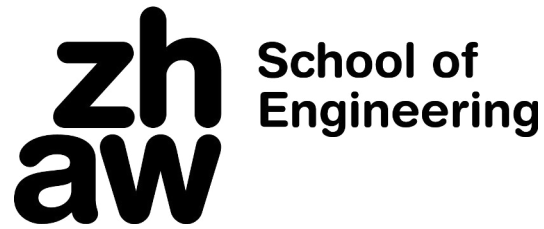


Zürich University  
of Applied Sciences



# Projektarbeit

## Robotisches Glätten eines Beachvolleyballfeldes

Niculin Lutz, Christoph Gugg

19. Dezember 2013

### Betreuer

Dr. Joachim Wirth, Dr. Mark Cieliebak

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften - School of Engineering

---

## Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Projektarbeit an der School of Engineering

Mit der Abgabe dieser Projektarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat. (Bei Gruppenarbeiten gelten die Leistungen der übrigen Gruppenmitglieder nicht als fremde Hilfe.)

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle zitierten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt nachgewiesen sind, d.h. dass die Projektarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten die Paragraphen 39 und 40 (Unredlichkeit und Verfahren bei Unredlichkeit) der ZHAW Prüfungsordnung sowie die Bestimmungen der Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum

Christoph Gugg

.....

.....

Niculin Lutz

.....

---

## Abstract Deutsch

Während eines Volleyballspiels wird der Sand im Feld ungleich verteilt. Dies stört die Spieler bei ihrem Spiel und das Feld von Hand zu rechen ist sehr arbeitsintensiv. Diese Projektarbeit befasst sich mit der Entwicklung eines mobilen Roboters, welcher autonom Unebenheiten in einem Beachvolleyballfeld glätten kann. Eine Gruppe von zwei Studenten haben im Verlauf einer Semesterarbeit verschiedene Glättungsmethoden evaluiert. Zudem wurde ein steuerbarer Prototyp konstruiert und gefertigt, mit welchem das Werkzeug auf dem Sandfeld angewendet werden kann. Alleine ein bestehender fahrbarer Roboter wurde als Basis zur Verfügung gestellt. Nach der Evaluation wurden mit Hilfe der CAD-Software CATIA die notwendigen Teile für den Prototypen konstruiert. Parallel dazu dimensionierte das Team sämtliche Aktoren und entwickelte eine Software mit einer Benutzeroberfläche zur Ansteuerung des Werkzeugmoduls. Der Softwarecode wurde in Python geschrieben und auf einem Raspberry Pi implementiert. Die Arbeit resultierte in einem funktionsfähigen Prototypen, mit welchem die ersten Glättungsversuche auf dem Sandfeld möglich sind. Durch die Arbeit hat sich gezeigt, wo die Schwierigkeiten eines mobilen Glättungsroboters liegen und wo seine Grenzen sind.

## Abstract English

During a beach volleyball game sand is scattered in an irregular way such that it is disturbing for the players. It is hard work to level the field manually. This project work covers the development of a mobile robot which is capable to level a beach volley field autonomously. A group of two students evaluated different methods of leveling during a semester. Additionally a prototype was constructed and manufactured to make use of the evaluated tool. Only a steerable robot was provided by the Institute of Mechatronic Systems. After research and tests in real surroundings the best tool was evaluated. The prototypes parts were constructed using the CAD software tool CATIA. As a further step all motors had been dimensioned and a software for controlling including a user interface was developed. The software code is written in Python and implemented on a Raspberry Pi. The work resulted in a functional prototype. Final tests have shown that it is possible to do the first steps in leveling a beach volley field. The work pointed out the difficulties of a mobile level-robot in a sand field and determined the limits of possibility.

**Niculin Lutz, Christoph Gugg:**

*Robotisches Glätten eines Beachvolleyballfeldes*

Projektarbeit

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Projektperiode: 16. September 2013 - 20 Dezember 2013





---

## Vorwort

Schon früh haben wir, Niculin Lutz und Christoph Gugg, zwei Studenten aus dem Studiengang Elektrotechnik gewusst, dass wir unsere Projektarbeit im Bereich der Robotik absolvieren möchten. Die Nacht der Technik an der ZHAW erschien uns als geeignet, erste Kontakte diesbezüglich zu knüpfen, und in Erfahrung zu bringen welche Projekte für das kommende Semester ausgeschrieben sein würden. Die von Herrn Dr. Joachim Wirth ausgeschriebenene Arbeit erweckte, unter einigen anderen interessanten Angeboten, unser besonderes Interesse. Wir haben diese Arbeit gewählt, weil es uns beiden Spass macht durch kreatives Denken Neues zu erfinden und Probleme zu lösen. Wir wollen uns im Bereich der Robotik und Mechanik weiterentwickeln und einen Einblick in die Welt der Systemtechnik erhalten.

Wir möchten an dieser Stelle unserem Betreuer Dr. Joachim Wirth für seine Unterstützung und die interessante Arbeit danken. Wir konnten in diesem Projekt einige neue Dinge dazulernen. Einen weiteren Dank möchten wir unserem Nebenbetreuer Dr. Mark Cieliebak aussprechen, der die Vision des Beachvolleyballroboters erschaffen hat. Ebenfalls sind wir Chris Henschel und Coray Men Duri für ihre Unterstützung im Bereich Motoren und Forbot dankbar. Den letzten grossen Dank richten wir an das ganze Laborteam, welches uns tatkräftig unterstützt hat und ratgebend zur Seite stand. Neben der Fertigung zahlreicher Konstruktionsteile stellten sie auch die finanziellen Mittel für die Projektarbeit zur Verfügung.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung . . . . .	1
1.2	Vision . . . . .	1
1.3	Auftrag . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>2</b>
2.1	Evaluation . . . . .	2
2.1.1	Grundideen . . . . .	2
2.1.2	Reale Bedingungen . . . . .	3
2.1.3	Werkzeug . . . . .	4
2.1.3.1	Recherche . . . . .	5
2.1.3.2	Umsetzung . . . . .	6
2.1.3.3	Selektion . . . . .	10
2.2	Mechanik . . . . .	12
2.2.1	Forbot . . . . .	12
2.2.2	Grundgerüst . . . . .	13
2.2.3	Werkzeugmodul . . . . .	13
2.2.3.1	Kreuz . . . . .	14
2.2.3.2	Drehtafelhalterungen . . . . .	14
2.2.3.3	Bürsten- und Motorhalterung . . . . .	15
2.2.3.4	Bürste . . . . .	16
2.2.4	Motoren . . . . .	17
2.2.4.1	Spindelmotor . . . . .	17
2.2.4.2	Schrittmotor . . . . .	17
2.2.4.3	Brushless DC . . . . .	18
2.3	Software . . . . .	20
2.3.1	Raspberry Pi . . . . .	20
2.3.2	I/O-Board . . . . .	21
2.3.3	Benutzeroberfläche . . . . .	21
2.3.4	Software Implementation . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Resultate</b>	<b>24</b>
3.1	Auswertung . . . . .	24
3.2	Kritik . . . . .	25

