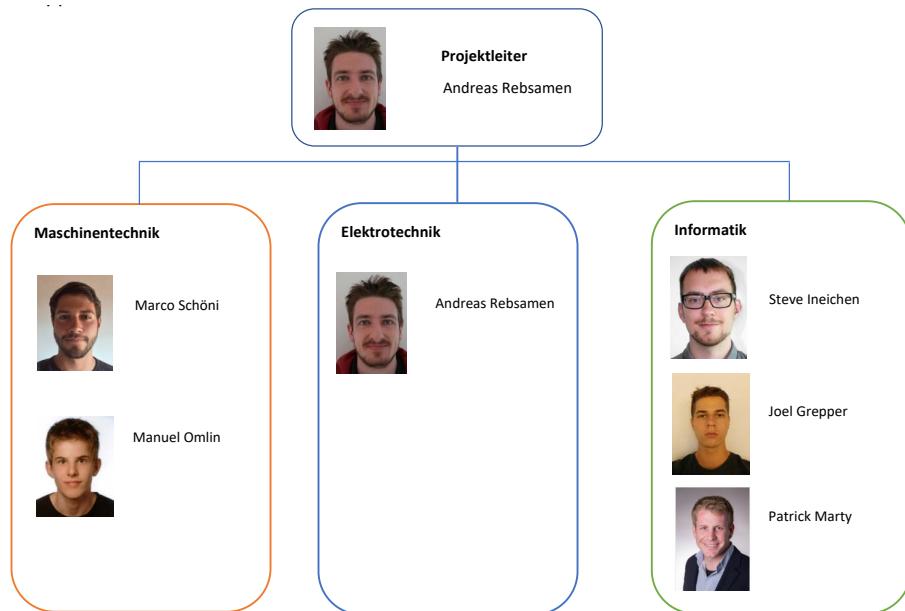


Abbildung 23: Organigramm Team 28

## 4.2 Zeitplanung

Mit den groben Arbeitspaketen wurde eine zeitorientierte Projektstruktur (Abbildung 24) erstellt. In dieser ist festgehalten, welcher Person oder Disziplin ein Arbeitspaket zugeteilt ist, ob diese neu, in Arbeit oder abgeschlossen ist.

Abbildung 24: Zeitorientierte Projektstruktur Team 28  
Stand: SW 12

Die detailliertere Aufteilung dieser Arbeitspakete wird dann in Trello (Abbildung 25) vorgenommen. In der Projektstruktur wird lediglich eingetragen, ob ein bestimmtes Arbeitspaket darin in Trello erfasst ist. Dort kann es in mehrere Teilkästen aufgeteilt und bestimmten Personen zugewiesen werden. Die Arbeitspakete in Trello werden je nach Status in die Kategorien "To do", "doing", oder "done" eingeteilt. Separat werden auch noch die Meilensteine festgehalten und als "done" gekennzeichnet sobald diese abgeschlossen sind.

The screenshot shows a digital project management board with four main columns: **TODO**, **DOING**, **DONE**, and **Meilensteine**.

- TODO:** Contains three items:
  - Prototyp Akustik & Fahrdatenauswertung
  - Schlussdokumentation: Zusammenfassung
  - Schlussdokumentation: Einleitung / Zielsetzung
- DOING:** Contains three items:
  - Schlussdokumentation: Lösungskonzepte Ablaufdiagramm / Blockdiagramm
  - Schlussdokumentation: Lösungskonzept Komponenten
  - Schlussdokumentation: Projektmanagement
- DONE:** Contains two items:
  - Zeitplan für V- Modell erstellen
  - Blockdiagramm ET-Komponente
- Meilensteine:** Contains one item: Abgabe Dokumentation Gesamtkonzept (due date: 11. Jan. 2019)

Each card includes a summary, a due date, and a set of five status icons: AR, J, M, MS, and S.I.

Abbildung 25: Bildschirmausschnitt Trello Team 28  
Stand: SW 12

### **4.3 Dokumentation**

Die Dokumentation wird in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X geschrieben. Der Quell-Text wird in eine normale Text-Datei mit der Endung ".tex" geschrieben. Ein Programm übersetzt diese Quell-Datei dann in ein Dokument wie z.B. ein PDF oder PostScript. McPeak

Für die Dokumentation dieses Projekts wird aus dem L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>TEX-Code ein PDF erstellt. Der Austausch der Daten im Team erfolgt gemäss Kaptitel 4.4.

### **4.4 Datenaustausch**

Um Daten im Team auszutauschen, wird auf zwei verschiedene Cloud Plattformen gesetzt. Alle Teammitglieder haben vollständigen Zugriff auf beide Plattformen.

#### **One Drive**

Für diverse Ablagen, Word- und Exceldokumente oder ähnliches steht ein Ordner in Microsoft One Drive zur Verfügung. Diese Daten werden jederzeit mit allen Teammitgliedern synchronisiert. In Dokumenten von Microsoft Office ist es auch möglich, dass mehrere Personen zur selben Zeit am selben Dokument arbeiten.

#### **Github**

Es steht ein Github Repository zur Verfügung. Mit dem Programm Git kann man auf die Daten zugreifen und seine Änderungen hochladen. Dabei können alle Änderungen von allen Personen verfolgt werden. Die genaue Verwendung und die benutzten Tools sind für die Teammitglieder direkt im Repository beschrieben.

Dieses Repository wird für die Dokumentation und für den Source-Code benutzt. Es gibt einen Ordner für die Dokumentation (alle L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>TEX-Dateien, Bilder, Zeichnungen, usw.) und einen weiteren für den Quell-Code. Dort ist der Programmcode für das Raspberry Pi und das Tiny K22 abgelegt.

Das Repository kann online unter <https://github.com/Inux/pren> eingesehen werden.

## 5 Schlussdiskussion

### 5.1 Kosten

Gemäss der Aufgabenstellung steht ein Budget von 500 Franken zur Verfügung. In Tabelle 18 wurden alle Komponenten in einer Kostenübersicht zusammengetragen. Gemäss dieser Übersicht gibt es noch eine Reserve von ca. 50 Franken für nicht vorhergesehene Änderungen.

In dieser Übersicht nicht enthalten sind Komponenten, welche aus der Mechanikwerkstatt oder dem Elektronik Labor der HSLU bezogen werden können. Auch sind Stundenan- sätze für Werkstattpersonal oder 3D-Drucker nicht berücksichtigt.

Beschreibung	Lieferant	Anzahl	Stückpreis	Gesamtpreis
Raspberry Pi 3 Model B+	pi-shop	1	CHF 39.00	CHF 39.00
Raspberry Pi Zero W	pi-shop	1	CHF 10.80	CHF 10.80
Raspberry Pi Kamera Beleuchtung	pi-shop	2	CHF 24.90	CHF 49.80
Raspberry Pi Kamera	pi-shop	2	CHF 32.90	CHF 65.80
Passiver Buzzer	play-zone	1	CHF 5.00	CHF 5.00
StromPi 3	Reichelt	1	CHF 41.64	CHF 41.64
StromPi 3 Battery Pack, 1000 mAh	Reichelt	1	CHF 31.20	CHF 31.20
Beschleunigungssensor ADXL345	aliexpress	1	CHF 1.00	CHF 1.00
Tiny K22	hslu	1	CHF 26.00	CHF 26.00
Arduino IBT_2 (DC-Motoren Treiber) (43A)	wish	1	CHF 9.00	CHF 9.00
DCDC CC Converter (12A)	wish	1	CHF 3.00	CHF 3.00
Ultraschallsensor HS-SR04	aliexpress	1	CHF 0.77	CHF 0.77
TOF Sensor VL53L0X	aliexpress	1	CHF 3.69	CHF 3.69
LM2596 DC-DC Schritt-down Converter (2.5A)	aliexpress	1	CHF 0.90	CHF 0.90
Strommesswiderstand 13FR200E	Distrelec	1	CHF 2.80	CHF 2.80
LogicLevelConverter 5V zu 3,3V	aliexpress	1	CHF 0.90	CHF 0.90
Tower Pro Micro Servo SG90	wish	1	CHF 1.60	CHF 1.60
Mini Modul PWM Speed Control Über L298N	aliexpress	1	CHF 0.69	CHF 0.69
Antriebsmotor mit Encoder	Sponsor	1	CHF 30.00	CHF 30.00
Schwenker Motor mit Encoder	Sponsor	1	CHF 25.00	CHF 25.00
Zahnriehmen	Mädler	1	CHF 15.00	CHF 15.00
Zahnriehmenrad	Mädler	3	CHF 8.00	CHF 24.00
Kupplungen	Mädler	1	CHF 30.00	CHF 30.00
Zahnräder	Mädler	3	CHF 10.00	CHF 30.00
<b>Total</b>		<b>30</b>		<b>CHF 447.59</b>

Tabelle 18: Kostenübersicht Gesamtkonzept

## 5.2 Risikomanagement

Während der Konzeptionsphase, in welcher dieses Konzept entstanden ist, wurden in bestimmten zeitlichen Intervallen Risikoanalysen durchgeführt. Diese flossen in die Entscheidungsfindung für alle Lösungskonzepte mit ein. Zum Schluss der Konzeptphase, anhand des fertigen Konzeptes, wurde nochmals eine Risikoanalyse durchgeführt pro Disziplin. Diese Risikoanalyse wird für das PREN2 entscheidend sein, um die geplanten Lösungskonzepte erfolgreich realisieren zu können.

Nr	Disziplin	Risiko	Massnahmen PREN1	Massnahmen PREN2
1	Elektrotechnik	Spannungsabfall/ Wackelkontakt bei Schleifkontakte	Stützkondensator/ Akku	weitere Schleifikontakte
2	Elektrotechnik	MC Überlastung durch Antriebsencoder	aktuelle Messung zeigen 10% Auslastung	Encoder tauschen
3	Elektrotechnik	Strom-Pi mit Akku zu teuer	-	alternative suchen
4	Elektrotechnik	zu hoher Anlaufstrom beim Motor	-	Momentenregelung mittels MC
5	Elektrotechnik	Ultraschallsensor zu ungenau	-	Systematische Fehler mittels Software korrigieren / TOF Sensor verwenden
6	Maschinenbau	zu wenig Reibung Räder => Schießen	Aufgummierung geplant	Oberfläche der Räder optimieren (Rauheit)
7	Maschinenbau	Kupplungen schleifen	Größere Haftreibung durch erhöhte Rauheit	alternative Befestigungsmethode wählen (Gewindestifte)
8	Maschinenbau	Zug Gewichtsverteilung nicht optimal	statische Berechnungen durchgeführt	Gegengewichte einsetzen
9	Maschinenbau	Kippen in der Kurve oder bei Würfelaufnahme	Konzept mit Kraftausgleich ausgearbeitet	Alternatives Konzept verfolgen
10	Maschinenbau	Riemen defekt	Ersatzriemen auf Lager	Riemenart wechseln
11	Maschinenbau	Reibfläche zwischen Ladungsträger und Wagen	Material mit günstigen Gleiteigenschaften verwendet	Axiallager einbauen
12	Maschinenbau	Würfel Aufnahme/ Platzierung	Optimierung des Konzeptes «Greifers»	alternatives Konzept verfolgen
13	Maschinenbau	Reibung zu hoch bei Kran	Material mit günstigen Gleiteigenschaften verwendet	Lagerung einbauen
14	Informatik	Tafelerkennung zu langsam	Optimierung der Algorithmen	wechsel auf Raspberry PI 3 A+

15	Informatik	Nummererkennung zu langsam	Optimierung der Algorithmen	wechsel der ML- Framework
16	Informatik	Kommunikation MC <=> RPI zu langsam	max. Baudrate verwendet	wechsel zu anderem Bus
17	Informatik	Bildverarbeitung zu langsam	C++ als Programmiersprache verwenden	OpenCL verwenden

Tabelle 19: Risikotabelle

### 5.3 Nächste Schritte

Nach der Konzeptionsphase im PREN1 folgt nun die Realisierung des Zuges im PREN2. Das Ziel am Anfang des PREN2 wird sein, so schnell wie möglich die mechanische Grundplattform des Zuges zu erstellen, damit die Elektronik und die Software getestet werden können. Währenddessen arbeiten Elektrotechnik und Informatik an der Finalisierung ihrer Komponenten. Mitte des PREN2 ist geplant, den fertigen Zug in physischem Zustand fertig zu haben, damit in der zweiten Hälfte das Testen und Optimieren beginnen kann.

#### Elektrotechnik

1. ersten Prototyp erstellen (damit Informatiker testen können)
  - Aufbau auf erstem Zug / Prototyp vom Maschinenbau
  - PCB für Stromversorgung und Antrieb
  - Mikrocontroller mit Software für Antrieb und Kommunikation mit Pi
2. Ansteuerung / Auslesen Sensoren
3. Ansteuerung Schwenker
4. Anpassungen (speziell für präzisen Halt)
5. Kompletter Prototyp
  - PCB für alle Komponenten
  - Komplette Software für Mikrocontroller
6. Finales Zusammenführen mit Informatik und Maschinenbau

#### Informatik

1. Finalisieren bestehender Komponenten
  - Signalerkennung, Gleiserkennung, Akustik, Sensorik
2. Die restlichen Komponenten implementieren
  - Interface zu Motor/ Kran
3. Hauptablauf implementieren
4. Testing & Bugfixing

## Maschinenbau

1. Konstruktionszeichnungen erstellen
  - Funktionsmasse
  - Materialwahl
2. Fertigen eines voll funktionsfähigen Protoyps, damit die Elektronik angebracht werden kann und die Informatik ihre Versuche durchführen kann.
  - Einkaufsteile bestellen
  - Fertigung durch Werkstattpersonal oder Eigenfertigung
3. Weitere Versuche an Prototyp durchführen sowie Optimierungen und Änderungen vornehmen

### 5.4 Lessons learned

**Lessons learned Elektronik** Es hat sich gezeigt, dass eine enge Zusammenarbeit unter den Disziplinen entscheidend ist. Ein sehr gutes Beispiel dafür ist die Auswahl des Motors. Weder die Fachleute Elektrotechnik, noch die Fachleute Maschinentechnik können diese Auswahl alleine treffen. Bevor eine genauere Auswahl vorgenommen werden kann müssen zuerst von beiden Disziplinen alle Anforderungen und Limitierungen zusammengetragen und diskutiert werden. Im Team kann diese Auswahl dann sehr gut getroffen werden.

**Lessons learned Informatik** Für die Informatik ist es schwierig etwas Greifbares zu erschaffen ohne die Mithilfe der anderen Disziplinen. Wir versuchten deshalb möglichst viel zu testen und haben auch begonnen die Architektur der finalen Lösung zu implementieren. Unsere grösste Lektion ist die Realisation des Wertes einer guten Softwarearchitektur. In unserem Fall konnten wir dank der Middleware Architektur schon finale Komponenten entwickeln und diese testen obwohl der Zug noch nicht vollständig gebaut ist. Dies gilt speziell für die Signalerkennung, Gleiserkennung, Akustik und die Sensorik.

**Lessons learned Maschinenbau** Ein grosser Vorteil im Bereich der Maschinentechnik sind die Erfahrungen, welche die Teammitglieder der Mechanik durch ihre Ausbildung als Konstrukteure einbringen können. Dadurch sind rasch gute Lösungskonzepte entwickelt und ausgearbeitet worden. Teilkonzepte konnten somit bereits mit Prototypen getestet werden. Es wurde die Erfahrung gemacht, dass für die Maschinentechnik die Zusammenarbeit mit den anderen Disziplinen wesentlich ist, da sie das Grundgerüst des Zuges bildet und die Verbindung zwischen Elektronik und Informatik ist.

## 6 Verzeichnisse

### Abbildungsverzeichnis

1	Ablaufdiagramm . . . . .	7
2	Baugruppe Lokomotive . . . . .	8
3	Schnittansicht der Lokomotive . . . . .	8
4	Explosionsdarstellung Grundwagens . . . . .	9
5	Baugruppe Antriebwagen . . . . .	10
6	Explosionsdarstellung Antriebseinheit . . . . .	11
7	Schwerpunkt der Lokomotive (Symbolisch) . . . . .	13
8	Explosionsdarstellung Ladungsträger . . . . .	14
9	Baugruppe . . . . .	15
10	Draufsicht . . . . .	15
11	Links: Kurvenscheibe, Rechts: Zahnrad . . . . .	16
12	Testaufbau . . . . .	17
13	DC Motoren . . . . .	18
14	Verkabelung Buzzer . . . . .	20
15	Verkabelung Beschleunigungssensor ( <a href="http://fritzing.org">http://fritzing.org</a> ) . . . . .	22
16	Komponentendiagramm Elektronik . . . . .	23
17	Brückengleichrichter ( <a href="http://www.elektronik-kompendium.de">www.elektronik-kompendium.de</a> ) . . . . .	24
18	Signalverlauf Encoder ( <a href="http://www.maxonmotor.ch">www.maxonmotor.ch</a> ) . . . . .	27
19	Architektur Hardware Signalerkennung . . . . .	31
20	Ablauf Tafelerkennung . . . . .	32
21	Nummerposition- und Nummererkennung . . . . .	33
22	Software Architektur Middleware. Gezeichnet mit <a href="https://draw.io">https://draw.io</a> . . . . .	39
23	Organigramm Team 28 . . . . .	44
24	Zeitorientierte Projektstruktur Team 28 Stand: SW 12 . . . . .	45
25	Bildschirmausschnitt Trello Team 28 Stand: SW 12 . . . . .	45
26	Nutzwertanalyse Kurvenfahrt . . . . .	67
27	Lösungskonzept Schwenker . . . . .	68
28	Nutzwertanalyse Bremsen . . . . .	69
29	Lösungskonzept Radbremse . . . . .	70
30	Nutzwertanalyse Dämpfung . . . . .	70
31	Lösungskonzept Stossdämpfer . . . . .	71
32	Nutzwertanalyse Greifen . . . . .	72
33	Lösungskonzept Stab . . . . .	72
34	Nutzwertanalyse Verschieben und Platzieren . . . . .	73
35	Lösungskonzept Um- und Einschwenker . . . . .	74
36	Lösungskonzept Rampe . . . . .	75
37	Nutzwertanalyse Antrieb . . . . .	76
38	Risikomatrix DC-Motor Bürstenlos . . . . .	78
39	Risikomatrix DC-Motor Bürstenbehaftet . . . . .	79
40	Risikomatrix Schrittmotor . . . . .	80
41	Nutzwertanalyse Antrieb . . . . .	80
42	Nutzwertanalyse Fahrdaten Beschleunigung . . . . .	83
43	Nutzwertanalyse Fahrdaten Geschwindigkeit . . . . .	86
44	Nutzwertanalyse Fahrdaten Position . . . . .	88
45	Risikomatrix gesamte Stromversorgung über die Schienen . . . . .	90

46	Risikomatrix Antriebsenergie über die Schienen und Akku für die Systemsteuerung . . . . .	91
47	Risikomatrix Antriebsenergie über die Schienen und Akku für die Systemsteuerung und Ladeschaltung für den Akku . . . . .	93
48	Nutzwertanalyse Antrieb . . . . .	93
49	Ablaufdiagram Objekterkennung mittels Software . . . . .	97
50	Nutzwertanalyse Vision Frameworks . . . . .	99
51	Nutzwertanalyse Klassifikation Frameworks . . . . .	101
52	Positionsbestimmung des Würfels . . . . .	102
53	Objekterkennung und Positionsbestimmung mittel Ultraschallsensor . . . . .	103
54	Objekterkennung und Positionsbestimmung mittels Stereokamera . . . . .	103
55	Nutzwertanalyse Lösungskonzepte Würfel- Erkennung . . . . .	104
56	Spurrichtungserkennung mittels «Sensor- Wagen» . . . . .	105
57	Spurrichtungserkennung mittels Kamera . . . . .	105
58	Nutzwertanalyse Lösungskonzepte Spurerkennung . . . . .	106
59	Auszug aus der Aufgabenstellung: Signaltafel . . . . .	107
60	Signalerkennung mittels Ultraschallsensor und Kamera . . . . .	108
61	Nutzwertanalyse Lösungskonzepte Signal- Erkennung . . . . .	108
62	Software Architektur Komponenten. Gezeichnet mit <a href="https://draw.io">https://draw.io</a> . . . . .	109
63	Software Architektur Middleware. Gezeichnet mit <a href="https://draw.io">https://draw.io</a> . . . . .	110
64	Nutzwertanalyse Steuerungssoftware . . . . .	110
65	Risikomatrix Steuerungssoftware Middleware . . . . .	110
66	Risikomatrix Steuerungssoftware Komponenten . . . . .	111

## Tabellenverzeichnis

1	Positionsnummern der Lokomotive . . . . .	8
2	Positionsnummern des Grundwagens . . . . .	9
3	Positionsnummern des Antriebwagens . . . . .	10
4	Positionen Antriebseinheit . . . . .	11
5	Reibungskoeffizienten von Materialpaarungen (durch Versuche ermittelt) .	12
6	Grössen für die Beschleunigungsberechnung . . . . .	12
7	Grössen für die Geschwindigkeitsberechnung . . . . .	13
8	Positionen des Ladungsträgers . . . . .	14
9	technische Daten ( <a href="http://www.playzone.ch">www.playzone.ch</a> ) . . . . .	19
10	Technische Daten ( <a href="https://www.adafruit.com/product/1231">https://www.adafruit.com/product/1231</a> ) . . . . .	21
11	benötigte Leistung der Komponenten . . . . .	25
12	Übersicht Proof-of-Concept Elektronik . . . . .	30
13	Beschreibung der OpenCV Funktionen . . . . .	32
14	Auflistung aller Testklassen mit jeweiligen Testarten . . . . .	33
15	Kommunikation Frames: Pi ⇒ Tiny . . . . .	37
16	Kommunikation Frames: Tiny ⇒ Pi . . . . .	38
17	Informationsinhalt des Statusbytes . . . . .	38
18	Kostenübersicht Gesamtkonzept . . . . .	47
19	Risikotabelle . . . . .	49
20	Konzeptbeurteilung: Schwenker für die Kurvenfahrt . . . . .	68
21	Konzeptbeurteilung: Tiefer Schwerpunkt für die Kurvenfahrt . . . . .	69
22	Konzeptbeurteilung: Bremsen mit Motor . . . . .	69
23	Konzeptbeurteilung: Bremsen über Rad . . . . .	70
24	Konzeptbeurteilung: Dämpfen mit Stoßdämpfer . . . . .	71
25	Konzeptbeurteilung: Dämpfen mit Stoßdämpfer . . . . .	71
26	Konzeptbeurteilung: Würfeltransport mittels Stab . . . . .	73
27	Konzeptbeurteilung: Würfeltransport mittels Magnet . . . . .	73
28	Konzeptbeurteilung: Würfeltransport mittels Um- und Einschwenker . . . . .	74
29	Konzeptbeurteilung: Würfeltransport mittels Rampe . . . . .	75
30	Konzeptbeurteilung: Antrieb mit Zahnräder . . . . .	76
31	Konzeptbeurteilung: Antrieb mit Zahnriemen . . . . .	76
32	Konzeptbeurteilung: DC-Motor Bürstenlos . . . . .	77
33	Konzeptbeurteilung: DC-Motor Bürstenbehaftet . . . . .	78
34	Konzeptbeurteilung: Schrittmotor . . . . .	79
35	Konzeptbeurteilung: Beschleunigung Onboard Sensorik . . . . .	82
36	Konzeptbeurteilung: Beschleunigung Third Party Sensorik . . . . .	83
37	Konzeptbeurteilung: Geschwindigkeit Auswertung über Gleise . . . . .	84
38	Konzeptbeurteilung: Geschwindigkeit Encoder . . . . .	85
39	Konzeptbeurteilung: Verknüpfung Encoder und Beschleunigungssensor .	85
40	Konzeptbeurteilung: Position Verknüpfung mit Beschleunigungssensor .	87
41	Konzeptbeurteilung: Position GPS . . . . .	87
42	Konzeptbeurteilung: Lichtraumprofil mit Rundenerkennung . . . . .	88
43	Konzeptbeurteilung: Stromversorgung Alles über die Schienen . . . . .	89
44	Konzeptbeurteilung: Stromversorgung Schienen und Akku . . . . .	91
45	Konzeptbeurteilung: Stromversorgung Schienen und Akku . . . . .	92
46	Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Ultraschallsensor . . . . .	98
47	Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Ultraschallsensor . . . . .	98
48	Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Ultraschallsensor . . . . .	99

49	Konzeptbeurteilung: Machine- Learning Algorithmen OpenCV . . . . .	100
50	Konzeptbeurteilung: Machine- Learning Algorithmen Tensorflow . . . . .	100
51	Konzeptbeurteilung: Machine- Learning Algorithmen Caffe . . . . .	101
52	Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Ultraschallsensor . . . . .	103
53	Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Stereokamera . . . . .	104
54	Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Stereokamera . . . . .	105
55	Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Stereokamera . . . . .	106
56	Konzeptbeurteilung: Signalerkennung mittels Kamera . . . . .	107
57	Konzeptbeurteilung: Signalerkennung mittels Ultraschallsensor und Kamera	108

## Literatur

Pi-Shop. Raspberry pi - raspberry pi 3 model b+, 2018. URL <https://www.pi-shop.ch/raspberry-pi-3-model-b>.