<b>4 Zusammenfassung</b>	<b>26</b>
4.1 Resultate . . . . .	26
4.2 Rückblick . . . . .	26
4.3 Ausblick . . . . .	27
<b>A Anhang</b>	<b>32</b>
A.1 Offizielle Aufgabenstellung . . . . .	33
A.2 Zeitmanagement . . . . .	36
A.3 Konstruktionszeichnungen . . . . .	37
A.4 Handskizzen . . . . .	54
A.5 Software Code . . . . .	56

# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung

Beachvolleyball ist eine attraktive Sommersportart, bei der sich im Gegensatz zum ursprünglichen Volleyball zwei Teams zu je zwei Spielern in einem Sandfeld gegenüberstehen. Dabei bewegen sich die Spieler auf dem Feld und spielen sich taktisch geschickt den Ball zu um dann zu einem geeigneten Abschluss zu kommen und den Ball über das Netz ins gegnerische Feld zu schlagen. Es bewegen sich jedoch nicht nur Spieler und Ball. Auch der Sand wird durch die Spieler bewegt und dies führt dazu, dass sich der Sand an gewissen Orten ansammelt - zum Beispiel unter dem Netz oder am Rand des Spielfeldes. In den Bereichen, in denen sich die Spieler am meisten aufhalten, bilden sich hingegen tiefe Täler. Dies ist unerwünscht und stört den Beachvolleyballspieler bei seinem Spiel. Die Höhenunterschiede können dabei bis zu 40 cm gross werden. Sand hat eine grosse Dichte und somit ist selbst das Glätten von Hand mit dem Rechen eine anstrengende und kräfteaubende Arbeit.

## 1.2 Vision

Es ist aufgrund der im Abschnitt 1.1 beschriebenen Problemstellung interessant, einen mobilen Roboter zu entwickeln, welcher die Arbeit des Glättens übernehmen würde. Er soll in einer Spielpause oder am Ende eines Turniers zum Einsatz kommen und völlig autonom den Sand des Feldes wieder gleichmässig verteilen. Dafür muss der Roboter die ungleichmässige Sandverteilung auf dem Spielfeld erkennen können. Zudem muss er über geeignete Werkzeuge verfügen um den Sand zu transportieren und das Spielfeld zu ebenen.

## 1.3 Auftrag

Diese Projektarbeit, welche sich mit der in Abschnitt 1.1 beschriebenen Problemstellung befasst ist als Machbarkeitsstudie, beziehungsweise als Forschungsprojekt zu bewerten. Es soll gezeigt werden welche realen Bedingungen auf einem Beachvolleyballfeld angetroffen werden und welche Werkzeuge sich prinzipiell eignen um grosse Mengen Sand zu bewegen. Zudem soll anhand dieser Untersuchungen ein Mechanismus zur optimierten Planierung entwickelt werden. Schliesslich sollen Messungen und Tests auf dem Beachvolleyballfeld Aufschluss geben über die Güte des entwickelten Moduls und über sein Verbesserungspotenzial. Zuversichtlich, motiviert und bereits voller Ideen gehen wir an die Lösung der uns gestellten Aufgabe und sind gespannt welche Lösung sich am Ende unsere Studie als Beste erweist.

## 2 Methoden

### 2.1 Evaluation

#### 2.1.1 Grundideen

Um konkrete, kreative Ideen für ein Werkzeug entwickeln zu können müssen alle Möglichkeiten des Sandtransports, ohne vorgängige Einschränkungen durch die Projektrahmenbedingungen, in Betracht gezogen werden. Die Suche nach möglichen Lösungsansätzen erfolgte mittels Brainstorming, und ergab das Mind-Map in Abbildung 2.1.

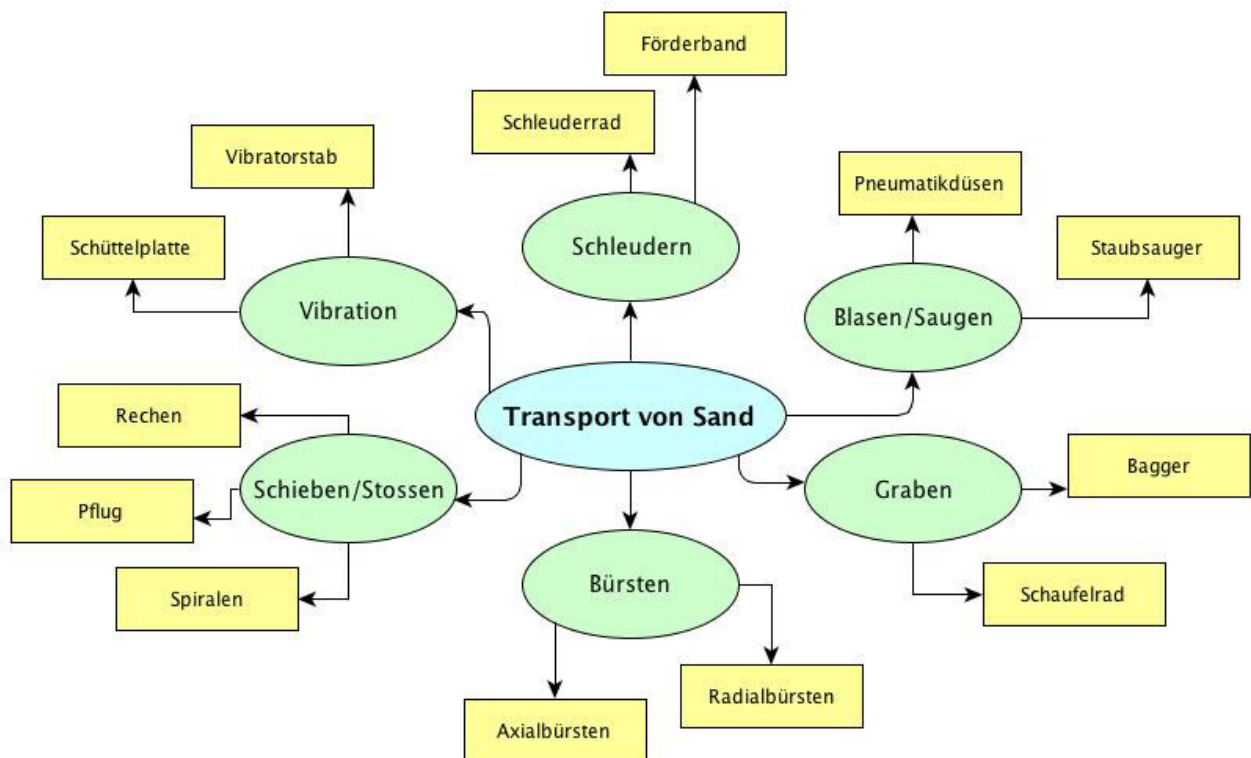


Abbildung 2.1: Ansätze

Der Vollständigkeit halber, werden bereits hier die, bei der Vergabe der Projektarbeit, vorgegebenen

Rahmenbedingungen erwähnt. So war bereits von Anfang an festgelegt, dass das zu entwickelnde Werkzeug auf einem bereits bestehenden Roboter-Untersatz (Abbildung 2.2) anzubringen ist. Genauere Angaben zu diesem Gefährt sind im Abschnitt 2.2.1 beschrieben.

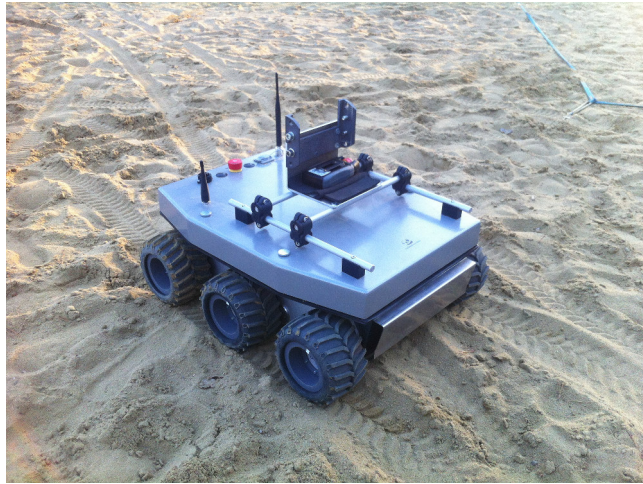


Abbildung 2.2: Mobiler Roboter als fahrbarer Untersatz

### 2.1.2 Reale Bedingungen

Für die erste Evaluation der Gegebenheiten, wurde der gepflegte Beachvolleyballplatz am Deutweg in Winterthur untersucht. Im ersten Schritt galt es, die Unebenheiten auszumessen und deren Lage zu beschreiben. In der Abbildung 2.3 erkennt man durch die Farben, dass sich unter dem Netz (rechts in der Grafik) einen Hügel bildet, während sich in der Mitte des Halbfeldes am wenigsten Sand befindet. Für eine übersichtliche Darstellung wurden zusätzliche Punkte interpoliert. An den Aussenlinien der Felder treten hingegen nur stellenweise Erhöhungen auf. Neben der Unebenheit des Feldes sind die Dichte des Sandes und dessen Festigkeit ausschlaggebend für die Werkzeugevaluation.

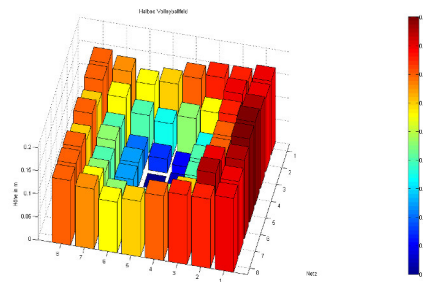


Abbildung 2.3: Beachvolleyballplatz

Die Dichte von trockenem und lockerem Sand beträgt  $1600 \text{ Kg/m}^3$ , während die von feuchtem und lockerem Sand nur  $1450 \text{ Kg/m}^3$  beträgt. Diese Differenz rührt daher, dass der feuchte Sand, ohne Druck, nicht so kompakt ist wie der trockene Sand. Jedoch ist zu erwarten, dass der feuchte Sand in den tieferen Schichten auf dem Feld eine leicht höhere Dichte als jene des darauf liegenden trockenen Sandes aufweist. In einer ersten Übersichtsrechnung, zur Bestimmung der Masse des zu bewegenden Sandes wurde ein Wert von über zwei Tonnen Sand ermittelt.

$$\text{Länge} * \text{Breite} * \frac{\text{mittlereHöhendifferenz}}{2} * \text{Dichte} = \text{Gewicht}$$

$$8m * 8m * \frac{0.042m}{2} * 1600 \frac{Kg}{m^3} = 2150Kg$$

Naheliegender und einfach erschien die Idee, die Unebenheiten im Sand durch schieben auszugleichen. Deswegen wurden Zugkraftmessungen und Festigkeitsmessung durchgeführt. Es wurden normierte Platten senkrecht in den Sand platziert und mit einer speziellen Einrichtung waagrecht durch den Sand gezogen. Die benötigten Zugkräfte sind in der Tabelle 2.4 ersichtlich. Die Messung hat schnell gezeigt, dass ein Schieb/Zieh-Werkzeug zum transportieren grosser Sandmengen ungeeignet ist.

Nach Bestimmung aller Umgebungseigenschaften wurde der Forbot selbst untersucht. Er wurde über alle möglichen Geländeunebenheiten, die auf einem Feld auftauchen können, gefahren. Dabei zeigte sich, dass er mit steilen Anstiegen und grösseren Unebenheiten sehr gut klar kommt. Jedoch ist durch seine geringe Bodenfreiheit das Risiko gross, dass er auf schmale, aber hohe Hügel aufsetzt. Die Zugkraft des Forbots, bevor seine Räder durchdrehen, beträgt auf einem geraden Feld um die 100 Newton. Die fahrbare Last auf dem Forbot liegt über 80 Kg und erlaubt grosse Freiheiten beim Aufbau.