Alex Eames. How much power does pi zero w use?, 2018. URL <https://raspi.tv/2017/how-much-power-does-pi-zero-w-use>.

NXP. Kinetis® K22: 120MHz Cortex-M4F 512KB Flash (64-121 pin) Data Sheet, 2016.

Maxon. DCX 32 L Katalogseite 86, 2018a.

Maxon. DCX 19 S Katalogseite 78, 2018b.

Mi-PC. SERVO MOTOR SG90 DATA SHEET, 2016.

Scott McPeak. What the heck is latex? <http://scottmcpeak.com/latex/whatislatex.html>. (Accessed on 12/14/2018).

Pi-Shop. Raspberry pi - raspberry pi zero w. <https://www.pi-shop.ch/raspberry-pi-zero-w>, a. (Accessed on 12/22/2018).

Pi-Shop. Raspberry pi - pi supply bright pi - bright white und ir kamera licht für raspberry pi | pi-shop.ch. <https://www.pi-shop.ch/pi-supply-bright-pi-bright-white-und-ir-kamera-licht-fuer-raspberry-pi>, b. (Accessed on 12/22/2018).

Pi-Shop. Raspberry pi - original raspberry pi kamera module v2 | pi-shop.ch. <https://www.pi-shop.ch/raspberry-pi-kamera-module-v2>, c. (Accessed on 12/22/2018).

Play-Zone. Play-zone.ch passiver buzzer / speaker, 3.3v. <https://www.play-zone.ch/de/passiver-buzzer-speaker-3-3v.html>. (Accessed on 12/22/2018).

Reichelt. Rasp strom pi 3: Raspberry pi - der strompi 3 bei reichelt elektronik. [https://www.reichelt.de/raspberry-pi-der-strompi-3-rasp-strom-pi-3-p232866.html?&trstct=pos\\_0](https://www.reichelt.de/raspberry-pi-der-strompi-3-rasp-strom-pi-3-p232866.html?&trstct=pos_0), a. (Accessed on 12/22/2018).

Reichelt. Rpi strompi akku: Raspberry pi - strompi 3 battery pack, 1000 mah bei reichelt elektronik. [https://www.reichelt.de/raspberry-pi-strompi-3-battery-pack-1000-mah-rpi-strompi-akku-p232867.html?&trstct=pos\\_2](https://www.reichelt.de/raspberry-pi-strompi-3-battery-pack-1000-mah-rpi-strompi-akku-p232867.html?&trstct=pos_2), b. (Accessed on 12/22/2018).

AliExpress. I43 1 stücke gy 291 adxl345 digital drei achsen beschleunigung der schwerkraft tilt modul iic/spi übertragung auf lager in i43 1 stücke gy-291 adxl345 digital drei-achsen beschleunigung der schwerkraft tilt-modul iic/spi übertragung auf lager aus integrierte schaltungen auf aliexpress.com | alibaba group. <a href="https://de.aliexpress.com/item/Free-Shipping-GY-291-ADXL345-digital-three-axis-acceleration-of-gravity-tilt-module-IIC-32346306872.html?spm=a2g0x.search0104.3.8.3a781d56R05pDY&amp;ws\_ab\_test=searchweb0\_0,searchweb201602\_5\_10065\_10068\_319\_10059\_10884\_317\_10887\_10696\_100031\_321\_322\_10084\_453\_10083\_454\_10103\_10618\_10307\_538\_537\_536\_10134,searchweb201603\_51,ppcSwitch\_0&amp;algo\_expid=a352fecc-60ea-4079-b651-cade58a1b700-1&amp;algo\_pvid=a352fecc-60ea-4079-b651-cade58a1b700, a. (Accessed on 12/22/2018).</a>

wish. Wish halbleiter-motor-treiber auto bts7960 43a h-bruecke pwm-antrieb fuer arduino

no hot. <https://www.wish.com/product/5b97621dab410c29feae20c2>, a. (Accessed on 12/22/2018).

wish. Wish | dc-dc cc cv buck converter step-down power module 7-32v to 0.8-28v 12a 300w. <https://www.wish.com/product/5976f5aadc35dc104728e52d>, b. (Accessed on 12/22/2018).

AliExpress. 1 stücke shengyang hc sr04 zu welt ultraschall welle detektor bis hin modul für arduino abstand sensor in 1 stücke shengyang hc-sr04 zu welt ultraschall welle detektor bis hin modul für arduino abstand sensor aus sensoren auf aliexpress.com | alibaba group. <https://de.aliexpress.com/item/1pcs-HC-SR04-to-world-Ultrasonic-Wave-Detector-Ranging-Module-for-arduino-Distance-Sensor-Module-12mm-40mm-100mm-200mm-300mm-500mm-1000mm-1500mm-2000mm-3000mm-5000mm-10000mm.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.25dd4c4dbC08tr>, b. (Accessed on 12/22/2018).

AliExpress. Gy 530 vl53l0x welt kleinste zeit o f flug (tof) laser ranging sensor in gy-530 vl53l0x welt kleinste zeit-o f-flug (tof) laser ranging sensor aus sensoren auf aliexpress.com | alibaba group. <https://de.aliexpress.com/item/GY-530-VL53L0X-World-smallest-Time-o-f-Flight-ToF-laser-ranging-sensor/32773126352.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.25dd4c4dbC08tr>, c. (Accessed on 12/22/2018).

AliExpress. 2 stücke lm2596 dc dc schritt down converter power supply module lm2596s einstellbare buck step down power module spannung regler in 2 stücke lm2596 dc-dc schritt-down converter power supply module lm2596s einstellbare buck step-down power module spannung regler aus wechselrichter & konverter auf aliexpress.com | alibaba group. <https://de.aliexpress.com/item/2-pcs-LM2596-Step-Down-Power-Module-LM2596S-DC-DC-3A-Adjustable-Buck-Step-Down-Power/32802169864.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.25dd4c4dbC08tr>, d. (Accessed on 12/22/2018).

Distrelec. 13fr200e | kaufen strommesswiderstand | ohmrite | distrelec. <https://www.distrelec.ch/de/strommesswiderstand-ohmrite-13fr200e/p/30046857>. (Accessed on 12/22/2018).

5 stücke iic i2c uart spi logic level converter bi directional modul 5 v zu 3,3 v in 5 stücke  
iic i2c uart spi logic-level-converter bi-directional modul 5 v zu 3,3 v aus integrierte  
schaltungen auf aliexpress.com | alibaba group. <https://de.aliexpress.com/item/5PCS-IIC-I2C-UART-SPI-Logic-Level-Converter-Bi-Directional-Module-5V-to-3-3V-For-32826629975.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.25dd4c4dbC08tr>. (Accessed on  
12/22/2018).

wish. Tower pro micro servo sg90 | wish. <https://www.wish.com/search/Tower%20Pro%20Micro%20Servo%20SG90/product/57c8e0946f5941265132b849>, c. (Accessed on 12/22/2018).

Mädler. Zahnriemen profil at 5, breite 10 mm - mädler webshop. <https://www.maedler.ch/product/1643/1616/963/zahnriemen-profil-at-5-breite-10-mm>, a. (Accessed on 12/22/2018).

Mädler. Zahnriemenräder at5 für riemenbreite 10 mm - mädler webshop. <https://www.maedler.ch/product/1643/1616/996/zahnriemenraeder-at5-fuer-riemenbreite-10-mm>, b. (Accessed on 12/22/2018).

Mädler. Spannsätze sig, rostfrei, bohrung 4 bis 40mm - mädler webshop. <https://www.maedler.ch/product/1643/1621/spannlsaetze-sig-rostfrei-bohrung-4-bis-40mm>, c. (Accessed on 12/22/2018).

Mädler. Stirnzahnräder kunststoff pom schwarz, gefräst, modul 1 - mädler webshop. <https://www.maedler.ch/product/1643/1618/1034/2545/stirnzahnraeder-kunststoff-pom-schwarz-gefraest-modul-1>, d. (Accessed on 12/22/2018).

## **7 Anhang**

## 7.1 Aufgabenstellung

Projektmodul Produktentwicklung PREN 18/19

### Aufgabenstellung PREN 1 Herbstsemester 2018

5. September 2018  
Adrian Omlin

## Hochgeschwindigkeitsschienenfahrzeug

1	Einleitung .....	2
2	Aufgabe .....	2
2.1	Ausblick auf PREN 2 .....	2
3	Randbedingungen .....	3
3.1	Gleisstrecke .....	3
3.2	Elektrische Speisung .....	3
3.3	Portal, Lichtraumprofil .....	4
3.4	Signale .....	4
3.5	Transportgut .....	5
3.6	Zu realisierendes Fahrzeug .....	5
3.7	Wettbewerbskriterien .....	6
3.8	Material und Beschaffung .....	7
3.9	Kosten .....	7
4	Ausführung und Bewertung PREN 1 .....	8

Modulverantwortlicher: Haack Carsten

Fachliche Begleitung: De Angelis Marco  
Haack Carsten  
Hofstetter Jörg  
Kamps Rolf  
Kirchhofer Pierre  
Koller Thomas  
Kurmann Hans  
Lustenberger Stefan  
Mettler Rolf  
Omlin Adrian  
Thalmann Markus  
Vogel Martin

Version	Datum	Änderung	Verantwortlich
1	17.9.18	Ersterstellung	A. Omlin

### 1 Einleitung

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

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

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

### 2 Aufgabe

Im HS18 und FS19 realisieren Sie ein Schienenfahrzeug, das mit hoher Geschwindigkeit eine Gleisstrecke befährt. Unterwegs muss das autonom arbeitende Fahrzeug eine Last aufnehmen, Signale erkennen und zum Schluss möglichst präzise anhalten.

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

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

#### 2.1 Ausblick auf PREN 2

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

Als Höhepunkt findet im Rahmen des Kompetenznachweises im Sommer 2019 ein Wettbewerb statt, an dem Sie Ihr Fahrzeug mit denen der anderen Teams messen. Ein Teil der Bewertungspunkte (10 bis 20% der Gesamtpunktzahl von PREN 2) wird entsprechend dem Wettbewerbsfolg vergeben. Bewertet werden die Rundzeit, das Aufladen und Transportieren der Last, die Signalerkennung und die Präzision beim Anhalten.

### 3 Randbedingungen

#### 3.1 Gleisstrecke

Das Gleis, auf dem sich das Schienenfahrzeug bewegen wird, hat 45 mm Spurweite (Spur I). Es gibt Geraden, Links- und Rechtskurven. Die Kurvenradien liegen zwischen 80 cm und 150 cm. Zum Streckenaufbau werden handelsübliche Modellbahngleise des Herstellers Märklin verwendet. Es werden gerade Gleistücke und gebogene Gleistücke mit konstantem Radius eingesetzt. Dadurch erfolgt der Übergang von Geraden zu Kurven nicht kontinuierlich. Die Kurven weisen keine Überhöhung auf. Es ist möglich, dass unmittelbar auf Rechtskurven Linkskurven folgen und umgekehrt. Es darf davon ausgegangen werden, dass die Gleise möglichst sorgfältig verlegt werden. Trotzdem ist mit kleinen Übergangsstößen zwischen den Gleistücken zu rechnen.

Links des Gleises sind Signale angebracht.

Portale begrenzen das Lichtraumprofil. Diese Portale werden nur bei geraden Gleistücken angebracht. In den Kurven darf das Lichtraumprofil überschritten werden.

Abbildung 1 zeigt einen möglichen Gleisaufbau. Eingezeichnet sind auch mögliche Positionen der Portale und der Signale.

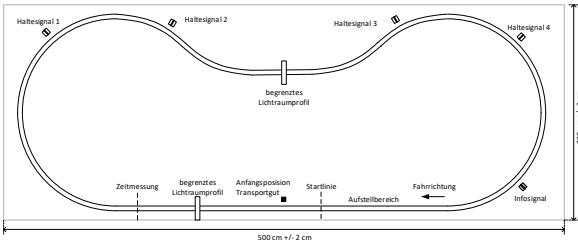


Abbildung 1: Anlage mit möglichem Gleisplan. Draufsicht, nicht massstäblich

Die Anlage darf nicht verändert werden. Es dürfen beispielsweise keine weiteren Markierungen, Führungsschienen oder Navigationsmittel angebracht werden. Selbstverständlich darf die Anlage auch nicht beschädigt werden.

Die Grundplatte der Anlage ist aus Spanplatten aufgebaut. Die Oberfläche ist roh oder grau gestrichen. Es können auch andere Farbreste vorhanden sein.

#### 3.2 Elektrische Speisung

Die Schienen sind elektrisch gespeist. Zwischen den beiden Schienen liegt eine DC-Spannung von 20 V +/- 2 V an. Der maximal zulässige Strom beträgt 3 A. Ein Rückspeisen von Bremsenergie ist nicht möglich.

#### 3.3 Portal, Lichtraumprofil

Das Lichtraumprofil beschreibt die Hindernisfreiheit eines Fahrweges (Querebene zur Fahrrichtung). Die Grösse der Durchfahrt durch die Portale entspricht mindestens diesem Lichtraumprofil.

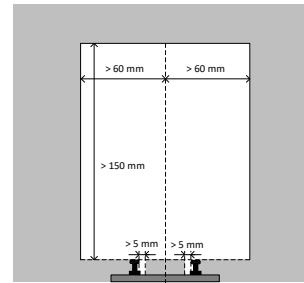


Abbildung 2: Lichtraumprofil, nicht massstäblich

Portale sind nur auf geraden Gleisabschnitten zu finden. In Kurven darf das oben dargestellte Profil seitwärts überschritten werden. In Richtung Kurvenmittelpunkt beträgt der hindernisfreie Raum mindestens 20 cm, nach Außen sind es 8 cm. Die Masse beziehen sich auf die Mitte der Gleise. Nach oben und unten bleibt das Lichtraumprofil auch in Kurven gemäss obiger Abbildung beschränkt: Nach oben sind es 150 mm, nach unten darf die Fläche durch die Schienenoberkanten nicht unterschritten werden.

#### 3.4 Signale

Es gibt zwei Typen von Signalen. Das hohe Signal vermittelt eine Information und wird als Infosignal bezeichnet. Niedere Signale markieren die Haltepositionen und werden als Haltesignale bezeichnet.

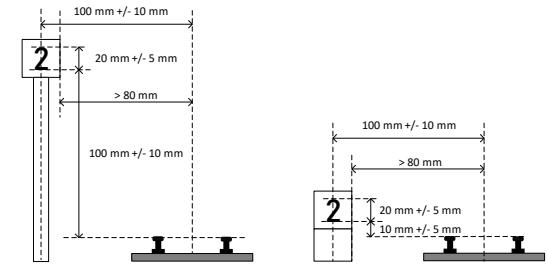


Abbildung 3: Signaltypen: links Infosignal, rechts Haltesignal, nicht massstäblich

Die Signale zeigen eine einstellige, arabische Ziffer. Die Ziffer ist dunkel auf hellem Grund oder weiß auf dunklem Grund.

Die Ziffer auf dem Infosignal zeigt an, bei welchem der Haltesignale die Spitze des Fahrzeugs am Ende der Fahrt zum Stillstand kommen soll.

#### 3.5 Transportgut

Das Transportgut, das vom Fahrzeug aufgenommen und transportiert werden muss, ist aus Holz und hat eine Seitenlänge von 5 cm +/- 0,5 cm. Oben in der Mitte ist ein metallener, magnetischer Haken angebracht. Die Öffnung dieses Hakens hat einen Innendurchmesser von gut 1 cm.

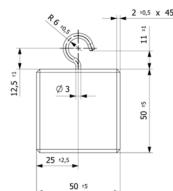


Abbildung 4: Transportgut

Der Würfel liegt rechts neben der Strecke zur Aufnahme bereit. Der Abstand von der Mitte des Würfels zur Gleismitte beträgt 8 cm +/- 1 cm. Die Ausrichtung ist parallel zu den Schienen mit einer Toleranz von +/- 5°.

Die Öffnung des Hakens zeigt entgegen der Fahrtrichtung. Die Toleranz beträgt +/- 10°.

Das Fahrzeug darf während der Fahrt nur die Schienen und das Transportgut berühren. Insbesondere müssen die Portale und Signale ohne Berührung passiert werden.

Das Fahrzeug muss in der Lage sein, das Transportgut aufzuladen und zu transportieren.

Wird kurz nach dem Passieren des Infosignals die erkannte Zahl akustisch wiedergegeben, können zusätzliche Punkte geholt werden. Die akustische Wiedergabe muss gut erkennbar sein. Eine übertriebene Lautstärke ist unzulässig.

Die für das Fahrzeug benötigte elektrische Energie soll über das Gleis bezogen werden.

Das Fahrzeug soll auf hohe Geschwindigkeit, insbesondere bei Kurvenfahrt, optimiert werden. Wir erwarten im Schlussbericht von PREN 1 ein Kapitel «Grenzgeschwindigkeit», das die Analyse der erreichbaren Geschwindigkeit mit Zahlenwerten zusammenfasst.

#### 3.7 Wettbewerbskriterien

Am Wettbewerb anlässlich des Kompetenznachweises in PREN 2 haben Sie vor dem Start maximal 2 Minuten Zeit, um das Fahrzeug aufzulegen und startklar zu machen. Während dieser Zeit ist noch nicht klar, wo das Infosignal und die Haltesignale stehen.

Die maximal zulässige Zeit inklusive Anhalten beträgt 4 Minuten. Nach dieser Zeit wird der Vorgang abgebrochen.

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

Wird das Fahrzeug nach dem Start berührt oder wird sonst irgendwie eingegriffen, wird der Durchgang abgebrochen und mit null Punkten bewertet.

Folgende Kriterien werden gewertet:

- Zeit für das Fahren von zwei Runden (inkl. Signalerkennung)
- Aufnahme und Transport des Transportgutes
- Erkennen des Signals und akustische Wiedergabe
- Präzises Anfahren der Halteposition

Die Zeit wird mit einer Lichtschranke oder von Hand gemessen. Gemessen werden zwei Runden, bei denen das Signal erkannt werden muss. Das schnellste Team erhält 10 Punkte, das langsamste 0 Punkte für die Zeitwertung. Dazwischen werden die Punkte proportional zur Zeit verteilt. Die Zeit zum Aufnehmen der Last und zum präzisen Anfahren der Halteposition wird nicht gewertet. Die Aufgabe muss aber in der Gesamtzeit von 4 Minuten abgeschlossen sein.

Für das Aufnehmen der Last gibt es 2 Punkte. Natürlich nur, wenn diese bis zum Anhalten auf dem Fahrzeug bleibt.

Das Erkennen der Zahl auf dem Infosignal und die korrekte, zeitnahe akustische Darstellung ergibt maximal 2 Punkte.

Das genaue Anhalten beim richtigen Haltesignal ergibt maximal 2 Punkte. Wird das Signal überfahren, gibt es 0 Punkte. Steht die Front des Fahrzeugs maximal 10 cm vor dem richtigen Signal, gibt es einen Punkt. Ist der Abstand maximal 2 cm, gibt es 2 Punkte.

Wird außer den Schienen und dem Transportgut etwas berührt, gibt es einen Punkteabzug.

Maximal sind also 16 Wettbewerbspunkte möglich (Bestzeit, Transportgut aufgenommen und transportiert, Zahlenwert des Signals richtig wiedergegeben, präzises Anhalten, keinen Punkteabzug).

Gemäss diesen Wettbewerbspunkten wird die Rangliste erstellt. Die Punkte, die in die Notengebung für den Kompetenznachweis PREN 2 einfließen, werden entsprechend der Rangierung bestimmt. Sie sind also nicht identisch mit diesen Wettbewerbspunkten. Die Umrechnungstabelle, die zeigt, welcher Rang wie viele Punkte für die Notengebung ergibt, wird in PREN 2 bekanntgegeben.

### 3.8 Material und Beschaffung

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

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

- Conrad Electronic
- Distrelec
- Mädler
- Farnell

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

Wird Material vom Team selber eingekauft, können die Kosten zurückfordert werden. Das ist nur bei Abgabe des Originals des Kaufbeleges möglich. Eine selbst getätigten Materialbestellung muss auf die Privatadresse erfolgen. Es darf kein Material auf den Namen der Hochschule Luzern Technik & Architektur beschafft werden.

Wird Material im Ausland bestellt, ist zu beachten, dass die Lieferkosten und die Zollgebühren sehr hoch sein können und dass oft beträchtliche Lieferzeiten bestehen.

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

### 3.9 Kosten

Für den Bau der Teifunktionsmuster in PREN 1 und für die Realisierung des Systems in PREN 2 stehen Ihnen als Team insgesamt CHF 500.- zur Verfügung. Davon dürfen maximal CHF 200.- in PREN 1 ausgegeben werden.

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

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

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

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

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

Es können Bauteile im Rapid Prototyping Verfahren mit dem 3D-Drucker (FDM Verfahren, Werkstoff ABS) der HSLU - T&A hergestellt werden. Das mit externen 3D-Druckern verarbeitete Material kann nicht vergütet werden.

Für Arbeiten am Gerät steht Ihnen die PREN-Werkstatt im Labortrakt zur Verfügung.

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

Die Kosten für die Arbeitszeit von Mitarbeitenden der HSLU - T&A zur Herstellung von Teilen sind in den oben erwähnten CHF 500.- nicht mit eingerechnet.

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

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

### 4 Ausführung und Bewertung PREN 1

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 7.2 Technologie Recherche

Für die Technologierecherche wurde die Anforderungsliste in verschiedene Themengebiete unterteilt.

Diese wiederum wurden an die jeweiligen Experten (Mechanik, Elektrotechnik und Informatik) zugewiesen.

Als Hauptmedium für die Recherche diente das Internet. Jedoch wurden auch andere Ressourcen herangezogen,  
wie Experten aus dem Umfeld und fachspezifische Literatur.

- Mechanik
  - Schlupffreie Beschleunigung
  - Material Zug
  - Fahrzeug Masse
  - Gegengewicht Kran
  - Fahrwerk
  - Kran
- Elektrotechnik
  - Motor
  - Ansteuerung Motor
  - Stromübertragung Schienen
  - Ansteuerung Kran
  - Sensorik
- Informatik
  - Akustik
  - Vision
  - Systemüberwachung
  - CI (Continous Integration)
  - Systemsteuerung

<b>Technologierecherche</b>	<b>Team 28</b>
<b>PREN 1</b>	<b>HSLU</b>

	Kurzbeschreibung	Link
<b>1 Gerät</b>		
<b>1.1 Antrieb</b>		
Schlupffreie Beschleunigung	Treibachsenteil	<a href="https://www.ebay.ch/itm/Marklin-234870-Treibachsenteil-233-D16-3084-3319-für-Dampflokomotiv-BR50-BR-50-082-7/323461962387?hash=item4b4fd5da93:g:HCYAAOSw2gxYoELt">https://www.ebay.ch/itm/Marklin-234870-Treibachsenteil-233-D16-3084-3319-für-Dampflokomotiv-BR50-BR-50-082-7/323461962387?hash=item4b4fd5da93:g:HCYAAOSw2gxYoELt</a>
	Hafträfen	<a href="https://www.conrad.ch/de/hf-hafträfen-10er-set-märklin-7153-214276.html">https://www.conrad.ch/de/hf-hafträfen-10er-set-märklin-7153-214276.html</a>
	Zahnräder	<a href="http://forum.e-train.fr/viewtopic.php?f=20&amp;t=82078&amp;start=75">http://forum.e-train.fr/viewtopic.php?f=20&amp;t=82078&amp;start=75</a>
Motor	Bürstenlose/-befaßte DC-Motoren	<a href="https://www.maxonmotor.de/maxon/view/content/produkt-kategorien">https://www.maxonmotor.de/maxon/view/content/produkt-kategorien</a>
Ansteuerung von DC-Motoren	Bürstenbefaßte DC-Motoren mit PWM und H-Brücke	<a href="https://www.mikrocontroller.net/articles/Motoransteuerung_mit_PWM">https://www.mikrocontroller.net/articles/Motoransteuerung_mit_PWM</a>
	H-Brücke Treiber (3A Ausgangstrom)	<a href="https://www.heise.de/select/make/2016/0148239840198797">https://www.heise.de/select/make/2016/0148239840198797</a>
		<a href="https://ch.farnell.com/texas-instruments/lmld182011-nopb/controller-motor/dp/14692497?s=h%20bridge%20motorentreiber">https://ch.farnell.com/texas-instruments/lmld182011-nopb/controller-motor/dp/14692497?s=h%20bridge%20motorentreiber</a>
<b>1.2 Stromversorgung</b>		
Stromübertragung von Schienen	Standart Schleifkontakte	<a href="https://www.conrad.ch/de/eco-40501-h0-stromzuführung-244833.html">https://www.conrad.ch/de/eco-40501-h0-stromzuführung-244833.html</a>
	Lektüre zu Schleifkontakten	<a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Gleitkontakt">https://de.wikipedia.org/wiki/Gleitkontakt</a>
Märklin Schleifkontakt	Stromübertragung von den Schienen (evt. zu Klein - muss abgeklärt werden)	<a href="https://www.conrad.ch/de/märklin-07159-h0-stromzuführung-1298514.html?sc_ref=Product%20Details">https://www.conrad.ch/de/märklin-07159-h0-stromzuführung-1298514.html?sc_ref=Product%20Details</a>
DC-DC Wandler 5V	Spannungswandler für Systemsteuerung	<a href="https://www.distrelec.ch/de/tc-dc-wandler-36-traco-power-tsr-2450/p/16953484">https://www.distrelec.ch/de/tc-dc-wandler-36-traco-power-tsr-2450/p/16953484</a>
Akkus	Stromversorgung für Systemsteuerung mit Akku	<a href="https://www.ikea.com/ch/de/catalog/products/70203876/">https://www.ikea.com/ch/de/catalog/products/70203876/</a>
<b>1.3 Größe / Masse</b>		
Gewicht	Material: Alu	<a href="https://www.pangas.ch/de/images/pangas-prospekt-aluminiumwerkstoffe_d_tcm553-116578.pdf">https://www.pangas.ch/de/images/pangas-prospekt-aluminiumwerkstoffe_d_tcm553-116578.pdf</a>
	Material: Plexiglas	<a href="https://www.plexiglas.de/sites/lists/pm/documents/p/211-1-plexiglas-gs-xt-de.pdf">https://www.plexiglas.de/sites/lists/pm/documents/p/211-1-plexiglas-gs-xt-de.pdf</a>
	Material: 3D-Druck	<a href="https://www.freeform4u.de/3d-druck-shop/ueber-3d-druck/3d-druckmaterialien">https://www.freeform4u.de/3d-druck-shop/ueber-3d-druck/3d-druckmaterialien</a>
Fahrzeuggmasse	Lichtraumprofil	<a href="https://elearning.hslu.ch/ilias/goto.php?target=file_3814283_download&amp;client_id=hslu">https://elearning.hslu.ch/ilias/goto.php?target=file_3814283_download&amp;client_id=hslu</a>
	Grundplatte nicht berühren	Geengewicht
<b>1.4 Fahrwerk</b>		
Beschleunigung	Allgemeine Antriebsformeln	<a href="https://www.maxonmotor.de/medias/sys_master/root/8819062800414/maxon-formelsammlung-d.pdf?attachment=true">https://www.maxonmotor.de/medias/sys_master/root/8819062800414/maxon-formelsammlung-d.pdf?attachment=true</a>
Höchstgeschwindigkeiten	Auf Geraden	<a href="http://forum.miniatur-wunderland.de/car-system-rc-modellbau-f3/vorbildgerechte-geschwindigkeit-t4329.html">http://forum.miniatur-wunderland.de/car-system-rc-modellbau-f3/vorbildgerechte-geschwindigkeit-t4329.html</a>
Kurvenfahrt	Konische Räder	<a href="https://www.bahn-fachverlag.de/wp-content/uploads/2016/09/F_B_SF12_Leseprobe_LP3_s.pdf">https://www.bahn-fachverlag.de/wp-content/uploads/2016/09/F_B_SF12_Leseprobe_LP3_s.pdf</a>
Bremsen	Bremsteile	<a href="https://www.themet.de/mr-0330-49.html">https://www.themet.de/mr-0330-49.html</a>
Dämpfung	Stosssättler	<a href="http://www.modellbau-amu.de/TRX7560-Daempfer-ohne-OEi-mit-Federn">http://www.modellbau-amu.de/TRX7560-Daempfer-ohne-OEi-mit-Federn</a>
<b>2 Sensorik</b>		
<b>2.1 Fahrdaten Auswertung</b>		
Beschleunigungssensor	Auswertung der längs und Querbeschleunigung / Ansteuerung z.B. mit I2C	<a href="https://www.distrelec.ch/de/beschleunigungssensor-lea-16-st-lis331hh/o/300187712querFromSugest=true">https://www.distrelec.ch/de/beschleunigungssensor-lea-16-st-lis331hh/o/300187712querFromSugest=true</a>
	Auch erhältlich als fertiges Board	<a href="https://www.play-zone.ch/de/tinkergrove-accelerometer-bricklet.html">https://www.play-zone.ch/de/tinkergrove-accelerometer-bricklet.html</a>
	Allgemeine Sensoren	<a href="http://tutorials.raspberrypi.de/raspberry-pi-sensoren-uebersicht-die-50-wichtigsten-module/">http://tutorials.raspberrypi.de/raspberry-pi-sensoren-uebersicht-die-50-wichtigsten-module/</a>
<b>2.2 Objekterkennung</b>		
Distanz Sensor	Erkennung der Distanz zum Würfels und den Signale	<a href="https://www.conrad.ch/de/sharp-gp2y0a1yk0f-distanz-sensor-1-st-5-vdc-reichweite-max-im-freifeld-80-cm-504591.html">https://www.conrad.ch/de/sharp-gp2y0a1yk0f-distanz-sensor-1-st-5-vdc-reichweite-max-im-freifeld-80-cm-504591.html</a>
<b>3 Transport</b>		
<b>3.1 Kran</b>		
Greifen	Kleiner Greifer	<a href="https://nodna.de/kleiner-Greifer-mit-und-ohne-Servos">https://nodna.de/kleiner-Greifer-mit-und-ohne-Servos</a>
<b>4 Systemsteuerung</b>		
<b>4.1 Akustik</b>	akkustische Signalisation der Haltenummer	<a href="https://www.play-zone.ch/de/passiver-buzzer-speaker-3-3v.html">Lautsprecher &amp; Passiv Buzzer: https://www.play-zone.ch/de/passiver-buzzer-speaker-3-3v.html</a>
		<a href="https://www.play-zone.ch/de/div-sound-modul-inkl-lautsprecher-mit-speicher-8mb.html">https://www.play-zone.ch/de/div-sound-modul-inkl-lautsprecher-mit-speicher-8mb.html</a>
<b>4.2 Vision</b>	Framework for picture recognition	<a href="https://www.tensorflow.org">Tensorflow: https://www.tensorflow.org</a> <a href="https://projects.raspberrypi.org/en/projects/getting-started-with-picamera">PiCamera Library: https://projects.raspberrypi.org/en/projects/getting-started-with-picamera</a> <a href="https://opencv.org">OpenCV: https://opencv.org</a> <a href="https://answers.opencv.org/question/65061/extract-numbers-and-bound-rectangle-on-each-number/">https://answers.opencv.org/question/65061/extract-numbers-and-bound-rectangle-on-each-number/</a> <a href="https://stackoverflow.com/questions/10776398/extracting-numbers-from-an-image-using-opencv">https://stackoverflow.com/questions/10776398/extracting-numbers-from-an-image-using-opencv</a>

	Kurzbeschreibung	Link
<b>CI (Continous Integration)</b>		Jenkins: <a href="https://jenkins.io">https://jenkins.io</a> TravisCI: <a href="https://travis-ci.org">https://travis-ci.org</a> CircleCI: <a href="https://circleci.com">https://circleci.com</a>
	Vergleiche:	<a href="https://hackernoon.com/continuous-integration-circleci-vs-travis-ci-vs-jenkins-41a1c2bd95f5">https://hackernoon.com/continuous-integration-circleci-vs-travis-ci-vs-jenkins-41a1c2bd95f5</a>
<b>4.3 Steuermechanismus/Systemsteuerung</b>		
	Hauptsteuerung des Zuges	<a href="https://stackshare.io/stackups/circleci-vs-jenkins-vs-travis-ci">https://stackshare.io/stackups/circleci-vs-jenkins-vs-travis-ci</a>
		Microcontroller: TinyK22 (HSLU): <a href="https://mcuoneclipse.com/2018/02/10/tinyk22-boards-arrived/">https://mcuoneclipse.com/2018/02/10/tinyk22-boards-arrived/</a> Freedom Board: <a href="https://www.nxp.com/support/developer-resources/evaluation-and-development-boards/freedom-development-boards/mcu-boards:MCU-BOARDS-FREEDOM-DEVELOPMENT-BOARDS">https://www.nxp.com/support/developer-resources/evaluation-and-development-boards/freedom-development-boards/mcu-boards:MCU-BOARDS-FREEDOM-DEVELOPMENT-BOARDS</a> <a href="https://www.nxp.com/support/developer-resources/evaluation-and-development-boards/freedom-development-boards/mcu-boards/nxp-freedom-development-platform-for-kinetis-k22-mcus:FRDM-K22F">https://www.nxp.com/support/developer-resources/evaluation-and-development-boards/freedom-development-boards/mcu-boards/nxp-freedom-development-platform-for-kinetis-k22-mcus:FRDM-K22F</a> (inkl. Beschleunigungssensor)
		Embedded Boards: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_single-board_computers">https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_single-board_computers</a> <a href="https://www.loverpi.com/blogs/news/94801153-raspberry-pi-3-banana-pi-m3-orange-pi-plus-2-odroid-c2-spec-comparison">https://www.loverpi.com/blogs/news/94801153-raspberry-pi-3-banana-pi-m3-orange-pi-plus-2-odroid-c2-spec-comparison</a> <a href="https://www.giga.de/extra/linux/specials/banana-pi-m3-m4-m2-ultra-im-vergleich-hardware-spezifikationen-mehr/">https://www.giga.de/extra/linux/specials/banana-pi-m3-m4-m2-ultra-im-vergleich-hardware-spezifikationen-mehr/</a>
<b>4.4 Systemüberwachung</b>		Programmiersprache: C++: <a href="http://wwwcplusplus.com">http://wwwcplusplus.com</a> Python: <a href="https://www.python.org">https://www.python.org</a>
		Mittelwaren: Protobuf: <a href="https://github.com/protocolbuffers/protobuf">https://github.com/protocolbuffers/protobuf</a> ZeroMQ: <a href="http://zeromq.org">http://zeromq.org</a> Gyrometer: <a href="https://www.play-zone.ch/de/elektronik-kit-zubehör/sensoren/accelerometer-gyros/mag3110-breakout-3-achsen-magnetometer.html">https://www.play-zone.ch/de/elektronik-kit-zubehör/sensoren/accelerometer-gyros/mag3110-breakout-3-achsen-magnetometer.html</a> <a href="https://www.play-zone.ch/de/elektronik-kit-zubehör/sensoren/accelerometer-gyros/adafruit-triple-axis-kompass-board-hmc5883l.html">https://www.play-zone.ch/de/elektronik-kit-zubehör/sensoren/accelerometer-gyros/adafruit-triple-axis-kompass-board-hmc5883l.html</a>
<b>4.5</b>		LED Ring: <a href="https://www.play-zone.ch/de/bauteile/led/strips-pixel/adafruit-neopixel-ring-12-x-ws2812-5050-rgb-led.html">https://www.play-zone.ch/de/bauteile/led/strips-pixel/adafruit-neopixel-ring-12-x-ws2812-5050-rgb-led.html</a>

## 7.3 Anforderungsliste

Anforderungsliste v2

Team 28

10.01.2019

Anforderungsliste		Team 28
PREN 1		HSLU

Nr.	Prio	Bezeichnung	Bemerkung	Verantwortlich
<b>1 Gerät</b>				
1.1		<b>Antrieb</b>		E,M, Doz
1.1.1 F		Vorwärtskommen	max 4 min	E
1.1.2 W		Schnell vorwärtskommen	Bessere Zeit => Mehr Punkte	E
1.1.3 F		Vorwärtsbewegung ab "Start"		E
1.1.4 W		Geschwindigkeitsregelung		E
1.1.5 M		Bremsmöglichkeit		E
1.1.6 W		Bremsenergie weiterverwenden (boost)		E
1.1.7 W		Schlupffreie Beschleunigung		E, M
1.1.8 W		Leistungsregelung für Motor(en)	Mit H-Brücke für Richtungsänderung	E
1.1.9 F		Gleise	Spurbreite 45mm, Kurvenradius 80 bis 150cm	Doz
1.2		<b>Stromversorgung</b>		E, M
1.2.1 F		DC-Spannung Gleis	20 V+/- 2V, 3A	E
1.2.2 F		Rückspeisen von Bremsenergie nicht möglich		E
1.2.3 M		Verpolungsschutz		E
1.2.4 M		USV auf Strecke	Kontaktunterbruch von Schienen ausgleichen	E
1.2.5 M		Spannungsregelung für uC und Logik		E
1.2.6 M		Spannungsregelung für Aktoren		E
1.2.7 M		Stromversorgung für Sensorik		E
1.2.8 F		Stromübertragung von Schienen	z.B. Schleifkontakt	E, M
1.2.9 W		Akku/Batteriespeisung	für Systemsteuerung, Sensoren (darf nicht für Antreib verwendet werden)	E
1.3		<b>Größe / Masse</b>		M
1.3.1 W		Gewicht	3kg	M
1.3.2 M		Fahrzeugmasse	b: 12cm h: 15cm	M
F		Grundplatte nicht berühren	Ausgenommen Startbereich	M
1.4		<b>Fahrwerk</b>		M, E, I
1.4.1 W		Beschleunigung	0.5m/s <sup>2</sup>	M, E, I
1.4.2 W		Höchstgeschwindigkeiten	0.5m/s	M, E, I
1.4.3 F		Kurvenfahrt	Kurvenradien von 80 bis 150cm	M, E, I
1.4.4 M		Bremsen	Anhaltsgenauigkeit von +/- 1cm	M, E, I
1.4.5 W		Dämpfung	Das Gerät verfügt über eine Dämpfungskonstante D > 1	M
2		<b>Sensorik</b>		E,I
2.1		<b>Fahrdaten auswertung</b>		E, I
2.1.1 F		Beschleunigungssensor Quer,Längs	muss ausgewertet werden	E, I
2.1.2 F		Geschwindigkeitssensor	muss ausgewertet werden	E, I
2.1.3 W		Positionsbestimmung	z.B um den Startpunkt zurückzufahren und Anlauf holen	E, I
2.2		<b>Objekterkennung</b>		E, I
2.2.1 M		Würfelerkennung		E, I
2.2.2 W		Spurrichtung		E, I
2.2.3 W		Zeitmessung	Start und Ende der Zeitmessung erkennen	E
2.2.4 W		Lichtraumprofil erkennung		E
2.2.5 M		Startvorrichtung		E
2.2.6 W		Funkstart		E
2.2.7 M		Signalerkennung (Info- und Haltesignal)	als Unterstützung für Bilderkennung	E, I
3		<b>Transport</b>		
3.1		<b>Kran</b>		M, E, I
3.1.1 F		Greifen	Würfeldimension 50x50x50mm	M, E, I
3.1.2 F		Verschieben	Würfelmasse 20 bis 120g	M, E, I
3.1.3 F		Platzieren	Würfeldimension 50x50x50mm	M, E, I
3.2		<b>Holzwürfel</b>		Doz
3.2.1 F		Dimension	50x50x50mm	Doz
3.2.2 F		Gewicht	20 bis 120g	Doz
3.2.3 F		Haken	Innendurchmesser ca. 1cm, Öffnung entgegen der Fahrtrichtung (+/- 10°)	Doz
3.2.4 F		Position	Rechts neben der Strecke 8cm von Gleismitte, Parallel zur Schiene (+/- 5°)	Doz

Nr.	Prio	Bezeichnung	Bemerkung	Verantwortlich
<b>3.3</b>		<b>Transportstrecke</b>		M
3.3.1	F	2 Runden	Transport über 2 Runden (ohne Absetzen)	M
<b>4</b>		<b>Systemsteuerung</b>		E,I
<b>4.1</b>		<b>Akustik</b>		
4.1.1	F	Buzzer	Zahl mit Anzahl 'Beeps' ausgeben	E,I
4.1.2	W	Lausprecher	Sprachausgabe der Zahl	E, I
<b>4.2</b>		<b>Vision</b>		
4.2.1	F	Bilderkennung	Erkennung Zahl (Signale), Erkennung des Würfels, Erkennung Schienen	I
<b>4.3</b>		<b>CI (Jenkins, etc.)</b>		
4.3.1	W	Source Code	Source Code testen & integrieren	I
4.3.2	M	Dokumentation	Doku generieren (LaTeX)	I
<b>4.4</b>		<b>Steuermechanismus/Systemsteuerung</b>	<b>Hauptsteuerung des Zuges</b>	I, E
4.4.1	W	Systemsteuerung - Antrieb/Bremse	Interface zwischen Hauptsteuerung & Antrieb/Bremse	I, E
4.4.2	W	Systemsteuerung - Neigungsmechanismus	Interface zwischen Hauptsteuerung & Neigungsmechanismus	I, E
4.4.3	W	Systemsteuerung - Akustik	Interface zwischen Hauptsteuerung & Akustik -> Internes Interface IT	I, E
4.4.4	W	Systemsteuerung - Sensorik	Interface zwischen Hauptsteuerung & Sensoren (Gyro) -> Internes Interface IT	I, E
4.4.5	W	Systemsteuerung - Kran	Interface zwischen Hauptsteuerung & Kran	I, E
4.4.6	W	Systemsteuerung - Vision	Interface zwischen Hauptsteuerung & Vision -> Internes interface IT	I, E
<b>4.5</b>		<b>Systemüberwachung</b>		I
4.5.1	W	Logging/Tracing		I
<b>5</b>		<b>Rahmenbedingungen</b>		
<b>5.1</b>		<b>Kosten</b>		
5.1.1	F	Budgend 500 CHF		E, I, M
<b>5.2</b>		<b>Umgebungsbedingungen</b>		
5.2.1	F	Umgebungstemperatur	5°C bis 45°C	
5.2.2	F	Luftfeuchtigkeit	max. 60%	
<b>Prio</b>		F = Festanforderung M = Mindestanforderung W = Wunschanforderung		
<b>Verantwortlicher</b>		E = Elektrotechnik M = Maschinenbau I = Informatik Doz = Dozenten		