(a) Versuchsaufbau

Sand/Fläche	10cm*9cm	15cm*9cm
Trocken	30N	50N
Feucht	60N	>100N

(b) Zugmessung

Abbildung 2.4: Zwei verschiedene Bürsten

### 2.1.3 Werkzeug

Um ein Beachvolleyballplatz zu glätten, braucht es in Anbetracht der in Abschnitt 1.1 erläuterten Situation, ein relativ universelles Werkzeug. Es muss einerseits in der Lage sein, lokale Unebenheiten zu glätten und andererseits, globale Niveauunterschiede auszugleichen. Ersteres ist mit wenig Kraftaufwand und somit mit simplen Werkzeugen wie Bürsten, Rechen, und Ähnlichem zu realisieren. Bei der Behebung von globalen Niveauunterschieden, stellt sich hingegen die Frage nach einer effizienten Methode den Sand über grössere Strecken zu transportieren. In Betracht dieser beiden unterschiedlichen Anforderungen wurde nach einer, bereits in der Praxis erprobten, technischen Lösung gesucht. Im Folgenden sind einige dieser, bei ähnlichen Problemstellungen eingesetzten, Lösungs-Anwendungen zu sehen, welche als Vorbild oder aber auch als Denkanstoss für weitere Ideen dienen.



### 2.1.3.1 Recherche

#### **Schneefräse**

Die Schneefräse besitzt zwei interessante Mechanismen. Zum einen wird der Schnee durch die Schnecke von aussen in die Mitte befördert. Andererseits vermag sie durch ein Schleuderrad den Schnee einige Meter weit zu katapultieren. Abbildung 2.5 zeigt eine solche Schneefräse.



Abbildung 2.5: Schneefräse [1]

#### **Bagger**

Ein Bagger hat den Vorteil, dass er den Dreck an einer Stelle abtragen und an einer anderen Stelle hinlegen kann. Es gibt verschiedene Ausführungen der Schaufel sowie der Gelenke eines Baggers. Somit finden ganz verschiedene Bagger ihre Anwendung. Der Nachteil eines Baggers ist, dass er sich die meiste Zeit in einem Zustand befindet in welchem er den Dreck von A nach B bewegt. In dieser Zeit wird kein Dreck abgetragen, was den Durchsatz eines Baggers senkt. Abbildung 2.6 zeigt zwei verschiedene Ausführungen von Baggern.



(a) Raupenbagger[2]



(b) Greifbagger[3]

Abbildung 2.6: Zwei unterschiedliche Bagger



### **Schaufelradbagger**

Im vorhergehenden Abschnitt über den Bagger wurde der niedrige Durchsatz erwähnt. Beim Schaufelradbagger wurde versucht ein Bagger zu konstruieren, der stetig Material abtragen und wegbefördern kann. Schaufelradbagger werden im Tagebau angewendet. Er besteht im wesentlichen aus einem Schaufelrad einem schwenkbaren Arm und Förderbändern, die das Material wegtragen und zur weiteren Verarbeitung bringen. Der Schaufelradbagger besteht vor allem durch seine Idee mehrere Schaufeln rotieren zu lassen und mit Förderbändern zu arbeiten. Abbildung 2.7 zeigt einen Schaufelradbagger.



Abbildung 2.7: Schaufelradbagger [4]

### **Strassenputzmaschine**

Die Strassenputzmaschine befördert zwar nur wenig Material, ist jedoch mit stattlichen Werkzeugen ausgerüstet. Die runden rotierenden Bürsten könnten ebenfalls geeignet sein um Sand abzutragen. In Abbildung 2.8 ist eine Strassenputzmaschine abgebildet.



Abbildung 2.8: Strassenputzmaschine [5]

#### **2.1.3.2 Umsetzung**

Da das gesuchte Werkzeug auf einem gegebenen Roboter installiert werden soll, sind dessen Dimensionen und Leistungsaufnahme bereits von Anfang an ungefähr definiert. Es war nun Kreativität gefragt um aus den vorhandenen technischen Anwendungen verschiedene Varianten abzuleiten und diese zu skizzieren

und damit eine Evaluation zu ermöglichen. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten der entstandenen Ideen gezeigt und diskutiert. Die Gesamtheit der Ideen ist in den Anhängen zu finden. Abbildungen 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 und 2.14 zeigen die Skizzen der Ideen. Obwohl die verschiedenen Methoden verschiedene Namen tragen, und als Einzellösungen präsentiert werden, ist darauf zu achten, dass sie grundsätzlich alle aus einer Kombination von austauschbaren Grundmodulen oder Grundfunktionen aufgebaut sind. Dabei gibt es immer ein Grundmodul, wie zum Beispiel eine Schaufel oder Bürste, das direkt mit dem Sand in Kontakt steht und dazu dient diesen einzusammeln. Zusätzlich kann es ein Modul geben, das zum Zweck hat, den eingesammelten Sand umgehend an den geeigneten Ort weiter zu befördern. Beispiele hierfür sind Förderbänder oder Schleuderräder. Alternativ zur sofortigen Weiterbeförderung des Sandes, kann stattdessen auch ein Modul eingesetzt werden, welches den eingesammelten Sand zuerst speichert und nach dem Transport mit dem Roboter an geeigneter Stelle wieder ablädt.

### ***Baggerband***

Die Methode “Baggerband” ist mit einem Förderband ausgestattet an welchem sich kleine Schaufeln befinden. Der Sand wird so bei Bedarf von vorne in einen Tank auf dem Roboter transportiert. Dieser Tank wird an Stellen mit viel Sand gefüllt und an Stellen mit wenig Sand geleert.

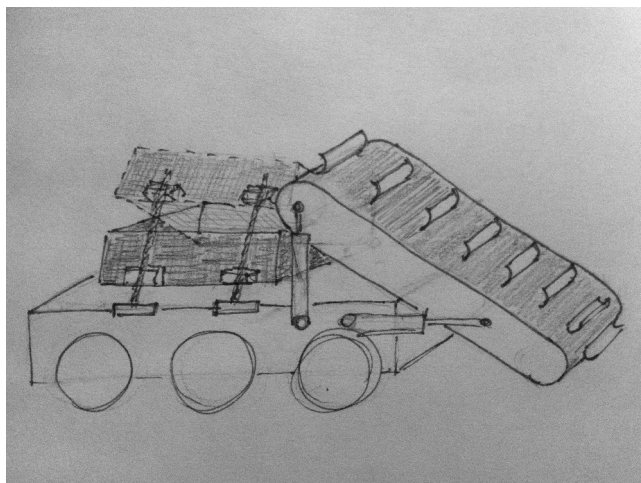


Abbildung 2.9: Erste Skizze der Baggerband-Methode

### ***Schaufelrad***

Die Methode “Schaufelrad” ist mit einem Schaufelrad bestückt, welches sich an einem schwenkbaren Arm befindet. Zudem verfügt die Methode über zwei Förderbänder. Der Sand wird zuerst durch das sich drehende Schaufelrad auf das erste Förderband transportiert. Das zweite Förderband befindet sich am hinteren Ende des Roboters. Es ist schwenkbar und rotiert mit variabler Geschwindigkeit. Dadurch lässt sich der Sand in geeignete Richtungen unterschiedlich weit schleudern.