## 7.4 Berechnungen

## Mechanische Motorauslegung

Anzustrebende Werte	
Endgeschwindigkeit	3 m/s
Beschleunigung	3 m/s <sup>2</sup>
Fahrzeug Daten	
Masse	3 kg
Reibungskoeffizient	0.5 -
Raddurchmesser	22 mm

Ergebnisse	
max Drehzahl	2604.35361 1/min
Beschleunigungsmoment	110 mNm
Reibkraft abhangig von Gewicht	11.03625 N
Trageheitskraft	9 N

Fahrzeug	Drehzahl	$n_m = \frac{60}{\pi} \cdot \frac{v_z}{d}$
	Drehmoment	$M_m = \frac{d}{2} \cdot \frac{F_k}{\eta}$
	zusätzliches Drehmoment für konstante Beschleunigung (Drehzahländerung $\Delta n_m$ während der Dauer $\Delta t_o$ )	
	$M_{m,o} = \left( J_m + J_w + \frac{m_r + m_p}{\eta} \cdot \frac{d^2}{4} \right) \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{\Delta n_m}{\Delta t_o}$	
Spur, Positionsfehler	$\Delta s_m = \Delta s_z \cdot \frac{2}{d}$	

Symbol	Name	SI Einheit	Symbol	Name
$L_{\text{sk}}$	Lastkraft	N	$m_2$	Masse Zahnstange
$J_{\text{st}}$	Massenmittelpunktsmoment Eingang (Motor, Elektro, Bremsen)	$\text{kgm}^2$	$v_p$	Teilungswinkelgeschwindigkeit
$J_{\text{sm}}$	Massenmittelpunktsmoment Ritzel	$\text{kgm}^2$	$\omega_z$	Zahnradflankengeschwindigkeit
$J_{\text{sr}}$	Massenmittelpunktsmoment	$\text{kgm}^2$	$\Delta \omega_z$	Mechanisches Spiel Ritzel
$M_{\text{d}}$	aller Räder zusammen	$\text{kgm}^2$	$\dot{\vartheta}_t$	Mechanisches Spiel Abhang
$D_{\text{d}}$	Drehmoment Eingang	Nm	$\dot{\vartheta}_{\text{tr}}$	Beschleunigungszeit
$D_{\text{b}}$	Drehmoment für Beschleunigung	Nm	$\mu_{\text{tr}}$	Mechanisches Spiel Eingang
$m_p$	Durchdrift am Antriebsrad	kg	$\eta$	Wirkungsgrad
$m_t$	Masse Fahrgzeug	kg	$n_{\text{tr}}$	max.
$m_l$	Masse Last	kg	$\dot{n}_{\text{tr}}$	max.

## 7.5 Konzeptentwicklung Maschinentechnik

Im Bereich Maschinentechnik des Projektes wird konkret auf die Thematik der Mechanik eingegangen. Die einzelnen Komponenten sind jedoch eng mit der Elektronik und der Informatik verknüpft. Die projektspezifische Mechanik wird in folgende drei Hauptgruppen unterteilt: Fahrwerk, Würfeltransport und Antrieb. In diesem Kapitel werden die mechanischen Lösungsvorschläge der definierten Teilfunktionen vorgestellt und bewertet. Der Morphologischer Kasten dient dabei als Grundlage der Lösungsfindung. Durch ihn wurden Varianten generiert, welche anschliessend mit definierten Bewertungskriterien in einer Nutzwertanalyse ausgewertet werden. Die zwei Varianten, welche den grössten Nutzwert aufweisen werden nochmals genauer beschrieben. Zusätzlich wird anhand der Vor- und Nachteile eine favorisierte Lösung für jede Problemstellung festgelegt. Das Komplette Dokument der Nutzwertanalyse der Mechanik ist im Anhang zu finden.

### 7.5.1 Fahrwerk

#### Kurvenfahrt

Das Ziel der Kurvenfahrt ist es, sie möglichst schnell abzufahren, ohne dabei aus den Gleisen zu fallen. Anhand der Nutzwertanalyse haben sich die zwei besten Varianten Schwenker und tiefer Schwerpunkt für die Konzeptbildung herauskristallisiert und werden nun genauer beschrieben (siehe Abbildung 26).

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Kurvenschneider		Kipper		Schwenker		Tiefer Schwerpunkt	
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
Machbarkeit	9.52	4	38.10	2	19.05	2	19.05	3	28.57
Einfachheit	5.95	3	17.86	2	11.90	3	17.86	4	23.81
Preis	14.29	3	42.86	1	14.29	2	28.57	3	42.86
Prozesssicherheit	19.05	3	57.14	2	38.10	3	57.14	4	76.19
Kleiner Bauraum	10.71	1	10.71	4	42.86	3	32.14	4	42.86
Geringes Gewicht	14.29	2	28.57	2	28.57	1	14.29	2	28.57
Genauigkeit	26.19	1	26.19	4	104.76	4	104.76	1	26.19
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>221.43</b>		<b>259.52</b>		<b>273.81</b>		<b>269.05</b>

Abbildung 26: Nutzwertanalyse Kurvenfahrt

#### Schwenker

Der Schwenker in Abbildung 27 ist eine Lösungsvariante, bei welcher eine Masse quer über den Zugwagen beweglich und steuerbar angebracht ist. Damit soll gewährleistet werden, dass der Massenschwerpunkt in einer Kurve zum Radiusmittelpunkt hin verschoben werden und somit die Zentripetalkraft ausgeglichen werden kann. Zusätzlich kann der Schwenker ebenfalls für die Thematik des Greifens und Verschiebens des Würfels genutzt werden, denn dort wirken ebenfalls Momente quer auf den Zug. In der Tabelle 20 sind die Vor- und Nachteile dieser Variante aufgelistet.

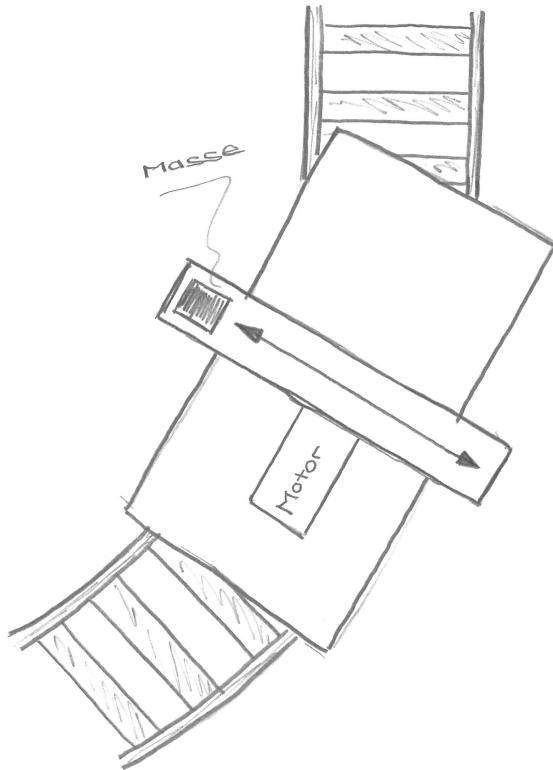


Abbildung 27: Lösungskonzept Schwenker

<b>Problemstellung</b>	Kurvenfahrt (ohne aus den Gleisen zu fallen)
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik und Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Schwenker
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Genauigkeit der Gewichtsverlagerung</li> <li>+ Zusätzlich für das problemlose Anheben des Würfels verwendbar</li> <li>- Preis</li> <li>- Mehrere Komponenten nötig</li> </ul>

Tabelle 20: Konzeptbeurteilung: Schwenker für die Kurvenfahrt

### Tiefer Schwerpunkt

Das Konzept des tiefen Schwerpunkts hat sich deshalb in der Nutzwertanalyse durchgesetzt, da kein zusätzlicher Materialaufwand und die damit verbundenen Kosten entstehen. Der Grundgedanke dieser Lösungsvariante besteht darin, das Konzept so zu gestalten, dass der Schwerpunkt so tief wie möglich gehalten werden kann. Somit ist das Moment auf den Wagen in der Kurve kleiner und es muss weniger ausglichen werden.

Anhand der Vor- und Nachteile der jeweiligen Lösungsvariante hat sich abgezeichnet, die Variante des Schwenkers in erster Linie weiter zu verfolgen und die Variante mit dem tiefen Schwerpunkt für eine zweite alternative Variante zu wählen.

### Bremsen

Ein Ziel des Schienenfahrzeugs ist es, möglichst schnell einen variablen Kurs autonom

<b>Problemstellung</b>	Kurvenfahrt (ohne aus den Gleisen zu fallen)
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik und Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Tiefer Schwerpunkt
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfach</li> <li>+ Keine Kosten</li> <li>- Ungenau</li> <li>- Unkontrollierbar</li> </ul>

Tabelle 21: Konzeptbeurteilung: Tiefer Schwerpunkt für die Kurvenfahrt

abzufahren. Damit man auf den geraden Strecken mit der Höchstgeschwindigkeit fahren kann und die Kurven kriegen will, braucht es eine kontrollierte Geschwindigkeitsreduktion. Nach der Nutzwertanalyse (siehe Abbildung 28) haben sich die Bremsung mittels Motor und Steuerung sowie eine mechanische Bremse direkt auf die Räder durchgesetzt.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Bremsscheibe		Mit Motor bremsen		Anker		Direkt auf Rad	
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
Machbarkeit	9.52	3	<b>28.57</b>	3	<b>28.57</b>	2	<b>19.05</b>	4	<b>38.10</b>
Einfachheit	5.95	1	<b>5.95</b>	4	<b>23.81</b>	3	<b>17.86</b>	4	<b>23.81</b>
Preis	14.29	1	<b>14.29</b>	4	<b>57.14</b>	3	<b>42.86</b>	4	<b>57.14</b>
Prozesssicherheit	19.05	4	<b>76.19</b>	2	<b>38.10</b>	3	<b>57.14</b>	3	<b>57.14</b>
kleiner Bauraum	10.71	2	<b>21.43</b>	4	<b>42.86</b>	3	<b>32.14</b>	2	<b>21.43</b>
geringes Gewicht	14.29	3	<b>42.86</b>	4	<b>57.14</b>	3	<b>42.86</b>	2	<b>28.57</b>
Genauigkeit	26.19	4	<b>104.76</b>	2	<b>52.38</b>	3	<b>78.57</b>	4	<b>104.76</b>
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>294.05</b>		<b>300.00</b>		<b>290.48</b>		<b>330.95</b>

Abbildung 28: Nutzwertanalyse Bremsen

### Motorbremse

Sobald die Steuerung eine Kurve erkennt, kann sie den Motor mit der Stromregelung bremsen. Das ist eine mechanisch einfache Variante und kann rein auf der Steuerung aufbauen. (siehe Tabelle 22)

<b>Problemstellung</b>	Bremsen
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Bremsklotz direkt auf Rad
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfach</li> <li>+ Geringe Kosten</li> <li>+ Stetige Kontrolle über Bremswirkung</li> <li>- Mehraufwand für die Elektrotechnik</li> </ul>

Tabelle 22: Konzeptbeurteilung: Bremsen mit Motor

### Radbremse

Wie es der Titel schon sagt, wird die Bremswirkung (siehe Abbildung ?? mittels Reibung eines Bremsklotzes auf dem Rad erzeugt (siehe Tabelle 23).

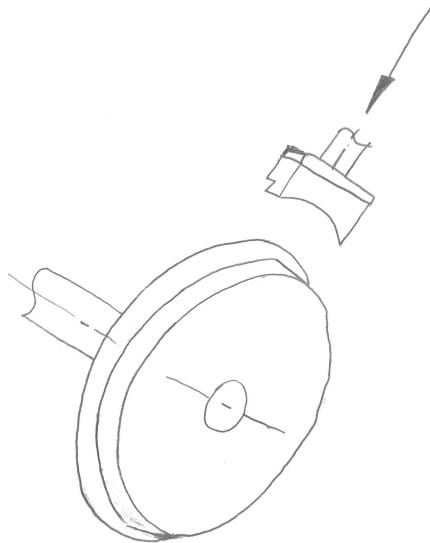


Abbildung 29: Lösungskonzept Radbremse

<b>Problemstellung</b>	Bremsen
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Bremsklotz direkt auf Rad
<b>Komponenten</b>	Aktor zur Auslösung und Bremsklotz
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Effiziente Energievernichtung</li> <li>+ Zuverlässigkeit</li> <li>- Komplexität</li> <li>- Hohe Kosten</li> </ul>

Tabelle 23: Konzeptbeurteilung: Bremsen über Rad

**Dämpfung** Die Teilfunktion Dämpfen soll das Fahrwerk des Zuges vor abrupten Schlägen und Erschütterungen schützen, womit eine kontrollierte Fahrt des Zuges ermöglicht werden soll. Anhand der Nutzwertanalyse (siehe Abbildung 30) haben sich die beiden Lösungskonzepte «Stossdämpfer» und «keine Dämpfung» als die Besten Lösungen dieses Problems herausgestellt.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Stossdämpfer		Dämpfmatte		Federn		keine	
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW						
Machbarkeit	9.52	4	<b>38.10</b>	3	<b>28.57</b>	2	<b>19.05</b>	4	<b>38.10</b>
Einfachheit	5.95	2	<b>11.90</b>	4	<b>23.81</b>	2	<b>11.90</b>	4	<b>23.81</b>
Preis	14.29	2	<b>28.57</b>	2	<b>28.57</b>	2	<b>28.57</b>	4	<b>57.14</b>
Prozesssicherheit	19.05	2	<b>38.10</b>	1	<b>19.05</b>	2	<b>38.10</b>	1	<b>19.05</b>
Kleiner Bauraum	10.71	3	<b>32.14</b>	2	<b>21.43</b>	3	<b>32.14</b>	4	<b>42.86</b>
Geringes Gewicht	14.29	2	<b>28.57</b>	2	<b>28.57</b>	4	<b>57.14</b>	4	<b>57.14</b>
Genauigkeit	26.19	3	<b>78.57</b>	2	<b>52.38</b>	2	<b>52.38</b>	1	<b>26.19</b>
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>255.95</b>		<b>202.38</b>		<b>239.29</b>		<b>264.29</b>

Abbildung 30: Nutzwertanalyse Dämpfung

### Stossdämpfer

Der Stossdämpfer (siehe Abbildung 31) ist ein handelsübliches Einkaufsteil, dass durch

seine Einfachheit und den geringen Preis für diese Problemstellung optimal ist. Er sollte einstellbar sein. Die Vor- und Nachteile dieses Konzeptes sind in der Tabelle 24) aufgelistet.



Abbildung 31: Lösungskonzept Stossdämpfer

<b>Problemstellung</b>	Dämpfung (für eine laufruhige Fahrt)
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Stossdämpfer
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfach</li> <li>+ Kosten</li> <li>- Machbarkeit (aufwändig)</li> </ul>

Tabelle 24: Konzeptbeurteilung: Dämpfen mit Stossdämpfer

### Keine Dämpfung

Neben den vielen Möglichkeiten den Zug vor Schlägen und Unebenheiten zu schützen besteht ebenfalls die Möglichkeit komplett auf eine Dämpfung zu verzichten, da auf der Fahrbahn mit sehr wenig Störungen zu rechnen ist. Es besteht jedoch die Möglichkeit des Einsatzes von Dämpfungen bei vereinzelten Komponenten wie der Kamera, falls dies erforderlich ist (siehe Tabelle 25).

<b>Problemstellung</b>	Dämpfung (für eine laufruhige Fahrt)
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Keine Dämpfung
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Keine Kosten</li> <li>- Erschütterungen bei der Fahrt möglich</li> </ul>

Tabelle 25: Konzeptbeurteilung: Dämpfen mit Stossdämpfer

Anhand der Bewertungskriterien und der genauen Betrachtung der Sachlage stellt sich heraus, dass es für das Endprodukt nicht von grosser Bedeutung ist, ob eine Dämpfung vorhanden ist oder nicht. Der Aufwand gegenüber dem Nutzen wird als wesentlich grösser erachtet. Deshalb wird für die favorisierte Lösung keine Dämpfung zum Einsatz kommen.

### 7.5.2 Würfeltransport

**Greifen** Eine Teilfunktion des Hochgeschwindigkeitsschienenfahrzeugs beinhaltet das Greifen eines Würfels. Dieser weist eine Kantenlänge von jeweils 50 cm auf und ist mit einem Hacken ausgestattet der auf der oberen Seite platziert ist und die Öffnung entgegen der Fahrtrichtung zeigt. Der Abstand des Würfels zur Gleismitte ist gegeben, nur die Position entlang der Gleise ist unbekannt. Ziel des Vorrichtung ist es nun, diesen Würfel zu Greifen und anschliessen auf dem Schienenfahrzeug zu platzieren. In folgendem Abschnitt werden die zwei besten Lösungen anhand der Nutzwertanalyse für diese Problemstellung vorgestellt.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Lasso/Stab/Band ("Lose")		Magnet		Mech. Greifer		Saugnapf	
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
Machbarkeit	9.52	3	<b>28.57</b>	3	<b>28.57</b>	3	<b>28.57</b>	2	<b>19.05</b>
Einfachheit	5.95	4	<b>23.81</b>	4	<b>23.81</b>	2	<b>11.90</b>	4	<b>23.81</b>
Preis	14.29	4	<b>57.14</b>	3	<b>42.86</b>	2	<b>28.57</b>	4	<b>57.14</b>
Prozesssicherheit	19.05	2	<b>38.10</b>	3	<b>57.14</b>	4	<b>76.19</b>	2	<b>38.10</b>
kleiner Bauraum	10.71	3	<b>32.14</b>	4	<b>42.86</b>	2	<b>21.43</b>	3	<b>32.14</b>
geringes Gewicht	14.29	3	<b>42.86</b>	3	<b>42.86</b>	3	<b>42.86</b>	3	<b>42.86</b>
Genaugkeit	26.19	3	<b>78.57</b>	3	<b>78.57</b>	3	<b>78.57</b>	2	<b>52.38</b>
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>301.19</b>		<b>316.67</b>		<b>288.10</b>		<b>265.48</b>

Abbildung 32: Nutzwertanalyse Greifen

### Stab

Der Stab in Abbildung 33 wurde gemäss Nutzwertanalyse (siehe Tabelle 26) als zweit beste Lösungsvariante ausgegeben, wird aber trotzdem favorisiert, weil die Einfachheit der Vorrichtung und die definierte Position des Würfels überzeugen. Ergänzend zum Stab soll ein beweglicher Haken einhängen können.

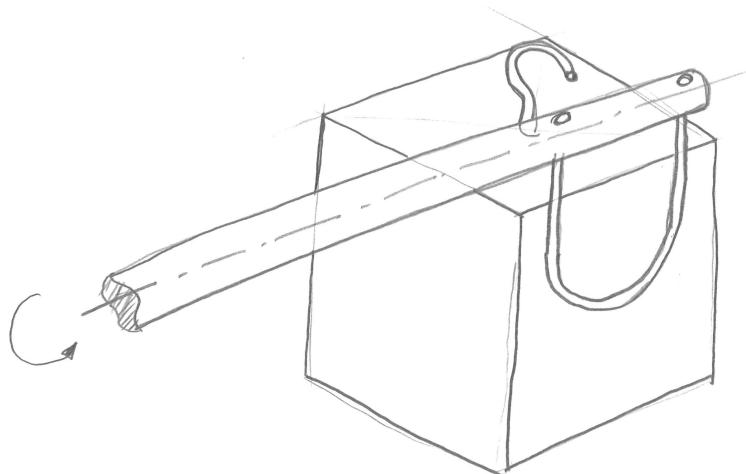


Abbildung 33: Lösungskonzept Stab

### Magnet

Der Haken des Würfels wird auf magnetischem Material sein und so sollte definitiv eine Lösungsvariante mit einem Magneten in Betracht gezogen werden. Diese Variante ist

<b>Problemstellung</b>	Würfeltransport: Greifen
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Stab
<b>Komponente</b>	Stab und Haken
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Positionierung</li> <li>+ Einfachheit</li> <li>+ Erfolgsgarantie</li> <li>- Auslenkung</li> </ul>

Tabelle 26: Konzeptbeurteilung: Würfeltransport mittels Stab

in der Bewertung vorne mit dabei, doch auf Grund der unberechenbaren Kräfte und Auslenkungen des Würfels hat man sich gegen einen Magneten entschieden. Falls die erste Option nicht die gewünschten Ergebnisse bringt, wird der Magnet zum Plan B und der Vorgang muss mit einigen Tests und Szenarien geprüft werden.

<b>Problemstellung</b>	Würfeltransport: Greifen
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Magnet
<b>Komponente</b>	Magnet und Führung
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kompakte Bauweise</li> <li>+ Einfachheit</li> <li>- unberechenbar</li> <li>- keine Wiederholgenauigkeit</li> </ul>

Tabelle 27: Konzeptbeurteilung: Würfeltransport mittels Magnet

**Verschieben und Platzieren** Nachdem der Würfel im Startbereich der Strecke korrekt gegriffen wurde, wird er in einem nächsten Schritt verschoben und auf dem Zug platziert. Dazu haben sich die beiden Lösungsvorschläge «Um- und Einschwenker» und «Rampe mit Seilzug» in der Nutzwertanalyse durchgesetzt. In folgendem Abschnitt werden die zwei besten Lösungen anhand der Nutzwertanalyse (siehe Abbildung 34) für diese Problemstellung vorgestellt.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Kran		Um- und Einschwenker		Rampe mit Seilzug		Förderband	
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
Machbarkeit	9.52	2	<b>19.05</b>	3	<b>28.57</b>	3	<b>28.57</b>	4	<b>38.10</b>
Einfachheit	5.95	1	<b>5.95</b>	3	<b>17.86</b>	3	<b>17.86</b>	3	<b>17.86</b>
Preis	14.29	1	<b>14.29</b>	2	<b>28.57</b>	3	<b>42.86</b>	3	<b>42.86</b>
Prozesssicherheit	19.05	3	<b>57.14</b>	2	<b>38.10</b>	2	<b>38.10</b>	3	<b>57.14</b>
Kleiner Bauraum	10.71	2	<b>21.43</b>	3	<b>32.14</b>	2	<b>21.43</b>	1	<b>10.71</b>
Geringes Gewicht	14.29	2	<b>28.57</b>	2	<b>28.57</b>	2	<b>28.57</b>	2	<b>28.57</b>
Genauigkeit	26.19	3	<b>78.57</b>	2	<b>52.38</b>	2	<b>52.38</b>	1	<b>26.19</b>
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>225.00</b>		<b>226.19</b>		<b>229.76</b>		<b>221.43</b>

Abbildung 34: Nutzwertanalyse Verschieben und Platzieren

### Um- und Einschwenker

Der Um- und Einschwenker in Abbildung 35 ist ein Konzept, in welchem versucht wird die Bewegung des Verschiebens nur durch eine Achse zu realisieren. Somit bleibt das System einfach und übersichtlich. Es ist aber noch offen, um welche Achse sich der Schwenker drehen soll - entweder schwenkt er seitwärts zum Zug ein (Einschwenker) oder auf den Zug herauf (Umschwenker).

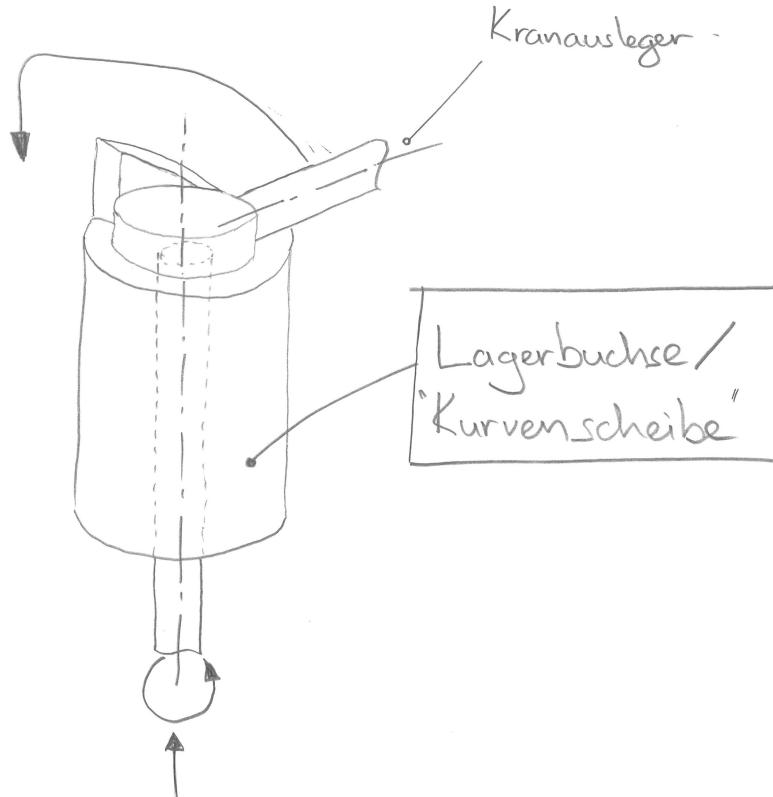


Abbildung 35: Lösungskonzept Um- und Einschwenker

<b>Problemstellung</b>	Würfeltransport: Verschieben
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Um- und Einschwenker
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Bewegung erfolgt nur auf einer Achse</li> <li>+ Einfachheit</li> <li>+ tiefer Schwerpunkt</li> <li>- Grosser Bauraum</li> </ul>

Tabelle 28: Konzeptbeurteilung: Würfeltransport mittels Um- und Einschwenker

**Rampe** Die Lösungsvariante der Rampe (siehe Abbildung 36) mit einem Seilzug bietet ebenfalls die Möglichkeit die Bewegung der Verschiebung des Würfels um eine Achse, die Seiltrommel, auszuführen. Nachdem der Würfel gepackt wurde, wird er über einen Seilzug der Rampe entlang zum Zug hinaufgezogen, wo er schlussendlich platziert wird. Die Rampe muss ebenfalls rauf und runtergelassen werden, damit sich der Zug am Ende wieder im vorschriftgemässen Luftraumprofil befindet.

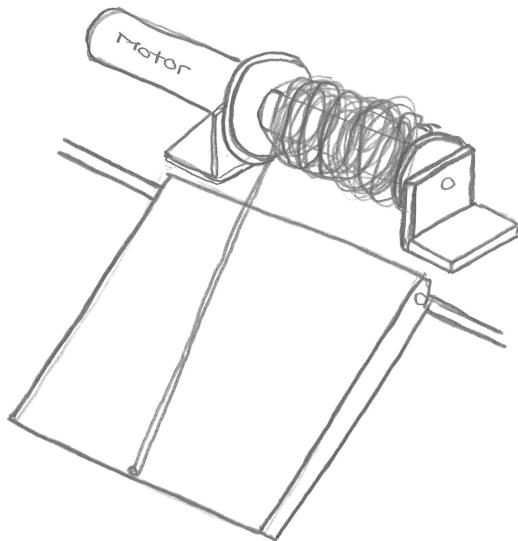


Abbildung 36: Lösungskonzept Rampe

<b>Problemstellung</b>	Würfeltransport: Verschieben
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Rampe mit Seilzug
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Bewegung erfolgt nur auf einer Achse</li> <li>+ Einfachheit</li> <li>- Mechanisch anspruchsvoller</li> <li>- Grosser Bauraum</li> </ul>

Tabelle 29: Konzeptbeurteilung: Würfeltransport mittels Rampe

Für diese Konzeptlösung des Produktes wird anhand des Konzeptes des «Um- und Einschwenkers» bevorzugt. Die Rampe mit dem Seilzug ist mechanisch anspruchsvoller zu realisieren und wird somit nicht für die favorisierte Endlösung gewählt.

**Antrieb:** Damit die Steuerung auch weiß wie viele Umdrehungen die Räder gemacht, respektive wieviel Weg das Schienenfahrzeug zurückgelegt hat ist es wichtig einen schlupffreien Antriebsstrang zu haben. Für das gehen wir davon aus, dass die Räder nicht auf den Gleisen durchdrehen, dies wird erreicht in dem die Auflageflächen mit einem Antirutschmaterial beschichtet werden. In folgendem Abschnitt werden die zwei besten Lösungen anhand der Nutzwertanalyse (siehe Abbildung 37) für diese Problemstellung vorgestellt.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Zahnriemen		Kegelräder		Zahnräder		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW		
Machbarkeit	9.52	3	28.57	3	28.57	3	28.57		0.00
Einfachheit	5.95	3	17.86	3	17.86	4	23.81		0.00
Preis	14.29	4	57.14	3	42.86	3	42.86		0.00
Prozesssicherheit	19.05	3	57.14	4	76.19	4	76.19		0.00
kleiner Bauraum	10.71	3	32.14	3	32.14	3	32.14		0.00
geringes Gewicht	14.29	2	28.57	3	42.86	3	42.86		0.00
Genaugkeit	26.19	4	104.76	4	104.76	4	104.76		0.00
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>326.19</b>		<b>345.24</b>		<b>351.19</b>		

Abbildung 37: Nutzwertanalyse Antrieb

**Zahnräder** Um das Drehmoment auf die angetriebenen Räder zu bringen wird mittels Anordnung diverser Zahnräder gearbeitet. (siehe Tabelle 30)

<b>Problemstellung</b>	Antriebsstrang
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Zahnräder
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Direkte Kraftübertragung</li> <li>+ Schlupffrei</li> <li>+ Genaugkeit</li> <li>- Komplexität</li> <li>- Hohe Kosten</li> </ul>

Tabelle 30: Konzeptbeurteilung: Antrieb mit Zahnräder

**Zahnriemen** Der Antriebsstrang mit deinem Zahnriemen zu gestalten gib einem mehr Freiheit in der Positionierung des Antriebs mit dem Kompromiss, dass man einen langen Riemen bekommt, der durchhängen kann auf der nicht belasteten Seite. (siehe Tabelle 31)

<b>Problemstellung</b>	Dämpfung (für eine laufruhige Fahrt)
<b>Disziplin</b>	Maschinentechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Zahnriemen
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Direkte Kraftübertragung</li> <li>+ Freie Positionierung der Antriebs</li> <li>+ Schlupffrei</li> <li>- Komplexität</li> <li>- Hohe Kosten</li> <li>- Durchhängen</li> </ul>

Tabelle 31: Konzeptbeurteilung: Antrieb mit Zahnriemen

## 7.6 Antrieb

In der Anforderungsliste sind diverse Anforderungen an den Antrieb des Zuges gefordert. Der Zug soll einerseits möglichst schnell fahren können, muss aber auch präzise angesteuert werden können um die Geschwindigkeit je nach Situation anpassen zu können und präzise anzuhalten. Die Möglichkeiten sind dabei durch die Anforderungen etwas eingeschränkt wie z.B. mit der Strombegrenzung von 3A. In diesem Kapitel werden verschiedene Konzepte beschrieben und analysiert.

### Übersicht Konzepte

Es werden die verschiedenen Elektromotoren betrachtet. Zu jeder Möglichkeit werden Vorteile und Nachteile aufgelistet und Risiken analysiert.

- DC-Motor Bürstenlos
- DC-Motor Bürstenbehaftet
- Schrittmotor

#### 7.6.1 DC-Motor Bürstenlos

Bürstenlose DC-Motoren (auch als EC-Motor bezeichnet) werden normalerweise mit 3 Phasen angesteuert. Dadurch ist kein Kommutator mit Schleifkontakte notwendig. Dies macht den Motor zuverlässiger, da kein Verschleiss durch die Schleifkontakte entsteht. Die Konsequenz dieser Ansteuerung ist jedoch, dass diese Motoren nicht direkt von einem Mikrocontroller angesteuert werden können. Es ist eine Steuerung als Treiber nötig. Diese ist oftmals durch den Hersteller vorgegeben oder Empfohlen.

<b>Problemstellung</b>	Antrieb
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	DC-Motor Bürstenlos
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• DC-Motor Maxon EC 45 flat</li><li>• Steuerung - DEC Module</li></ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ kleiner Platzbedarf mit Flachmotor</li><li>+ Qualitativ guter Motor</li><li>+ hohe Umdrehungszahl möglich</li><li>- hohe Kosten</li><li>- keine exakte Positionierung mit günstigerer Steuerung</li></ul>

Tabelle 32: Konzeptbeurteilung: DC-Motor Bürstenlos

### Risiken

Zu diesem Lösungskonzept werden folgende Risiken betrachtet und eingeschätzt.

I zu Tief begrenzte Umdrehungszahl

II zu wenig Drehmoment

III zu Teuer

IV zu wenig Präzise steuerung

V zu schwierige Umsetzung (unter Berücksichtigung einer späteren Änderung zu einer Alternativlösung)

In Abbildung 38 werden die Risiken nach möglicher Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit eingeschätzt.

Eintrittswahrscheinlichkeit ↑				
4				
3		II, IV		V
2			I	
1			V	
0	1	2	3	4
Schadenshöhe →				

Abbildung 38: Risikomatrix DC-Motor Bürstenlos

Hier ist besonders das Risiko der Umsetzung besonders gross. Dieses lässt sich durch den Einsatz einer guten Steuerung minimieren, diese sind jedoch sehr kostspielig.

### 7.6.2 DC-Motor Bürstenbehaftet

Bürstenbehaftete DC-Motoren sind das was traditionell als 'Gleichstrommaschiene' bezeichnet wird. Mit Schleifkontakteen wird die Rotorenwicklung beim Drehen umgepolzt. Bei Bürstenbehafteten DC-Motoren ist es möglich die Geschwindigkeit durch verändern der Spannung oder durch ansteuerung mit einem PWM einzustellen. Die Drehrichtung wird durch die Polarität festgelegt.

Problemstellung	Antrieb
Disziplin	Elektrotechnik
Lösungskonzept	DC-Motor Bürstenbehaftet
Komponente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC-Motor ... TODO</li> <li>• Steuerung / Treiber (H-Brücke)</li> </ul>
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohe Umdrehungszahl möglich</li> <li>+ Kostengünstig</li> <li>+ Einfache ansteuerung vom Mikrocontroller via PWM</li> <li>- keine exakte Positionierung</li> <li>- grosser Platzbedarf</li> </ul>

Tabelle 33: Konzeptbeurteilung: DC-Motor Bürstenbehaftet

### Risiken

Zu diesem Lösungskonzept werden folgende Risiken betrachtet und eingeschätzt.

I zu Tief begrenzte Umdrehungszahl

II zu wenig Drehmoment

III zu Teuer

IV zu wenig Präzise steuerung

V zu schwierige Umsetzung (unter Berücksichtigung einer späteren Änderung zu einer Alternativlösung)

In Abbildung 39 werden die Risiken nach möglicher Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit eingeschätzt.

Eintrittswahrscheinlichkeit ↑				
4				
3		II, IV		
2			I	
1			III, V	
0	1	2	3	4
Schadenshöhe →				

Abbildung 39: Risikomatrix DC-Motor Bürstenbehaftet

Die Risiken im gelben Bereich lassen sich mit einer sorgfältigen Auslegung und richtiger Ansteuerung des Motors minimieren. Bei diesem Konzept müssen diese Punkte also speziell in der Planung und Auswahl beachtet werden.

### 7.6.3 Schrittmotor

Bei Schrittmotoren wird das Magnetfeld im Stator schrittweise gedreht. Dadurch lässt sich die Position mit einem bestimmten Winkel vorgeben.

<b>Problemstellung</b>	Antrieb
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Schrittmotor
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor ... TODO</li> <li>• Steuerung ... TODO</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ exakte Positionierung möglich</li> <li>- keine grosse Drehzahl möglich</li> <li>- grosser Platzbedarf</li> </ul>

Tabelle 34: Konzeptbeurteilung: Schrittmotor

### Risiken

Zu diesem Lösungskonzept werden folgende Risiken betrachtet und eingeschätzt.

I zu Tief begrenzte Umdrehungszahl

II zu wenig Drehmoment

III zu Teuer

IV zu wenig Präzise steuerung

V zu schwierige Umsetzung (unter Berücksichtigung einer späteren Änderung zu einer Alternativlösung)

In Abbildung 40 werden die Risiken nach möglicher Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit eingeschätzt.

Eintrittswahrscheinlichkeit ↑				
4			I	
3			II	
2		IV	III	
1				V
0	1	2	3	4
	<b>Schadenshöhe →</b>			

Abbildung 40: Risikomatrix Schrittmotor

Hier ist besonders die Dimensionierung des Motors eine grosses Risiko. Das Risiko der zu geringen Drehzahl lässt sich mit einer Mechanischen Lösung minimieren. Um das Risiko der zu geringen Drehzahl zu minimieren muss der Motor entsprechend stark dimensioniert werden. Dies erhöht jedoch auch wider die Kosten, den Platzbedarf und den Stromverbrauch.

#### 7.6.4 Entscheid

Mithilfe der Nutzwertanalyse in Abbildung 41 konnte ein Entscheid getroffen werden. Der Bürstenlo DC-Motor wurde mit dem grössten Nutzen bewertet. Vorallem die kleine Bauart und die Präzision ist ein grosses Argument für den Bürstenlosen DC-Motor. Der Bürstenbehaftet DC-Motor fällt vor allem durch die grössere Bauart und das grössere Gewicht ab. Jedoch ist er für die Umsetzung und auch vom Preis her viel attraktiver. Der Schrittmotor fiel ebenfalls bei der Grösse und beim Gewicht ab. Jedoch bietet der Schrittmotor keinen grossen Vorteil was die Einfachheit der Umsetzung angeht. Deshalb erreicht er die Schlechteste Bewertung in dieser Analyse.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	DC-Motor Bürstenlos		DC-Motor Bürstenbehaftet		Schrittmotor		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW		
Machbarkeit	9,52	4	38,10	5	47,62	4,5	42,86		0,00
Einfachheit	5,95	4	23,81	5	29,76	4,5	26,79		0,00
Preis	14,29	2	28,57	5	71,43	4,5	64,29		0,00
Prozesssicherheit	19,05	5	95,24	4,5	85,71	4	76,19		0,00
kleiner Bauraum	10,71	5	53,57	3,5	37,50	3	32,14		0,00
geringes Gewicht	14,29	5	71,43	3,5	50,00	3,5	50,00		0,00
Genaugkeit	26,19	5	130,95	4	104,76	5	130,95		0,00
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100,00</b>		<b>441,67</b>		<b>426,79</b>		<b>423,21</b>		

Abbildung 41: Nutzwertanalyse Antrieb

Der Entscheid im Morphologischen Kasten fiel Schlussendlich auf den Bürstenbehafteten DC-Motor. Der Grund dass die Entscheidung entgegen der Nutzwertanalyse fiel ist, dass der grosse Preis zusammen mit der anspruchsvollen Umsetzung beim Bürstenlosen DC-Motor ein zu grosses Risiko ist. Das Risiko der Baugrösse und des Gewichtes des

Bürstenbehafteten Motors kann durch eine grosszügige Auslegung der Mechanik minimiert werden.

Der Bürstenlose DC-Motor wird als Alternativlösung im Plan B weiter verfolgt für den Fall dass die Anforderungen mit dem Bürstenbehafteten Motor nicht erfüllt werden können. Weitere Tests in der Entwicklung des Konzeptes werden dies zeigen.

## 7.7 Fahrdaten: Beschleunigung

In der Anforderungsliste ist es gefordert, dass die Systemsteuerung die aktuellen Fahrdaten auswerten kann. Dazu ist es nötig, dass die Daten von Sensoren aufgenommen werden. Diese Daten sollen dann an die Systemsteuerung geschickt werden. In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten zur Erfassung der Beschleunigung gezeigt. Mit der Beschleunigung kann man auch auf die Fliehkräfte schliessen. Die Daten der Fliehkräfte können von der Steuerung für eine optimale Kurvenfahrt benutzt werden.

### Übersicht Konzepte

Es werden der verschiedenen Ansätze mit verschiedenen Sensoren betrachtet. Zu jeder Möglichkeit werden Vor- und Nachteile aufgelistet und Risiken analysiert. Beschleunigungssensoren sind in diversen Varianten verfügbar. Vom Funktionsprinzip unterscheiden sie sich aber kaum. Deshalb werden hier nur folgende Möglichkeiten betrachtet. Der genaue Sensor wird dann durch die Wahl des Controllerboards und dessen Kommunikationsmöglichkeiten bestimmt.

- Onboard Sensorik
- Third Party Sensorik

#### 7.7.1 Onboard Sensorik

Viele Entwicklungsboards sind bereits mit einigen Sensoren bestückt. Vielfach ist auch ein Beschleunigungssensor dabei.

<b>Problemstellung</b>	Fahrdaten: Beschleunigung
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Onboard Sensorik
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• NXP Freedom Board FRDM-K22F</li><li>• FXOS8700CQ – accelerometer and magnetometer (auf Board vorhanden)</li></ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ keine weitere Hardware für Sensor nötig</li><li>+ kleineres Risiko für Störungen durch kurze Leitungen</li><li>- Einschränkung in der Wahl der Steuerung und des Sensors</li><li>- gedämpfte Lagerung des Sensors nicht möglich</li></ul>

Tabelle 35: Konzeptbeurteilung: Beschleunigung Onboard Sensorik

#### 7.7.2 Third Party Sensorik

Für diese Möglichkeit wird der Sensor als einzelkomponente eingekauft und im Zug verbaut. Dies kann auf einem separaten PCB oder als einzelnes IC sein.

<b>Problemstellung</b>	Fahrdaten: Beschleunigung
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Third Party Sensorik
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GY LSM303 Breakout</li> <li>• evt. zusätzliche Beschaltung</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Freie Wahl von Sensor und Controllerboards</li> <li>+ optimale Platzausnutzung möglich</li> <li>- grösseres Risiko für Störungen durch längere Leitungen</li> <li>- evt. zusätzliche Beschaltung vom Sensor nötig</li> </ul>

Tabelle 36: Konzeptbeurteilung: Beschleunigung Third Party Sensorik

### 7.7.3 Entscheid

Mithilfe der Nutzwertanalyse in Abbildung 42 konnte ein Entscheid getroffen werden. Da auf den Ausgewählten Controllerboards, Raspberry Pi und Tiny K22, keine Onboard Sensorik zur Verfügung stehen bleibt nur die Wahl von Third Party Sensorik. Deshalb ist Machbarkeit der Onboard Sensorik mit Null Punkten bewertet.

Die Sensorik kann dann mit den Controllerboards verbunden werden und mit diesen kommunizieren.

Das Risiko für Störungen kann minimiert werden indem die Sensoren durch möglichst kurze Leitungen mit den Controllerboards verbunden werden. Mit dieser Wahl ist es auch möglich eine gedämpfte Lagerung der Sensorik zu realisieren. Damit können Messfehler z.B. von Unebenheiten der Strecke minimiert werden.

<b>Beurteilungskriterien (BK)</b>	<b>Gewichtung BK (GBK)</b>	<b>Onboard Sensorik</b>		<b>Third Party Sensorik</b>	
		<b>Nutzwert (NW)</b>	<b>gew. Nutzwert GNW= GBK*NW</b>	<b>Nutzwert (NW)</b>	<b>gew. Nutzwert GNW= GBK*NW</b>
Machbarkeit	9,52	0	0,00	5	47,62
Einfachheit	5,95	4	23,81	3	17,86
Preis	14,29	3	42,86	2	28,57
Prozesssicherheit	19,05	2,5	47,62	4	76,19
kleiner Bauraum	10,71	3	32,14	3	32,14
geringes Gewicht	14,29	3	42,86	3	42,86
Genauigkeit	26,19	4	104,76	5	130,95
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100,00</b>		<b>294,05</b>		<b>376,19</b>

Abbildung 42: Nutzwertanalyse Fahrdaten Beschleunigung

### 7.7.4 Fahrdaten: Geschwindigkeit

In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten zur Erfassung der Geschwindigkeit gezeigt. Diese kann durch Sensoren ermittelt werden oder mithilfe der Beschleunigung errechnet werden. (siehe 7.7)

#### Übersicht Konzepte

Es werden verschiedene Ansätze mit verschiedenen Sensoren betrachtet. Zu jeder Möglichkeit werden Vor- und Nachteile aufgelistet und Risiken analysiert. Es werden

Möglichkeit betrachtet die Geschwindigkeit mit Sensoren zu ermitteln und solche die Geschwindigkeit rechnerisch aus der Beschleunigung zu bestimmen.