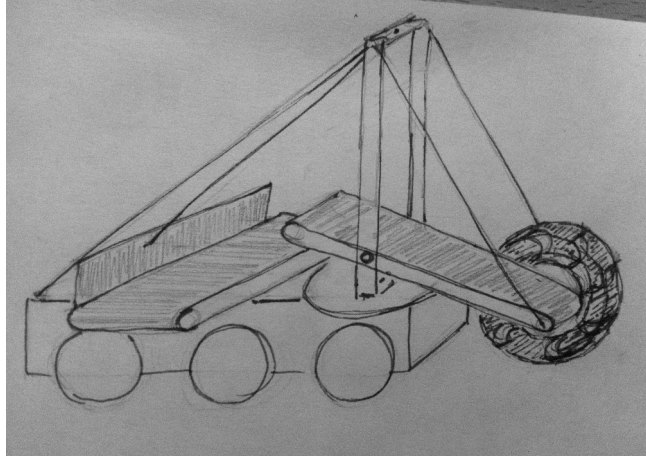


Abbildung 2.10: Erste Skizze der Schaufelrad-Methode

### **Fräser**

Mit der Methode “Fräser” wird durch eine rotierende Schnecke am vordere Ende des Roboters Sand in die Mitte eines Spiral-Förderbandes gebracht. Dieses sorgt, wie in vorherigem Abschnitt beschrieben, für eine geeignete Verteilung.

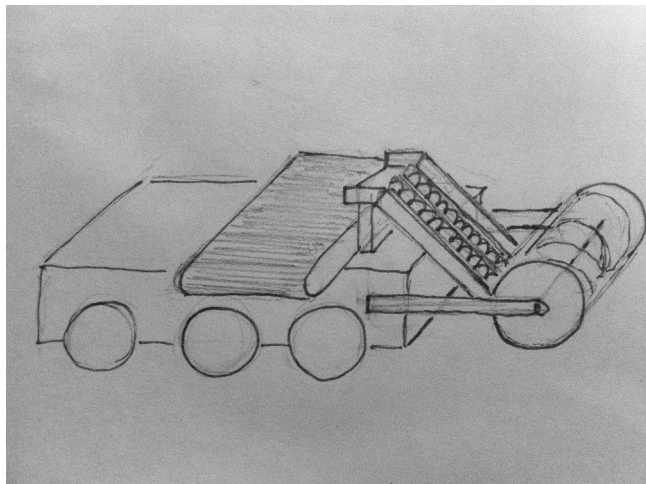


Abbildung 2.11: Erste Skizze der Fräser-Methode

### **Putzmaschine**

Die Methode “Putzmaschine” ist mit zwei Bürsten ausgerüstet, deren Drehzahl und Drehrichtung, ebenso wie deren Neigungswinkel, verstellbar sind. Sie sind vorne am Roboter montiert. Mit geeigneten Einstellungen lässt sich der Sand beispielsweise von links nach rechts oder direkt nach vorne schleudern.

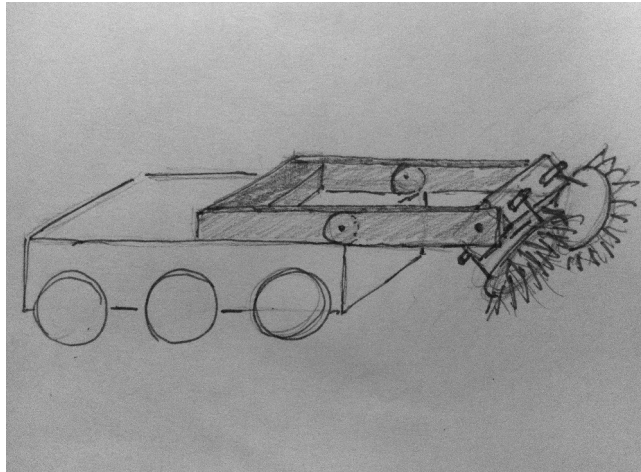


Abbildung 2.12: Erste Skizze der Putzmaschinen-Methode

### **Spirale**

Die Methode “Spirale” besitzt einen Vorbau, der über den Roboter hinausragt und arbeitet nach dem Prinzip der “archimedischen Schraube”. Unter diesem Vorbau befindet sich an einem Drehteller eine Batterie von sich drehenden Spiralen. Der Drehteller lässt sich zusätzlich in der Höhen-Achse verschieben und erlaubt es dadurch den Sand vor dem Roboter durch schnelles Drehen der Spiralen in beliebige Richtungen zu verschieben.

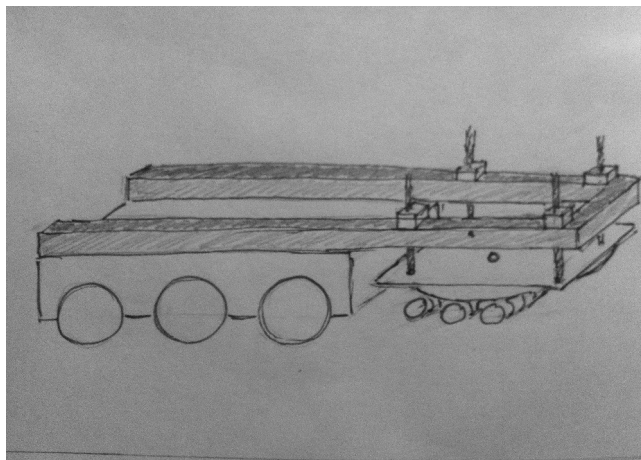


Abbildung 2.13: Erste Skizze der Spiralen-Methode

### **Walze**

Mit der Methode “Walze” wird der Sand durch eine Drehzahlvariable Bürste in Form einer Walze vor dem Roboter weggeschleudert. Die Bürste kann dabei gedreht und in der Höhen-Achse verschoben werden.