- Auswertung über Gleise
- Encoder
- Verknüpfung Encoder und Beschleunigungssensor

#### 7.7.5 Auswertung über Gleise

Unter den Gleisen, senkrecht zur Fahrtrichtung, befinden sich Verbindungsstücke aus Kunststoff. Diese sind ca. 5mm hoch und 10mm breit und sind durchschnittlich mit einem Abstand von ca. 15 mm montiert. Mit einem Sensor können diese erfasst werden und durch die verstrichene Zeit zwischen zwei Verbindungsstücken kann die Geschwindigkeit berechnet werden.

<b>Problemstellung</b>	Fahrdaten: Geschwindigkeit
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Auswertung über Gleise
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanzsensor</li> <li>• Timer im Controller für Zeitmessung</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensor muss sehr kleine Distanzunterschiede erkennen können</li> <li>- Risiko für Messfehler durch unterschiedlichen Abstand zwischen den Verbindungsstücken</li> </ul>

Tabelle 37: Konzeptbeurteilung: Geschwindigkeit Auswertung über Gleise

#### 7.7.6 Encoder

Mit einem Encoder misst man die Umdrehungszahl des Motor oder der Räder. Dabei wird in regelmässigen Abständen ein Signal an den Controller geschickt. Diese Signale werden immer bei den Selben Positionen in der Umdrehung des Motors oder der Räder erzeugt. Mit einer Zeitmessung zwischen diesen Signalen kann die Geschwindigkeit berechnet werden.

<b>Problemstellung</b>	Fahrdaten: Geschwindigkeit
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Encoder
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encoder am Motor oder Rad</li> <li>• Timer im Controller für Zeitmessung</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Exakte Messung, da die Messpunkte regelmässige verteilt sind</li> <li>- Risiko für Fehlmessung bei Schlupf</li> </ul>

Tabelle 38: Konzeptbeurteilung: Geschwindigkeit Encoder

### 7.7.7 Verknüpfung Encoder und Beschleunigungssensor

Zusätzlich zum Encoder kann die Geschwindigkeit über die Integration Beschleunigung bestimmt werden. Diesen Wert kann dann der Kontrolle der Daten des Encoders dienen. Unter der Annahme, dass zu Beginn der Messung zum Zeitpunkt  $t = 0$  die Geschwindigkeit 0 ist ( $v_0 = 0$ ) kann die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t$  bestimmt werden mit

$$v(t) = \int_0^t a(x)dx$$

Da aber auf einem Digitalen System die Daten nur zu diskreten Zeitpunkten ausgewertet werden können ergibt sich dann eine Summen der Beschleunigungen zum Zeitpunkt  $k$

$$v[k] = \sum_{i=0}^k a[i]\Delta t$$

<b>Problemstellung</b>	Fahrdaten: Geschwindigkeit
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Verknüpfung Encoder und Beschleunigungssensor
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encoder am Motor oder Rad</li> <li>• Timer im Controller für Zeitmessung</li> <li>• laufende Berechnung auf dem Controller</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Exakte Messung, da die Messpunkte regelmässige verteilt sind</li> <li>+ Risiko für Fehlmessung bei Schlupf kann durch Kontrolle minimiert werden</li> <li>- Fehlmessung durch Toleranz des Beschleunigungssensor</li> <li>- Fehler der Beschleunigungsmessung addieren sich über die Zeit durch die dauernde diskrete Integration</li> </ul>

Tabelle 39: Konzeptbeurteilung: Verknüpfung Encoder und Beschleunigungssensor

### 7.7.8 Entscheid

Mithilfe der Nutzwertanalyse in Abbildung 43 konnte ein Entscheid getroffen werden. Die Kombination von Encoder und Beschleunigungssensor stellte sich als beste Möglichkeit heraus. Fehlmessungen durch Schlupf der Räder können über die Bestimmung der Geschwindigkeit mit dem Beschleunigungssensor erkannt und korrigiert werden. Um die Toleranz des Beschleunigungssensor auszugleichen muss das Genaue Verhalten des Sensors messtechnisch bestimmt werden. In der Software müssen dann allfällige Schwellwerte eingestellt oder Rundungen vorgenommen werden um die Beschleunigungsdaten zuverlässig aufzubereiten.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Auswertung über Gleise		Encoder Nutzwert gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Verknüpfung Encoder und Beschleunigungssensor	Beschleunigungssensor Nutzwert gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW			
Machbarkeit	9,52	4,5	42,86	4	38,10	5
Einfachheit	5,95	2	11,90	4	23,81	2,5
Preis	14,29	3	42,86	4,5	64,29	3
Prozessicherheit	19,05	3	57,14	3,5	66,67	4,5
kleiner Bauraum	10,71	3	32,14	5	53,57	4
geringes Gewicht	14,29	4,5	64,29	5	71,43	4
Genaugkeit	26,19	3	78,57	3	78,57	5
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100,00</b>		<b>329,76</b>		<b>396,43</b>	<b>422,02</b>

Abbildung 43: Nutzwertanalyse Fahrdaten Geschwindigkeit

### 7.7.9 Fahrdaten: Positionen

Das Auswerten der Position erlaubt eine virtuelle Abbildung der Fahrbahn und somit eine optimierte zweite Runde durch Vorhersage von Kurven und Geraden.

#### Übersicht Konzepte

Es werden der verschiedene Ansätze mit verschiedenen Sensoren betrachtet. Zu jeder Möglichkeit werden Vor- und Nachteile aufgelistet und Risiken analysiert.

- Verknüpfung mit Beschleunigungssensor
- GPS
- Verknüpfung Encoder und Beschleunigungssensor

### 7.7.10 Verknüpfung mit Beschleunigungssensor

Über den Beschleunigungssensor kann man die aktuelle Position auf der Fahrbahn berechnen. Die zurückgelegte Strecke errechnet sich durch Integration der Geschwindigkeit oder durch zweifache Integration der Beschleunigung.

Unter der Annahme, dass zu Beginn der Messung zum Zeitpunkt  $t = 0$  die zurückgelegte Strecke 0 ist ( $s_0 = 0$ ) kann die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t$  bestimmt werden mit

$$s(t) = \int_0^t v(x) dx$$

Da aber auf einem Digitalen System die Daten nur zu diskreten Zeitpunkten ausgewertet werden können ergibt sich dann eine Summen der Geschwindigkeiten zum Zeitpunkt  $k$

$$s[k] = \sum_{i=0}^k v[i] \Delta t$$

Die Geschwindigkeit wird gemäß Kapitel 7.7.4 bestimmt.

<b>Problemstellung</b>	Fahrdaten: Position
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Verknüpfung mit Beschleunigungssensor
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor zum erfassen der Geschwindigkeit</li> <li>• Berechnung auf dem Controller</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ keine weiteren Sensoren nötig</li> <li>- Messfehler werden über die Zeit addiert</li> </ul>

Tabelle 40: Konzeptbeurteilung: Position Verknüpfung mit Beschleunigungssensor

### 7.7.11 GPS

Beim GPS wird die Position über das Anpeilen mehrerer Satelliten geschätzt. Dies hat zum Nachteil, dass die erhaltenen Daten eine Abweichung von mehreren Zentimetern aufweisen können. Das dazu benötigte Modul würde zusätzlich kosten und Platz einnehmen.

Mathematisch würde anhand der erhaltenen X- und Y-Koordinaten die Verschiebung auf der Fahrbahn berechnet werden. In einem von uns vorgegebene Intervall werden Koordinaten ausgelesen und zu einer Abbildung der Fahrbahn gestaltet.

<b>Problemstellung</b>	Fahrdaten: Position
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	GPS
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS Modul</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Relativ Einfach</li> <li>+ Effizient</li> <li>- Teuer</li> <li>- Eher ungenau</li> <li>- schlechter Empfang im Gebäude</li> </ul>

Tabelle 41: Konzeptbeurteilung: Position GPS

### 7.7.12 Lichtraumprofil mit Rundenerkennung

Bei jedem Durchfahren eines Lichtraumprofils wird bestimmt in welchem Teilbereich der Fahrbahn sich der Wagen befindet. Dies ist eine sehr ungenaue Angabe der Position und auch nicht weiter hilfreich, als die Anzahl Runden zu zählen. Es kann gut mit anderen Konzepten verknüpft werden um das Ende einer Runde zu bestimmen.

Mithilfe einer Kamera oder eines Distanz-Sensors kann ein Lichtraumprofil erkannt werden.

<b>Problemstellung</b>	Fahrdaten: Position
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Lichtraumprofil mit Rundenerkennung
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensorik zur Lichtraumprofilerkennung</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfach</li> <li>+ Zuverlässig</li> <li>+ Kann kombiniert werden</li> <li>- Sehr ungenau</li> </ul>

Tabelle 42: Konzeptbeurteilung: Lichtraumprofil mit Rundenerkennung

### 7.7.13 Entscheid

Mithilfe der Nutzwertanalyse in Abbildung 44 konnte ein Entscheid getroffen werden. Die Entscheidung für die Positionsauswertung über den Beschleunigungssensor als 1. Variante und Lichtraumprofil mit Rundenerkennung als 2. Variante entschieden. Dies ist unter anderem durch Kosten und Platzgründe zustande gekommen.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Verknüpfung mit Beschleuniger		GPS		Lichtraumprofil (nur Runden erkennung)			
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
Machbarkeit	9.52	5	47.62	4	38.10	4.5	42.86		
Einfachheit	5.95	3	17.86	5	29.76	3	17.86		
Preis	14.29	4	57.14	2	28.57	5	71.43		
Prozesssicherheit	19.05	4	76.19	4	76.19	4	76.19		
kleiner Bauraum	10.71	5	53.57	2.5	26.79	5	53.57		
geringes Gewicht	14.29	5	71.43	3.5	50.00	5	71.43		
Genaugigkeit	26.19	4	104.76	4	104.76	2	52.38		
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>428.57</b>		<b>354.17</b>		<b>385.71</b>		

Abbildung 44: Nutzwertanalyse Fahrdaten Position

## 7.8 Stromversorgung

In der Aufgabenstellung ist gefordert, dass die Antriebsenergie über die Schienen bezogen wird. Von diesem Strom muss mindestens der Motor versorgt werden. Zusätzlich benötigt die Systemsteuerung, Sensoren und Aktoren Strom. Diese können auch über die Schienen versorgt werden oder auch über eine Zusätzliche Energiequelle (wie z.B. einen Akku) versorgt werden. In diesem Kapitel werden verschiedene Konzepte beschrieben und analysiert.

### Übersicht Konzepte

Es werden der verschiedene Möglichkeit betrachtet. Zu jeder Möglichkeit werden Vor- und Nachteile aufgelistet und Risiken analysiert. Es sind auch Kombinationen aus mehreren Varianten denkbar.

- Komplette Stromversorgung über die Schienen
- nur die Antriebsenergie über die Schienen, die Energie für die Systemsteuerung über einen Akku
- die Antriebsenergie über die Schienen, die Energie für die Systemsteuerung über einen Akku welcher über die Schienen nachgeladen wird.

#### 7.8.1 Alles über die Schienen

Um die gesamte Energie über die Schienen zu beziehen wird mindestens ein Schleifkontakt auf jeder Schiene benötigt und die Spannung muss von den gegebenen 20V einmal für die Systemsteuerung und einmal für den Motor angepasst werden. Die Spannung für gewisse Komponenten direkt abzugreifen ist wegen der Grossen Toleranz (+/- 2V ) der Versorgung nicht möglich. Eine Stabilisierung auf eine tiefere ist in jedem Fall notwendig.

<b>Problemstellung</b>	Stromversorgung
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Alles über die Schienen
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Spannungsregler für Steuerung (5V)</li><li>• Spannungsregler für Motor (z.B. 12V)</li><li>• Schleifkontakte</li></ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ kleiner Platzbedarf, keine weiteren grossen Komponenten erforderlich</li><li>+ geringe Kosten</li><li>- Strombegrenzung der Schienen muss für das gesamte System reichen.</li><li>- Gefahr von Unterbrechungen / Wackelkontakt</li><li>- System kann beim Aufbau erst beim Aufsetzen auf die Schienen gestartet werden.</li></ul>

Tabelle 43: Konzeptbeurteilung: Stromversorgung Alles über die Schienen

### Risiken

Zu diesem Lösungskonzept werden folgende Risiken betrachtet und eingeschätzt.

I Unterbrechung der Stromversorgung durch Wackelkontakt

II zu Teuer

III zu Wenig Strom zur verfüzung

IV zu schwierig umzusetzen (unter Berücksichtigung einer späteren Änderung zu einer Alternativlösung)

In Abbildung 45 werden die Risiken nach möglicher Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit eingeschätzt.

Eintrittswahrscheinlichkeit ↑				
4				
3				I
2		II, IV	III	
1				
0	1	2	3	4
Schadenshöhe →				

Abbildung 45: Risikomatrix gesamte Schromversorgung über die Schienen

Hier ist besonders das Risiko für den Wackelkontakt besonders gross, da ein Unterbruch zu einem kompletten Systemabsturz führen kann. Dieses Risiko kann über eine Stützung z.B. mit einem Kondensator minimiert werden.

Das Risiko der Strombegrenzung ist jedoch in der Aufgabenstellung festgelegt und lässt sich in diesem Konzept nicht minimieren.

### 7.8.2 Zusätzlicher Akku

In diesem Konzept werden auch mindestens zwei Schleifkontakte für die Antriebsenergie benötigt. Die Systemsteuerung wird über einen Akku gespeist. Die Spannung ab den Schienen muss wegen der grossen Toleranz der Versorgungsspannung stabilisiert werden. Die Spannung für die Systemsteuerung muss je nach Akkutyp ebenfalls stabilisiert werden. Der Akku muss dabei für mindestens zwei Runden auf der Teststrecke reichen.

<b>Problemstellung</b>	Stromversorgung
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Schienen für den Antrieb und zusätzlichen Akku für die Systemsteuerung
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spannungsregler für Steuerung (5V)</li> <li>• Spannungsregler für Motor (z.B. 12V)</li> <li>• Schleifkontakte</li> <li>• Akku</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ zuverlässige Stromversorgung für die Systemsteuerung</li> <li>+ System kann schon vor dem Aufbau hochgefahren werden</li> <li>+ gesamter Strom der Schienen kann für den Antrieb genutzt werden</li> <li>- zusätzliche Kosten für einen Akku</li> <li>- zusätzliches Gewicht</li> <li>- grosser Platzbedarf für den Akku</li> </ul>

Tabelle 44: Konzeptbeurteilung: Stromversorgung Schienen und Akku

### Risiken

Zu diesem Lösungskonzept werden folgende Risiken betrachtet und eingeschätzt.

I Unterbrechung der Stromversorgung durch Wackelkontakt

II zu Teuer

III zu Wenig Strom zur Verfügung

IV zu schwierig umzusetzen (unter Berücksichtigung einer späteren Änderung zu einer Alternativlösung)

In Abbildung 46 werden die Risiken nach möglicher Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit eingeschätzt.

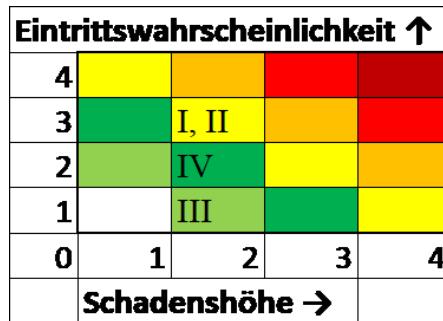


Abbildung 46: Risikomatrix Antriebsenergie über die Schienen und Akku für die Systemsteuerung

Die Risiko bei einer Unterbrechung der Stromversorgung für den Motor ist geringer als bei einer Unterbrechung bei der Systemsteuerung. Das Restrisiko für den Antrieb kann jedoch noch weiter reduziert werden, wenn eine Stützung realisiert wird.

### 7.8.3 Zusätzlicher Akku mit Ladeschaltung

In diesem Konzept werden auch mindestens zwei Schleifkontakte für die Antriebsenergie benötigt. Die Systemsteuerung wird über einen Akku gespeist. Die Spannung ab den Schienen muss wegen der grossen Toleranz der Versorgungsspannung stabilisiert werden. Die Spannung für die Systemsteuerung muss je nach Akkutyp ebenfalls stabilisiert werden. Damit die Dimension des Akkus möglichst klein gehalten werden kann soll eine zusätzliche Ladeschaltung den Akku laden wenn über die Schienen genügend Energie zur Verfügung steht. So könnt der Akku im Startgebiet und während der langsam fahrt am Schluss jeweils nachgeladen werden.

<b>Problemstellung</b>	Stromversorgung
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Schienen für den Antrieb und zusätzlichen Akku für die Systemsteuerung und Ladeschaltung für den Akku
<b>Komponente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spannungsregler für Steuerung (5V)</li> <li>• Spannungsregler für Motor (z.B. 12V)</li> <li>• Spannungsregler für Ladeschaltung</li> <li>• Schleifkontakte</li> <li>• Akku</li> <li>• Ladeschaltung für den Akku</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ zuverlässige Stromversorgung für die Systemsteuerung</li> <li>+ System kann schon vor dem Aufbau hochgefahren werden</li> <li>- zusätzliche Schaltung notwendig</li> <li>- zusätzliche Kosten für einen Akku</li> <li>- zusätzliches Gewicht</li> <li>- grosser Platzbedarf für den Akku</li> </ul>

Tabelle 45: Konzeptbeurteilung: Stromversorgung Schienen und Akku

### Risiken

Zu diesem Lösungskonzept werden folgende Risiken betrachtet und eingeschätzt.

I Unterbrechung der Stromversorgung durch Wackelkontakt

II zu Teuer

III zu Wenig Strom zur Verfügung

IV zu schwierig umzusetzen (unter Berücksichtigung einer späteren Änderung zu einer Alternativlösung)

In Abbildung 47 werden die Risiken nach möglicher Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit eingeschätzt.

Eintrittswahrscheinlichkeit ↑				
4				
3	I	II		
2		III, IV		
1				
0	1	2	3	4
Schadenshöhe →				

Abbildung 47: Risikomatrix Antriebsenergie über die Schienen und Akku für die Systemsteuerung und Ladeschaltung für den Akku

Die zusätzlich nötige Schaltung erhöht die Kosten und die Schwierigkeit für die Umsetzung dieser Lösung. Um sicherzustellen, dass für den Antrieb auf der Strecke genügend Energie bleibt, muss die Schaltung so implementiert werden, dass der Akku nur geladen wird, wenn genügend Energie zur Verfügung steht. Am besten wird der Ladevorgang während der schnellen Fahrt Komplett unterbrochen.

#### 7.8.4 Entscheid

Mithilfe der Nutzwertanalyse in Abbildung 48 konnte ein Entscheid getroffen werden. Die Stromversorgung alleine über die Schienen schneidete vor allem bei der Prozesssicherheit schlecht ab. Das Risiko für Unterbrüche ist bei dieser Möglichkeit zu hoch. Mit einem zusätzlichen Akku kann dieses Risiko minimiert werden. Auch die Umsetzung mit einem einfachen akku sollte kein Risiko darstellen. Die Möglichkeit einer zusätzlich Ladeschaltung ist dagegen um einiges Komplizierter und Aufwändiger. Dabei ist zu bedenken, dass der Ladevorgang entsprechend der verfügbaren Energie gesteuert werden müsste. Während der Fahrt soll die Gesamte Energie dem Antrieb zur Verfügung stehen und die Ladeschaltung muss inaktiv sein.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Alles über die Schienen		zuätzlicher Akku		Zuätzlicher Akku mit Ladeschaltung			
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
Machbarkeit	9,52	5	47,62	4,5	42,86	3,5	33,33		0,00
Einfachheit	5,95	4,5	26,79	4,5	26,79	3,5	20,83		0,00
Preis	14,29	5	71,43	4	57,14	4	57,14		0,00
Prozesssicherheit	19,05	2	38,10	5,5	104,76	5	95,24		0,00
kleiner Bauraum	10,71	4,5	48,21	3,5	37,50	4	42,86		0,00
geringes Gewicht	14,29	5	71,43	3	42,86	4	57,14		0,00
Genaugkeit	26,19	3	78,57	4	104,76	3,5	91,67		0,00
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100,00</b>		<b>382,14</b>		<b>416,67</b>		<b>398,21</b>		

Abbildung 48: Nutzwertanalyse Antrieb

Der Entscheid für die beste Möglichkeit fiel auf den zusätzlichen Akku ohne Ladeschaltung. Das Risiko eines Unterbruchs wäre ohne Akku zu gross. Was weiterhin zu beachten ist, ist dass der Akku genügend gross ausgelegt wird, da er nicht nur für den Wettbewerb reichen soll, sondern auch für längere Tests das System mit Strom versorgen kann. Die Möglichkeit einer Ladeschaltung wurde aufgrund der aufwändigeren Umsetzung zurückgestellt. Sie wird aber weiterhin verfolgt und kann zu einem späteren Zeitpunkt als Erweiterung noch umgesetzt werden.

## 7.9 Akustik

Während der Fahrt wird von einer Tafel die Zahl abgelesen, diese soll am Ende akustisch wiedergegeben werden. In diesem Abschnitt werden verschiedene akustische Lösungsansätze/Konzepte zusammengetragen und verglichen. Ziel ist es aus einem breiten Spektrum die optimale Lösung zu finden.

### 7.9.1 Anforderung

Die Software muss in der Lage sein eine Zahl zwischen 1 und 9, welche als Parameter übergeben wird, akustisch wieder zu geben. Ausgabe muss verständlich und darf nicht zu laut sein.