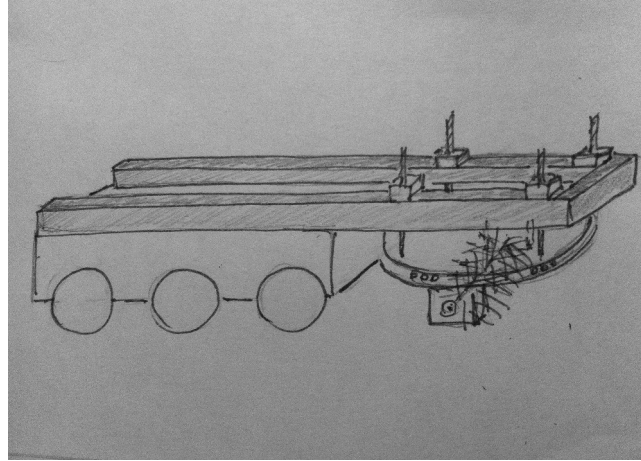


Abbildung 2.14: Erste Skizze der Walzen-Methode

### 2.1.3.3 Selektion

Erste Recherchen bezüglich der Machbarkeit und Kosten haben gezeigt, dass Förderbänder sehr teuer sind. Zudem wurde der Aufwand ein Förderband selbst herzustellen als zu gross eingeschätzt. Aus diesem Grund wurde versucht das Werkzeugmodul ohne Förderband zu konstruieren. Weitere Kriterien wie etwa der Durchsatz des Werkzeugs, Genauigkeit der Methode oder Umsetzbarkeit der Konstruktion wurden untersucht und bei den verschiedenen Lösungs-Ansätzen evaluiert. Abbildung 2.15 zeigt den morphologischen Kasten mit der Auswertung. Im Kapitel 2.1.3.2 wurden nicht alle Umsetzungsvarianten aufgeführt, welche in der Abbildung 2.15 bewertet wurden. Im Anhang befinden sich die Skizzen von allen Varianten.

Evualationskriterien	Bagger	Greifbagger	Fräser	Putzmaschine	Doppelschaufel	Walze	Baggerband	Spiralbohrer	Schaufelrad	Putzschaufler	Pflug
Produktionsaufwand	Note: K.O. 2	Note: K.O. 1	Note: K.O. 3	Note: K.O. 3	Note: K.O. 2	Note: K.O. 3	Note: K.O. 2	Note: K.O. 2	Note: K.O. 1	Note: K.O. 1	Note: K.O. 4
Förderbare Sandmenge	1	1	4	3	2	4	4	1	3	3	1
Kraft-/Energieaufwand	2	2	1	3	2	3	2	3	2	1	1
Transportweg	3	3	4	1	3	1	3	3	3	3	1
Genauigkeit	4	4	3	1	4	2	3	3	3	3	1
Menge der Aktoren	2	2	2	3	2	3	3	1	1	2	4
Tank vorhanden	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2
Robustheit	3	1	3	4	3	3	2	3	1	2	4
Präferenz Team2	3	3	4	2	2	2	4	3	4	2	1
Kosten	3	2	1	4	3	3	1	1	1	1	4
<b>Gesamt</b>	<b>2.5 K.O.</b>	<b>2.2 K.O.</b>	<b>2.7 K.O.</b>	<b>2.6</b>	<b>2.5</b>	<b>2.6</b>	<b>2.6 K.O.</b>	<b>2.2 K.O.</b>	<b>2.1 K.O.</b>	<b>2.1 K.O.</b>	<b>2.3 K.O.</b>

Legende:	1	schlecht
	2	eher schlecht
	3	eher gut
	4	gut

Abbildung 2.15: Morphologischer Kasten



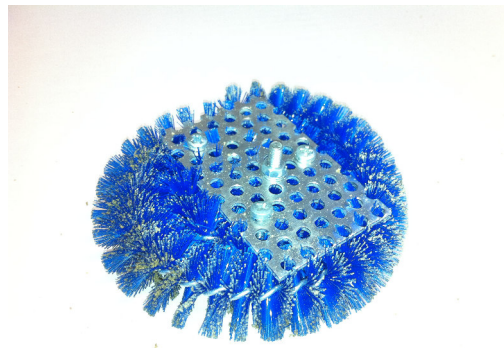


Abbildung 2.16: Top 3 Varianten

Es hat sich gezeigt, dass die Methoden Walze, und Putzmaschine die beste Bewertung erreichen. Als weiterer Evaluationschritt wurden Prototypen der Werkzeuge erstellt und unter Realbedingungen getestet. Abbildungen 2.17 zeigt die verschiedene Bürstensorten welche mittels Handbohrmaschine im Sand getestet wurden. Es hat sich gezeigt, dass jede der getesteten Bürsten den Sand gut bewegen kann. Doch bei den Bürstenvariante 2.17a und 2.17b zeigte sich, dass die Streubreite des Sandes sehr gross ist und je nach Lage des Sandhügels die Richtung der Wegbeförderungsrichtung stark variiert.



(a) Putzmaschinenbürste



(b) Rundbürste

Abbildung 2.17: Zwei verschiedene Bürsten

Einzig die Bürstenvariante Walze ermöglichte eine einfache Richtungsbestimmung. Die Testbürste ist in Abbildung 2.18 ersichtlich. Deswegen wurde diese Variante gewählt. Folgende Gründe waren zudem ausschlaggebend für die Wahl dieser Variante:

1. Die schnell rotierende Bürste kann den Sand in alle Richtungen über weite Strecken katapultieren.
2. Es wird kein Förderband benötigt.
3. Die Methode hat einen hohen Durchsatz.
4. Bei hohen Drehzahlen genügt ein kleines Drehmoment.

5. Die Konstruktion kann vergleichsweise einfach umgesetzt werden.
6. Es werden nur drei Steuerparameter (Höhe, Winkel und Drehzahl) für eine Bürstenobjekt benötigt.