### 7.9.2 Auswahl Konzepte Software

In diesem Kapitel werden verschiedene Softwarekonzepte zusammengetragen. Bei den Programmiersprachen habe ich mich für Python und Java entschieden, da diese erstklassige Kandidaten für unsere Systemsteuerung sind. Somit wird ein reibungsloses Zusammenspiel gewährleistet.

Es wurde ausschliesslich Freeware benutzt um unser Budget zu schützen und weil diese ausreichende Funktionalität mit sich bringen.

#### Python pygame

Die python Bibliothek 'pygame' erlaubt es dem Benutzer relativ einfach Audiodateien abzuspielen. Dies geschieht über einen integrierten Mixer, welche auf mehreren Spuren gleichzeitig Musik abspielen kann. Für diese Aufgabe reicht bereits eine Tonspur.

Das ganze sieht dann folgendermassen aus (acoustic.py):

```
mixer.init() #turn all of pygame on.  
mixer.music.set_volume(0.5)  
  
mixer.music.load('Soundfiles/E9.mp3')  
mixer.music.play()  
#play() is asynchronous and will stop as soon as the programm ends  
time.sleep(2)  
mixer.music.stop()
```

Weil die Tonspur asynchron abgespielt wird, muss man nach dem Aufruf 'play()' eine Zeit warten, bis das Stück zu Ende gespielt hat. Dies erweist sich als relativ ungünstig, denn die Stücke sind nicht alle gleich lang.

Einfach zu bedienende Python Bibliothek mit netten Features, jedoch nicht für unseren Gebrauch geeignet.

#### Python pyttsx3

Bei der python Bibliothek 'pyttsx3' handelt es sich um einen 'Text To Speech'(Deutsch:

Text zu Sprache) converter. Dieser ermöglicht das Übersetzen von Text zu Sprache in Echtzeit und bringt hiermit eine enorme Flexibilität mit sich. Das ganze ist einfach zu bedienen und erlaubt die Ausgabe über mehrere Sprachen.

Das ganze sieht dann folgendermassen aus (acousticTTS.py):

```
engine = pytsx3.init()
engine.say('Number ' + str(number))
engine.runAndWait()
```

Extrem simpel und übersichtliche Ausführung (nur 3 Zeilen). Ausgabe ist sehr verständlich.

Sehr gelungene Bibliothek.

### **Java Media**

Mit den Java Media Bibliotheken kann man verschiedene Audioformate ausgeben. Benötigt werden die Importe 'Media' und 'MediaPlayer' aus der 'javafx.scene.media' Umgebung. Zusätzlich muss noch von der 'Application' Klasse geerbt werden und der Befehl 'Application.launch()' ausgeführt werden. Die kommt dadurch, dass 'javafx' eine vorbereigte Initialisierung benötigt, welche am einfachsten über 'Application.launch()' gestartet wird.

Das sieht dann folgendermassen aus (acoustic.java):

```
Application.launch();
String filePath = System.getProperty("user.dir") + "/Soundfiles/E9.wav";

File soundFile = new File(filePath);
Media hit = new Media(soundFile.toURI().toString());
MediaPlayer mediaPlayer = new MediaPlayer(hit);
mediaPlayer.play();
```

Einfach zu bedienende Bibliothek mit kleiner Umständlichkeit.

Java FreeTTS Java FreeTTS besteht aus verschiedenen 3. Party Bibliotheken. Leider hatte ich keinen Erfolg die Applikation funktionsfähig zu machen.

#### **7.9.3 Auswahl Konzepte Hardware**

In diesem Kapitel werden einige Hardware Konzepte vorgestellt. Wir unterscheiden hier zwischen 3 Varianten, wie Audio ausgegeben wird. Daher würden auch Änderungen an der Softwarelösung vorgenommen werden müssen.

##### **Speaker**

Bei dieser Lösung wird der Ton direkt von der Software über einen Lautsprecher ausgegeben. Dies ist die meist verbreitete Lösung.

##### **Buzzer**

Der Buzzer wird über die selbe Hardwareeinheit wie der Speaker realisiert, mit dem einzigen Unterschied, dass man über eine integrierte Komponente den Speaker zum 'buzzzen' nutzt.

### Speaker with DataStorage

Der Speaker verfügt zusätzlich über einen integrierten Datenspeicher, über welchen Audiodateien abgespeichert und auf Befehl abgespielt werden können. Dies hat zur Folge, dass Softwaretechnisch Zeit und Ressourcen gespart werden können.

#### 7.9.4 Nutzwertanalyse

Konzepte werden zusammengetragen und verglichen. In den verschiedenen Disziplinen werden Wertungen von 1 - 5 abgegeben, wobei 1 die schlechteste und 5 die beste Wertung ist. Auch wird auf spezifische Stärken und Schwächen eingegangen.

##### NutzwertanalyseSoftware:

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	pygame		pyttsx3		Java Media		Java FreeTTS		
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW							
Machbarkeit	9.52	5	47.62	5	47.62	4.5	42.86	2	19.05	
Einfachheit	5.95	3	17.86	5	29.76	3	17.86	2	11.90	
Preis	14.29	5	71.43	5	71.43	5	71.43	5	71.43	
Prozesssicherheit	19.05	4	76.19	4.5	85.71	4	76.19	3	57.14	
kleiner Bauraum	10.71	5	53.57	5	53.57	5	53.57	5	53.57	
geringes Gewicht	14.29	5	71.43	5	71.43	5	71.43	5	71.43	
Genaugkeit	26.19	4	104.76	4.5	117.86	4	104.76	4.5	117.86	
<b>Gesamtnutzen</b>		<b>100.00</b>		<b>442.86</b>		<b>477.38</b>		<b>438.10</b>		<b>402.38</b>

**Entscheidung** Favoriten sind die beiden Python Bibliotheken, jedoch macht es Sinn, dass wir für erhöhte Flexibilität von jeder Sprache einen Favoriten festlegen. Dies erlaubt uns später jederzeit zwischen den Konzepten zu wechseln.

##### NutzwertanalyseSoftware:

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Speaker		Speaker mit Datenspeicher		Buzzer		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW		
Machbarkeit	9.52	5	47.62	5	47.62	5	47.62	5	0.00
Einfachheit	5.95	4	23.81	3.5	20.83	5	29.76	5	0.00
Preis	14.29	4	57.14	2.5	35.71	4	57.14	4	0.00
Prozesssicherheit	19.05	4	76.19	4.5	85.71	4.5	85.71	4.5	0.00
kleiner Bauraum	10.71	3	32.14	2	21.43	3	32.14	3	0.00
geringes Gewicht	14.29	4	57.14	3	42.86	4	57.14	4	0.00
Genaugkeit	26.19	5	130.95	5	130.95	4	104.76	4	0.00
<b>Gesamtnutzen</b>		<b>100.00</b>		<b>425.00</b>		<b>385.12</b>		<b>414.29</b>	

**Entscheidung** Weil der Speaker das meist verbreitete und praktischste Ausgabemittel für Audioaufnahmen ist, werden wir uns mit diesem versuchen. Sollten wir keinen Erfolg erzielen, werden wir der Einfachheit wegen zum Buzzer ausweichen.

## 7.10 Vision

Im Kapitel Objekterkennung basieren viele Lösungsentscheidungen auf Erkennung mittels Kamera. Hierbei wird die Kamera verwendet um Informationen aufzunehmen. Die Verarbeitung der Informationen und schlussendlich die Objekterkennung erfolgt softwaretechnisch. Abbildung 49 zeigt den prinzipieller Ablauf einer Bildverarbeitung inklusiver Featureerkennung.

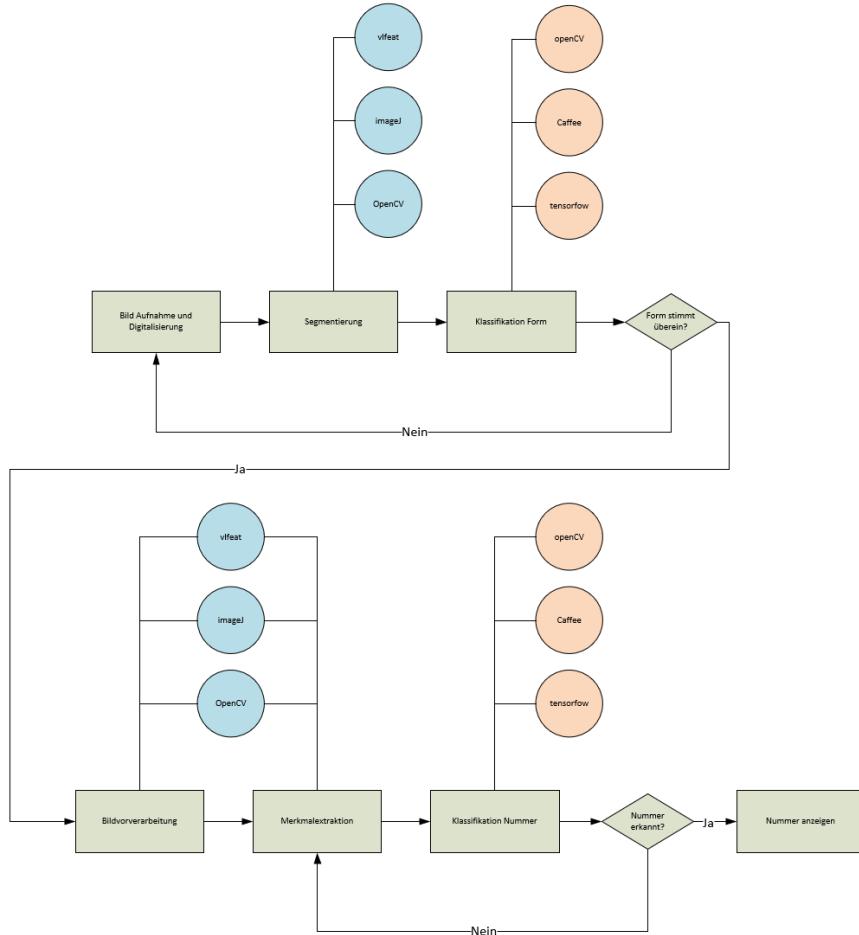


Abbildung 49: Ablaufdiagramm Objekterkennung mittels Software

### 7.10.1 Bildverarbeitung

Wie im Ablaufdiagramm 49 ersichtlich, wird die Bildverarbeitung mehrmals angewendet. In der Segmentierung, Bildvorverarbeitung und Merkmalsextraktion wird das Bild mittels Filter und Morphologischen Operationen für die Klassifikation vorbereitet. Hierfür gibt es unterschiedliche Frameworks, welche für verschiedene Einsatzgebiete spezialisiert sind. Im Rahmen dieser Arbeit werden drei Frameworks näher beurteilt.

**OpenCV:**

OpenCV ist die bekannteste freie Programmmbiliothek für automatisierte Bildverarbeitung. Das „CV“ im Namen steht für englisch „Computer Vision“. Die Entwicklung der Bibliothek wurde von Intel initiiert und wurde bis 2013 von Willow Garage gepflegt. Nach deren Auflösung wurde sie von Itseez fortgeführt, welches mittlerweile von Intel übernommen wurde.

<b>Framework</b>	OpenCV
<b>Programmiersprache</b>	C++, Java, Python
<b>Betriebssystem</b>	plattformunabhängig
<b>Lizenz</b>	BSD
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Performance</li> <li>+ Konfigurationen</li> <li>+ plattformunabhängig</li> <li>- Lernkurve</li> </ul>

Tabelle 46: Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Ultraschallsensor

**ImageJ:**

ImageJ ist ein in Java geschriebenes und damit plattformübergreifendes Bildbearbeitungs- und Bildverarbeitungsprogramm, das von Wayne Rasband entwickelt wird, einem ehemaligen Mitarbeiter der National Institutes of Health. Es wird vielfach für medizinische und wissenschaftliche Bildanalyse genutzt, zum Beispiel das Vermessen von Strukturen auf Mikroskopaufnahmen. Die Funktionalität des Programms kann durch Hunderte von Plug-ins erweitert werden.

<b>Framework</b>	ImageJ
<b>Programmiersprache</b>	Java
<b>Betriebssystem</b>	plattformunabhängig
<b>Lizenz</b>	BSD
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Lernkurve</li> <li>+ plattformunabhängig</li> <li>- Performance</li> <li>- nur Java</li> </ul>

Tabelle 47: Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Ultraschallsensor

### Vlfeat:

Vlfeat ist eine Open-Source Bibliothek welche gängige Computervision Algorithmen implementiert sind. Aufgrund der Effizienz ist die Bibliothek in C geschrieben. Es gibt aber eine Schnittstelle zu Matlab.

<b>Framework</b>	Vlfeat
<b>Programmiersprache</b>	C, Matlab
<b>Betriebssystem</b>	plattformunabhängig
<b>Lizenz</b>	BSD
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Effizienz</li> <li>+ plattformunabhängig</li> <li>+ Performance</li> <li>- Lernkurve</li> </ul>

Tabelle 48: Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Ultraschallsensor

**Zusammenfassung Bildverarbeitung:** Die drei Frameworks ähneln sich stark mit Verwendung ihrer Algorithmen. OpenCV und Vlfeat sind stark auf Effizienz getrimmt, welche für Embedded Systeme geeignet ist. Als erstel Lösungsvariante wird hier das OpenCV Framework aufgrund der Verbreitung und der Effizienz verwendet.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	OpenCV		ImageJ		VLFeat		
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)
Machbarkeit	9.52	4.5	42.86	4	38.10	4.5	42.86	0.00
Einfachheit	5.95	4	23.81	4.5	26.79	4	23.81	0.00
Preis	14.29	5	71.43	5	71.43	5	71.43	0.00
Prozesssicherheit	19.05	4.5	85.71	3.5	66.67	4.5	85.71	0.00
kleiner Bauraum	10.71	5	53.57	5	53.57	5	53.57	0.00
geringes Gewicht	14.29	5	71.43	5	71.43	5	71.43	0.00
Genaugigkeit	26.19	4.5	117.86	4	104.76	4	104.76	0.00
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>466.67</b>		<b>432.74</b>		<b>453.57</b>	

Abbildung 50: Nutzwertanalyse Vision Frameworks

### 7.10.2 Klassifikation

Die eigentliche Intelligenz für die Objekterkennung findet in der Klassifikation statt. Diese findet wie in Abbildung 49 nach der Bildverarbeitung statt. Die Klassifikation findet anhand von Machine- Learning Algorithmen statt. Diese werden im Vorfeld mit bestimmten Modellen trainiert. Wie bei den Bildverarbeitungsframework gibt es auch bei den Machine- Learning Frameworks mittlerweile viele verschiedene. Hier werden drei verschiedene Frameworks angeschaut.

## **OpenCV**

Das OpenCV Framework wurde schon im Abschnitt Bildverarbeitung schon vorgestellt. Der Vorteil von OpenCV ist, dass sowohl Bildverarbeitungsalgorithmen wie auch gängige Machine- Learning Algorithmen vorhanden sind. Diese gängigen ML- Algorithmen reichen für die Anforderungen aus.

<b>Framework</b>	OpenCV
<b>Programmiersprache</b>	C++, Java, Python
<b>Betriebssystem</b>	plattformunabhängig
<b>Lizenz</b>	BSD
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Performance</li><li>+ Konfigurationen</li><li>+ plattformunabhängig</li><li>- Lernkurve</li></ul>

Tabelle 49: Konzeptbeurteilung: Machine- Learning Algorithmen OpenCV

## **Tensorflow**

TensorFlow ist ein Framework zur datenstromorientierten Programmierung. Es wird aus Python-Programmen heraus benutzt und ist in Python und C++ implementiert. Populäre Anwendung findet TensorFlow im Bereich des maschinellen Lernens. In der Forschung und im Produktivbetrieb wird sie derzeit von verschiedenen Teams in kommerziellen Google-Produkten wie Spracherkennung, Gmail, Google Fotos und Google Suche verwendet.

<b>Framework</b>	TensorFlow
<b>Programmiersprache</b>	C++, Python
<b>Betriebssystem</b>	plattformunabhängig
<b>Lizenz</b>	Apache 2.0 open
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Performance</li><li>+ Community</li><li>+ plattformunabhängig</li><li>- Lernkurve</li><li>- Komplexität</li></ul>

Tabelle 50: Konzeptbeurteilung: Machine- Learning Algorithmen Tensorflow

## Caffe

Caffe ist eine Programmzbibliothek für Deep Learning. Sie wurde von Yangqing Jia während seiner Ph.D.-Zeit am Vision and Learning Center der University of California, Berkeley entwickelt. Caffe hat zuerst die MATLAB-Implementierung von schnellen Convolutional Neural Networks (CNN) nach C und C++ portiert. Caffe enthält zahlreiche Algorithmen und Deep-Learning-Architekturen für die Klassifikation und Clusteranalyse von Bilddaten.

<b>Framework</b>	Caffe
<b>Programmiersprache</b>	C++
<b>Betriebssystem</b>	plattformunabhängig
<b>Lizenz</b>	BSD
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Performance</li> <li>+ plattformunabhängig</li> <li>- Lernkurve</li> <li>- Komplexität</li> <li>- Community</li> </ul>

Tabelle 51: Konzeptbeurteilung: Machine- Learning Algorithmen Caffe

**Zusammenfassung Klassifikation:** Alle drei Frameworks verfügen über mächtige ML- Algorithmen und sind auch in ihrer Performance sehr ähnlich. Tensorflow verfügt über eine breite Community, welche in der Entwicklung von ML- Anwendungen helfen können. Doch der Vorteil, dass für die Bildverarbeitung so wie für die Klassifikation mit der gleichen Framework abdecken können, verhilft OpenCV auch im Bereich Klassifikation zum Gewinner. Alle benötigten ML- Algorithmen gibt es auch in OpenCV und so muss man sich nicht mit Konvertierungen und anderen Problematiken beim verwenden von mehreren Frameworks beschäftigen.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	OpenCV		Tensorflow		ScikitLearn		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW		
Machbarkeit	9.52	3.5	33.33	4	38.10	4.5	42.86		0.00
Einfachheit	5.95	4.5	26.79	3.5	20.83	4	23.81		0.00
Preis	14.29	5	71.43	5	71.43	5	71.43		0.00
Prozesssicherheit	19.05	4	76.19	4	76.19	4	76.19		0.00
kleiner Bauraum	10.71	5	53.57	5	53.57	5	53.57		0.00
geringes Gewicht	14.29	5	71.43	5	71.43	5	71.43		0.00
Genauigkeit	26.19	4.5	117.86	4.5	117.86	4.5	117.86		0.00
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>450.60</b>		<b>449.40</b>		<b>457.14</b>		

Abbildung 51: Nutzwertanalyse Klassifikation Frameworks

## 7.11 Objekterkennung

Eine zentrale Disziplin um die Anforderungen zu erfüllen ist die Objekterkennung. Um folgende Objekte handelt es sich:

- Würfel
- Spur
- Signal

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Lösungskonzepte zur Erkennung dieser Objekte erläutert. Am Ende jedes Kapitels wird zusammenfassend die Bewertung erläutert.

### Würfel

Wie in den Anforderungen beschrieben soll im Startbereich einen Würfel auf den Zug beladen werden. Um die Position des Würfel zu bestimmen muss dieser erkannt werden und die Position bestimmt werden. Lösungskonzept "Erkennung mit Ultraschallsensor" und Lösungskonzept "Erkennung mit Stereokamera" werden beschrieben.

### Spur

Eine Anforderung an den Schnellzug ist es so schnell wie möglich fahren zu können ohne zu entgleisen. Damit der Zug vor einer Kurve seine Geschwindigkeit drosseln kann, muss er die Richtungsänderung der Spur erkennen. Lösungskonzept "Mittels Kamera" und Lösungskonzept "Mittels Sensorwagen" werden beschrieben.

### Signal

Das Signal besteht aus einer Tafel, welche am Rand der Gleise aufgestellt werden und auf welcher eine Nummer gedruckt ist. Gemäß Anforderung soll diese Nummer während der Fahrt erkannt werden. Ein zweites und kleineres Signal, welches auch am Rand der Gleise aufgestellt wird, soll erkannt werden und so nah wie möglich mit dem Zug an dem Signal anhalten. Lösungskonzept "Mittels Kamera" und Lösungskonzept "Kombination Ultraschallsensor und Kamera" werden beschrieben.

#### 7.11.1 Objekterkennung: Würfel

Für die Objekterkennung Würfel werden zwei mögliche Lösungskonzepte beschrieben. Die Erkennung mittels Ultraschallsensor und die Erkennung mittels Stereokamera sind zwei mögliche Lösungskonzepte, welche mit unterschiedlichen Disziplinen gelöst werden können (siehe Abbildung 52).

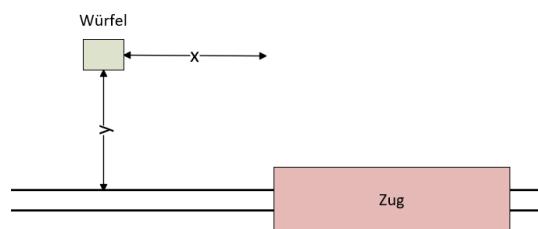


Abbildung 52: Positionsbestimmung des Würfels

### Erkennung mittels Ultraschallsensor

Mittels Ultraschallsensor kann der Würfel erkannt und seine Position ermittelt werden. Der Ultraschallsensor wird seitlich am Zug positioniert und misst kontinuierlich den Abstand. Sobald ein Gegenstand mit der Form und Grösse des Würfels erkennt wird hält der Zug und der Kran kann sich anhand des ermittelten Abstandes positionieren.