Abbildung 2.18: Walzenbürste

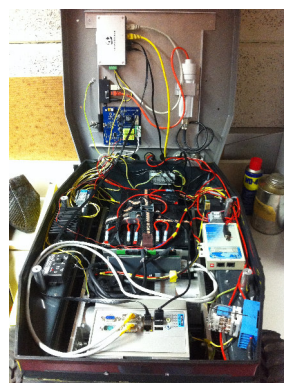
## 2.2 Mechanik

### 2.2.1 Forbot

Der Forbot ist ein mobiler ferngesteuerter Roboter mit drei Radachsen. Er ist sehr robust gebaut, ist auf Kraft ausgelegt und erreicht deswegen nur Schrittgeschwindigkeit. Obwohl seine Räder ein beachtliches Profil aufweisen ist es möglich, dass sie im Sand durchdrehen. Das Durchdrehen auf einem trockenen, ebenen Sandfeld wird etwa bei einer Vorwärtskraft von 100N erreicht. Ebenfalls problematisch ist die geringe Bodenfreiheit. So kann er, wie bereits eingangs erwähnt, beim Überqueren eines schmalen Grates steckenbleiben. Im Inneren des Forbots befinden sich die Antriebseinheit, ein Router für das eigene WLAN, sowie einige Akkumulatoren für die Energieversorgung und ein Prozessor. Gesteuert wird der Forbot über ein Tablet, welches über WLAN mit dem Roboter verbunden ist. Abbildung 2.19 zeigt den Forbot von Innen und von Aussen.



(a) Forbot aussen



(b) Forbot innen

Abbildung 2.19: Forbot Innen-und Aussenansicht

### 2.2.2 Grundgerüst

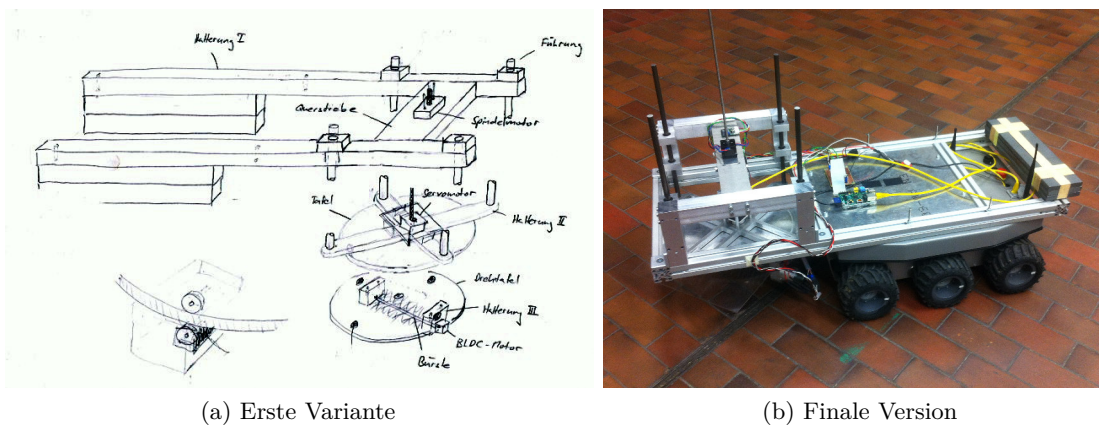
Am Forbot dürfen keine dauerhaften Veränderungen vorgenommen werden. Auch muss stets darauf geachtet werden, dass er nicht beschädigt wird. Aus diesem Grund wurde ein Grundgerüst entwickelt, welches jegliche Kraft auffangen, und senkrecht auf den Roboterdeckel übertragen soll. Das Grundgerüst wird mit 40mm\*40mm Viereckprofil aufgebaut. Dieses wurde bereits bei einem weiteren Forbot als Grundgerüst verwendet. In der Abb. 2.20 ist das Gerüst im fertig zusammengebauten Zustand ersichtlich. Die Grundplatte in der Mitte bietet genügend Platz für alle Peripherien, die befestigt werden sollen. Durch den nicht mittigen Schwerpunkt, der durch das Werkzeugmodul stark beeinflusst wird, entsteht eine senkrechte Kraft auf die Befestigungsschrauben. Die einwirkende Kraft beträgt weniger als 60 N pro Schraube. Dies stellt nach Absprache mit dem Hersteller kein Problem dar.



Abbildung 2.20: Grundgerüst

### 2.2.3 Werkzeugmodul

Das Werkzeugmodul besitzt eine schnell rotierende Bürste. Diese muss den Sand in verschiedenen Winkeln zur Fahrtrichtung des Roboters wegschleudern können. Sie soll also im Winkel verstellbar sein. Zudem muss es möglich sein, Sand in unterschiedlichen Niveaus abtragen zu können, was bedeutet, dass die Bürste zusätzlich zur Drehbewegung einen Freiheitsgrad in z-Richtung besitzen muss. In Abbildung 2.21 wird der erste Entwurf des Aufbaus der definitiv umgesetzten Realisation gegenübergestellt. Die nachfolgenden Abschnitte dokumentieren einzelne wichtige Teile.



(a) Erste Variante

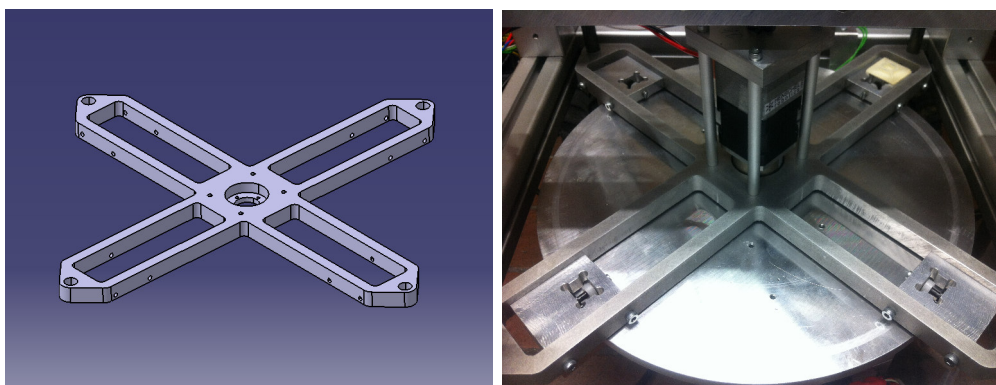
(b) Finale Version

Abbildung 2.21: Konstruktionsskizzen des Werkzeugmoduls mit Grundgerüst



### 2.2.3.1 Kreuz

Das Kreuz ist die einzige Konstruktion welche extern zur Fertigung in Auftrag gegeben wurde. Verschiedene Firmen wurden angefragt und Offerten eingeholt. Schliesslich wurde der Auftrag Qualicut AG gegeben, die das Teil mit Wasserstrahlschneidetechnik fertigten. Die kreuzförmige Konstruktion ist deshalb eines der Schlüsselteile, weil erstens die Führungsstäbe an ihr befestigt sind und sie zweitens als Basis für die Lagerung der Drehtafel dient. Da sich in jeder Ecke eines Quadrates ein Führungsstab befindet und der Motor für die Drehung der Drehtafel in der Mitte befestigt werden muss, fiel die Konstruktion kreuzförmig aus. Um Gewicht zu sparen und Platz für die Befestigung der Drehtafelhalterungen zu schaffen wurden einige Flächen herausgeschnitten. Die Abbildung 2.22 zeigt die CAD-Zeichnung und das fertig eingebaute Produkt.