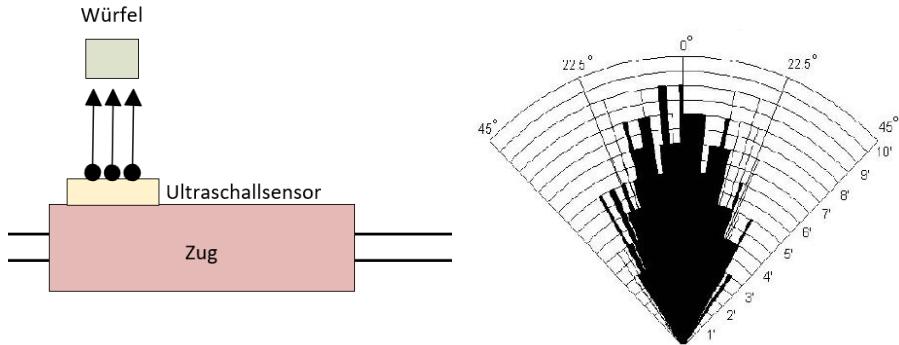


Abbildung 53: Objekterkennung und Positionsbestimmung mittel Ultraschallsensor

<b>Problemstellung</b>	Würfelerkennung
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik
<b>Lösungskonzept</b>	Objekterkennung und Positionsbestimmung mittels Ultraschallsensor
<b>Komponente</b>	Ultraschallsensor HC-SR04
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Schnelligkeit</li> <li>+ Einfachheit</li> <li>+ geringe Kosten</li> <li>- weitere Auswertungslogik nötig</li> <li>- Abstand Zug <math>\Leftrightarrow</math> Würfel limitiert</li> </ul>

Tabelle 52: Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Ultraschallsensor

### Erkennung mittels Stereokamera

Eine weitere Methode den Würfel zu erkennen ist die Objekterkennung mittels Kamera. Hier wird die Kamera am Zug befestigt und mittels Software den Würfel gesucht. Um die Position des Würfels im Raum zu ermitteln, wird eine Stereokamera gebraucht. Damit lassen sich Tiefeninformationen und somit den Abstand vom Zug zum Würfel ermitteln.

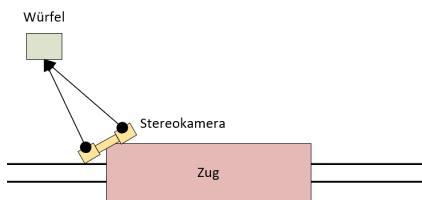


Abbildung 54: Objekterkennung und Positionsbestimmung mittels Stereokamera

<b>Problemstellung</b>	Würfelerkennung
<b>Disziplin</b>	Informatik
<b>Lösungskonzept</b>	Objekterkennung und Positionsbestimmung mittels Stereokamera
<b>Komponente</b>	Intel RealSense
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Hoher Abstandsrange</li> <li>+ Zuverlässigkeit</li> <li>- hohe Kosten</li> <li>- Komplexität</li> <li>- Schnelligkeit</li> </ul>

Tabelle 53: Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Stereokamera

### Zusammenfassung Objekterkennung Würfel:

Gemäss der Bewertungen gilt das Lösungskonzept mit dem Ultraschallsensor als die favorisierende Lösung. Als weitere Entscheidungskriterium wurde eine Nutzwertanalyse wie in Abbildung 55 ersichtlich, durchgeführt. Die Lösungsvariante mit dem Ultraschallsensor ist aufgrund seiner Einfachheit und der geringen Kosten die beste Variante.

### Risikoanalyse:

Die Positionsbestimmung des Würfels ist aufgrund des Variantenentscheids der Mechaniker für den Kran nicht sehr wichtig. Aus diesem Grund sind die Risiken in diesem Bereich klein.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Stereokamera		Ultraschallsensor		Berührungssensor			
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
Machbarkeit	9.52	4	<b>38.10</b>	3.5	<b>33.33</b>	3	<b>28.57</b>		<b>0.00</b>
Einfachheit	5.95	3	<b>17.86</b>	4	<b>23.81</b>	4	<b>23.81</b>		<b>0.00</b>
Preis	14.29	1.5	<b>21.43</b>	4	<b>57.14</b>	3	<b>42.86</b>		<b>0.00</b>
Prozesssicherheit	19.05	3.5	<b>66.67</b>	3.5	<b>66.67</b>	3	<b>57.14</b>		<b>0.00</b>
kleiner Bauraum	10.71	2.5	<b>26.79</b>	3	<b>32.14</b>	2	<b>21.43</b>		<b>0.00</b>
geringes Gewicht	14.29	2	<b>28.57</b>	2.5	<b>35.71</b>	3	<b>42.86</b>		<b>0.00</b>
Genauigkeit	26.19	4	<b>104.76</b>	2.5	<b>65.48</b>	2.5	<b>65.48</b>		<b>0.00</b>
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>304.17</b>		<b>314.29</b>		<b>282.14</b>		

Abbildung 55: Nutzwertanalyse Lösungskonzepte Würfel- Erkennung

### 7.11.2 Spurrichtungserkennung

Die «Spurrichtungserkennung» wird gebraucht um so schnell wie möglich mit dem Zug um die Kurven zu fahren. Mit der «Spurrichtungserkennung» muss der Radius der zu fahrenden Kurve so früh wie möglich erkannt werden, damit der Zug auf die richtige Geschwindigkeit gebracht werden kann. Für diese Problemstellung gibt es eine mechatronische- und eine Informatik Lösung.

### Erkennung mittels Sensorwagen

Bei der mechatronischen Lösung wird vor dem Zug ein kleiner «Sensor- Wagen» gespannt, welcher mittels einer Achse mit dem Zug befestigt ist. Sobald der kleine und leichte «Sensor- Wagen» in die Kurve einfahrt, wird die Achse gedreht und somit kann der Radius der Kurve ermittelt werden.

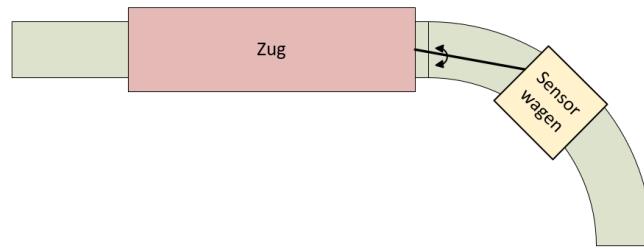


Abbildung 56: Spurrichtungserkennung mittels «Sensor- Wagen»

<b>Problemstellung</b>	Spurrichtungserkennung
<b>Disziplin</b>	Mechatronik
<b>Lösungskonzept</b>	Erkennung mittels «Sensor- Wagen»
<b>Komponente</b>	Eigenbau und (Winkelsensor)
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfachheit</li> <li>+ kostengünstig</li> <li>- Zuverlässigkeit</li> <li>- Auflösung</li> </ul>

Tabelle 54: Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Stereokamera

### Erkennung mittels Kamera

Eine zweite mögliche Lösung wäre der Einsatz einer Kamera. Die Kamera müsste im unteren Teil des Zuges befestigt werden, damit der Spurverlauf gut analysiert werden kann. Wenn die Spur nun die Richtung ändert kann man dies anhand der Kamera feststellen.

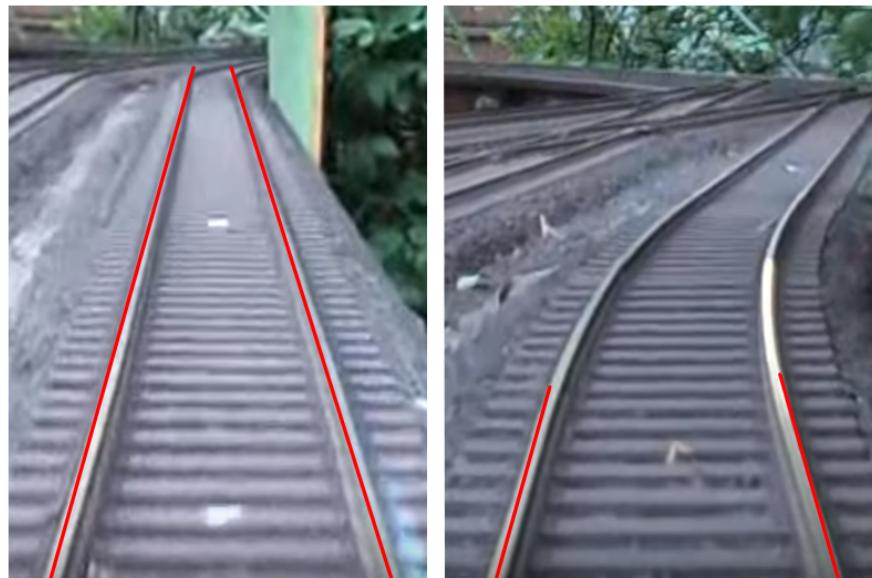


Abbildung 57: Spurrichtungserkennung mittels Kamera

<b>Problemstellung</b>	Spurrichtungserkennung
<b>Disziplin</b>	Informatik
<b>Lösungskonzept</b>	Erkennung mittels Kamera
<b>Komponente</b>	OV5647
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfachheit (Hardware)</li> <li>+ kostengünstig</li> <li>- Zuverlässigkeit</li> <li>- Komplexität (Software)</li> </ul>

Tabelle 55: Konzeptbeurteilung: Würfelerkennung mittels Stereokamera

### Zusammenfassung Objekterkennung Spur:

Bei der Spurerkennung wird auf das Lösungskonzept mit Kamera gesetzt. Die Punkte Einfachheit und Kostengünstig sind die Entscheidungskriterien für den Entscheid. Auch gemäss Nutzwertanalyse 58 erreicht die Lösung mit Kamera am meisten Punkte.

### Risikoanalyse:

Hier besteht ein hohes Risiko im Bereich der Geschwindigkeit. Der Zug soll so schnell wie möglich fahren können. Mit der Kamera und der Spurerkennung und der verwendeten Rechenhardware sind der Geschwindigkeit Limiten gesetzt. Wenn höhere Geschwindigkeiten erreicht werden müssen, muss man auf die alternative Lösung mit Sensorwagen umsteigen.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Kamera		Sensorwagen		Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)						
Machbarkeit	9.52	3.5	33.33	4	38.10			0.00			0.00
Einfachheit	5.95	3	17.86	3	17.86			0.00			0.00
Preis	14.29	3	42.86	2.5	35.71			0.00			0.00
Prozesssicherheit	19.05	4	76.19	4	76.19			0.00			0.00
kleiner Bauraum	10.71	3.5	37.50	2	21.43			0.00			0.00
geringes Gewicht	14.29	4	57.14	2	28.57			0.00			0.00
Genauigkeit	26.19	4	104.76	4.5	117.86			0.00			0.00
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>369.64</b>		<b>335.71</b>			<b>0.00</b>			<b>0.00</b>

Abbildung 58: Nutzwertanalyse Lösungskonzepte Spurerkennung

### 7.11.3 Signalerkennung

Die Signalerkennung besteht aus zwei Teilproblemen. Erstes Teilproblem ist die Erkennung der Tafel, auf welcher die Nummer draufsteht. Die Signaltafel gibt es in zwei Ausführungen - das hohe Signal und das niedrige Signal. Das zweite Teilproblem besteht darin, die auf der Tafel aufgedruckte Zahl zu erkennen.

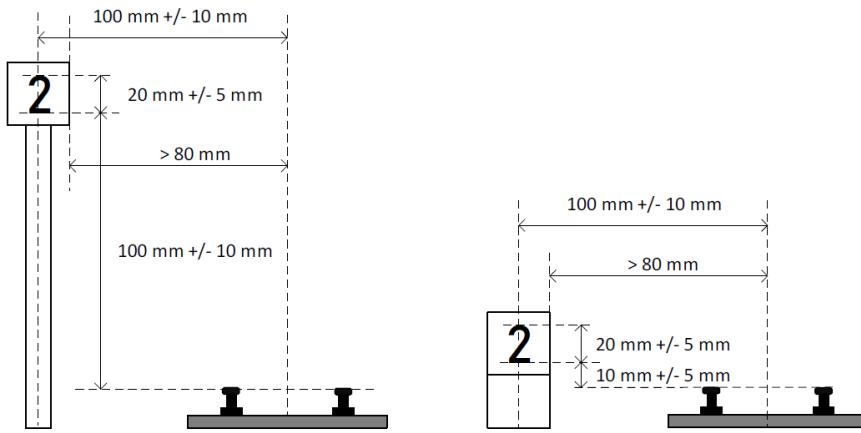


Abbildung 59: Auszug aus der Aufgabenstellung: Signaltafel

Um das Problem «Signalerkennung» zu lösen gibt es eine reine Kamera- Lösung oder eine kombinierte Lösung.

**Erkennung mittels Kamera:** Bei der Informatiklösung setzt man auf eine Objekterkennung mittels Kamera. Die Kamera nimmt während der Fahrt kontinuierlich auf und erkennt wenn ein Signal auftaucht. Anschliessend nimmt die Kamera ein Foto der Tafel auf und analysiert die aufgedruckte Zahl.

Problemstellung	Signalerkennung
Disziplin	Informatik
Lösungskonzept	Erkennung mittels Kamera
Komponente	OV5647
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfachheit (Hardware)</li> <li>+ kostengünstig</li> <li>- Schnelligkeit</li> <li>- Komplexität (Software)</li> </ul>

Tabelle 56: Konzeptbeurteilung: Signalerkennung mittels Kamera

**Erkennung mittels Ultraschallensor und Kamera:** Bei der kombinierten Lösung wird das Gesamtproblem in ihre Teilprobleme aufgeteilt und jedes Teilproblem individuell gelöst. Zur Erkennung der Tafel wird der Ultraschallsensor verwendet. Dieser an der Seite des Zuges angebrachte Sensor detektiert die Tafel und sendet ein Signal zur Kamera. Die Kamera nimmt dann ein Bild von der Tafel auf und analysiert die Zahl.

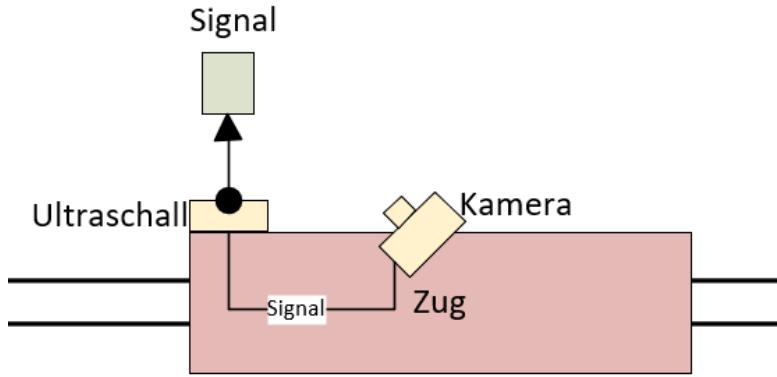


Abbildung 60: Signalerkennung mittels Ultraschallsensor und Kamera

<b>Problemstellung</b>	Signalerkennung
<b>Disziplin</b>	Elektrotechnik - Informatik
<b>Lösungskonzept</b>	Erkennung mittels Ultraschallsensor und Kamera
<b>Komponente</b>	HC-SR04 / OV5647
<b>Bewertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Schnelligkeit</li> <li>+ Einfachheit</li> <li>+ Zuverlässigkeit</li> <li>- Aufwand (Hardware)</li> <li>- Kosten</li> </ul>

Tabelle 57: Konzeptbeurteilung: Signalerkennung mittels Ultraschallsensor und Kamera

**Zusammenfassung Objekterkennung Signal:** Bei der Signalerkennung wird auf das Konzept mit der kombinierten Lösung gesetzt. Dies aus dem Grund, dass es schwierig ist eine vernünftige Geschwindigkeit mit dem Zug zu erreichen und gleichzeitig eine zuverlässige Signalerkennung mittels Kamera zu gewährleisten. Hier wird bewusst der Mehraufwand für die Hardware in Kauf genommen. **Risikoanalyse:** Das Risiko wird hier aufgrund der zusätzlichen Absicherung mittels Ultraschallsensor bezüglich Geschwindigkeit minimiert.

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	Kamera only		Kamera & Ultraschall		Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW (NW)
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW				
Machbarkeit	9.52	3.5	33.33	4	38.10		0.00		0.00
Einfachheit	5.95	2	11.90	3	17.86		0.00		0.00
Preis	14.29	4	57.14	3	42.86		0.00		0.00
Prozesssicherheit	19.05	3.5	66.67	4.5	85.71		0.00		0.00
kleiner Bauaufbau	10.71	3.5	37.50	3	32.14		0.00		0.00
geringes Gewicht	14.29	4	57.14	3	42.86		0.00		0.00
Genaugigkeit	26.19	3	78.57	4	104.76		0.00		0.00
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>342.26</b>		<b>364.29</b>		<b>0.00</b>		<b>0.00</b>

Abbildung 61: Nutzwertanalyse Lösungskonzepte Signal- Erkennung

## 7.12 Software Architektur Konzept

Das Konzept der Software Architekutur beinhaltet zwei verschiedene Konzepte. Einerseits gibt es ein Konzept welches mehrere Programme beinhaltet welche über eine Middleware miteinander kommunizieren.

Andererseits ein Konzept welches aus verschiedenen Komponenten besteht die über Interfaces miteinander interagieren.

### 7.12.1 Software Architektur mit verschiedenen Komponenten

Die Software Architektur besteht aus mehreren Komponenten welche möglichst unabhängig sein sollen und welche mithilfe von Interfaces interagieren. Es muss sich auf eine Programmiersprache geeinigt werden oder es müssen kleine Wrapper geschrieben werden um beispielsweise C++ Code von Python Code anzusprechen. Das Testen kann über Unit Tests mit den Interfaces bewerkstelligt werden. Gemeinsamen Code wird in einer Bibliothek entwickelt.

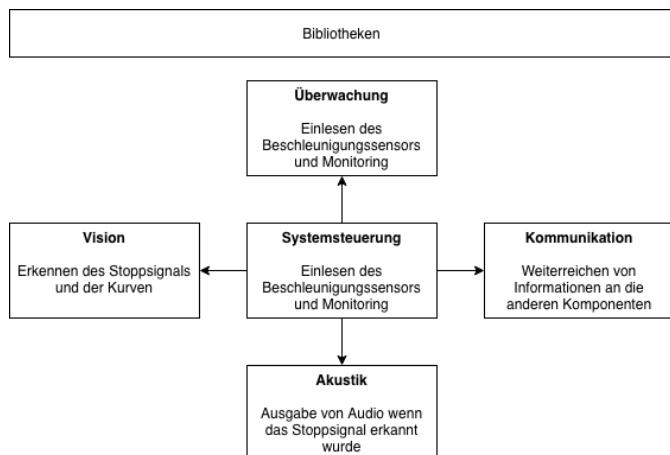


Abbildung 62: Software Architektur Komponenten. Gezeichnet mit <https://draw.io>

#### Legende:

- Die Pfeile visualisieren die Abhängigkeiten innerhalb der Architektur.
- Die Abhängigkeit zu den Bibliotheken wurde bewusst weggelassen um das Bild übersichtlich zu halten

### 7.12.2 Software Architektur mit Middleware

Die Software Architektur mit Middleware besteht aus mehreren Programmen welche unabhängig gestartet werden. Sie kommunizieren über eine Middleware miteinander. Dies ermöglicht den Einsatz von verschiedenen Programmiersprachen und vereinfacht die Implementierung, da die einzelnen Programme über die Middleware unabhängig getestet werden können. Um gemeinsamen Code zu teilen wird eine Bibliothek erstellt welche von allen Programmen benutzt werden kann.

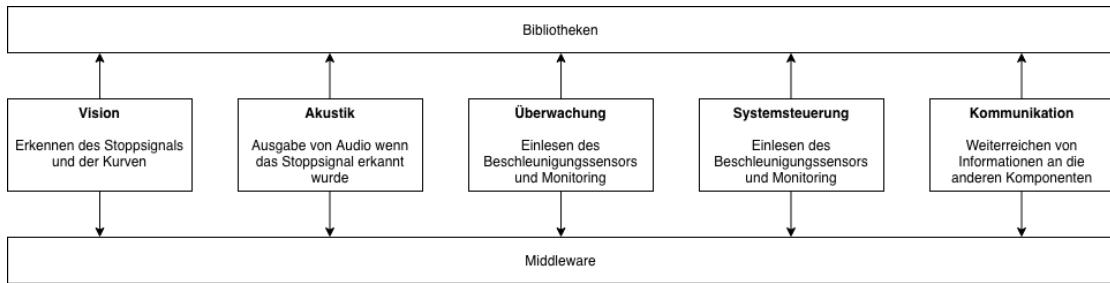


Abbildung 63: Software Architektur Middleware. Gezeichnet mit <https://draw.io>

#### Legende:

- Die Pfeile visualisieren die Abhängigkeiten innerhalb der Architektur

#### 7.12.3 Nutzwertanalyse

Beurteilungskriterien (BK)	Gewichtung BK (GBK)	SW mit Middleware		SW mit Komponenten		gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW
		Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW	Nutzwert (NW)	gew. Nutzwert GNW= GBK*NW				
Verschiedene Programmiersprachen	15.00	4	60.00	2	30.00				
Testbarkeit	35.00	3.5	122.50	3	105.00				
Wiederverwendbarkeit	15.00	3.5	52.50	3	45.00				
Geschwindigkeit	35.00	2.5	87.50	3.5	122.50				
<b>Gesamtnutzen</b>	<b>100.00</b>		<b>322.50</b>		<b>302.50</b>				

Abbildung 64: Nutzwertanalyse Steuerungssoftware

#### 7.12.4 Risiken

##### Risiken Architektur mit Middleware

- Schlechte Geschwindigkeit wegen Middleware
- Probleme wegen mehrere Prozessen

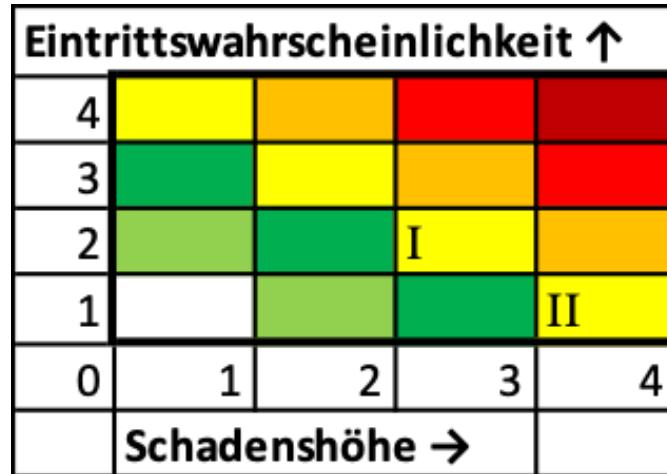


Abbildung 65: Risikomatrix Steuerungssoftware Middleware

##### Risiken Architektur mit Komponenten

- Komplexität weil Monolith

II Komplexere Testbarkeit

Eintrittswahrscheinlichkeit ↑					
4					
3					
2			II		
1	I				
0	1	2	3	4	
Schadenshöhe →					

Abbildung 66: Risikomatrix Steuerungssoftware Komponenten