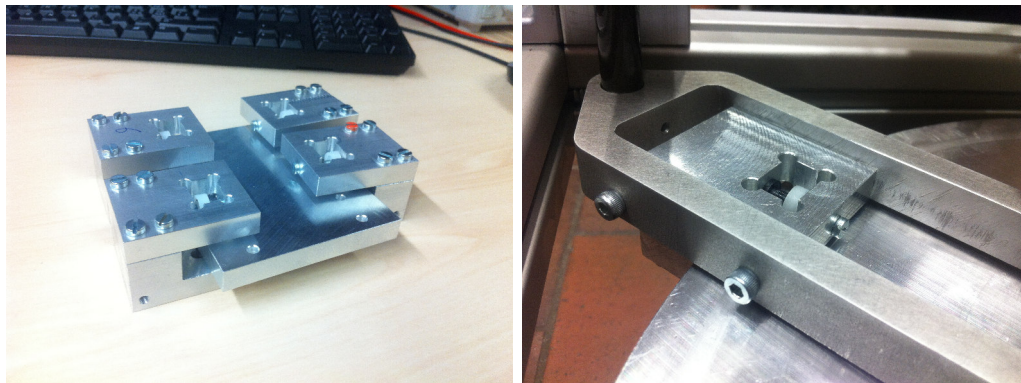
(a) Bild von der Konstruktionsphase (CATIA)

(b) Eingebautes Kreuz

Abbildung 2.22: Mit Wasserstrahlschneide-Technik hergestellte Kreuzkonstruktion

### 2.2.3.2 Drehtafelhalterungen

Der sich drehende Teil der gesamten Konstruktion muss auf irgend eine Art gelagert werden. Die Lagerung muss sowohl der Schwerkraft, als auch der Kräfte von unten entgegenwirken. Um diese Aufgabe zu lösen wurden Drehtafelhalterungen entwickelt, welche die Drehtafel von unten und oben durch ein Kugellager halten. Diese Halterungen wurden vier mal gefertigt und halten die Drehtafel an vier Positionen. In Abbildung 2.22 des vorherigen Abschnittes ist das Zusammenspiel von Kreuz, Drehtafelhalterung und Drehtafel gut ersichtlich. Eine genauere Ansicht der Halterungen zeigt Abbildung 2.23.



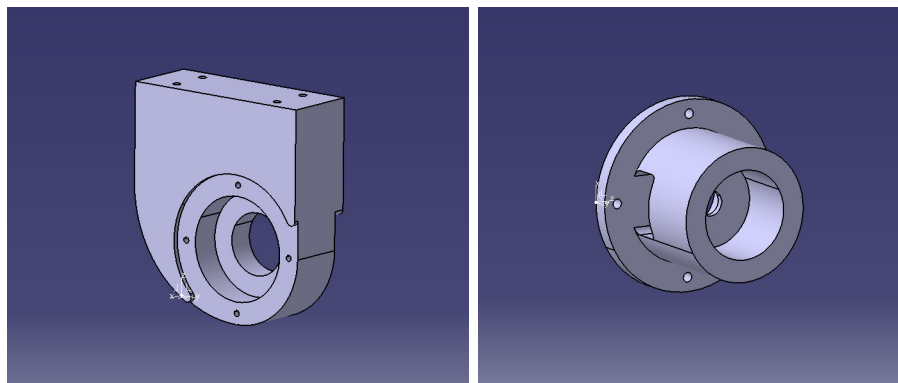
(a) Vier Drehtafelhalterungen frisch nach der Produktion im Funktionstest

(b) Drehtafelhalterung in Aktion

Abbildung 2.23: Drehtafelhalterung

### 2.2.3.3 Bürsten- und Motorhalterung

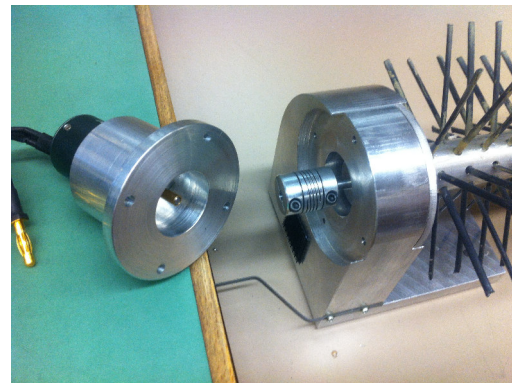
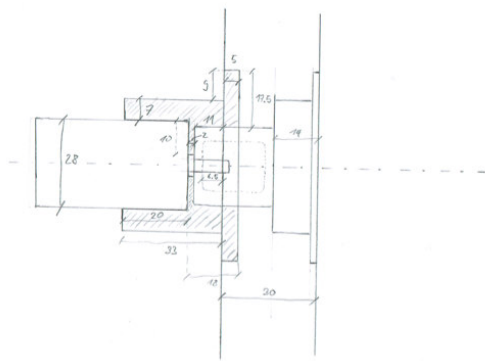
Die Bürstenhalterungen wurden für den Prototyp bewusst eher massiv gebaut um bei einem allfälligen Zusammenstoss mit einem Sandhügel Störungen auf die mit hoher Drehzahl rotierende Welle zu vermeiden. Im Inneren der Bürstenhalterungen befindet sich je ein Kugellager. Dieses wird durch eine Abdeckung gehalten. An einer der Bürstenhalterung ist die Motorhalterung befestigt. Sie sorgt einerseits dafür, dass der Motor zur Ansteuerung der Bürste befestigt werden kann. Andernseits umschliesst sie zusammen mit der Bürstenhalterung eine Kupplungskammer. In der Kammer befindet sich eine Kupplung, welche die Welle des Motors mit der Welle der Bürste verbindet. In Abbildungen 2.24 und 2.25 sind die Halterungen zu sehen.



(a) Eine der beiden Bürstenhalterungen

(b) Motorhalterung

Abbildung 2.24: CAD-Zeichnungen der Bürsten- und Motorhalterung

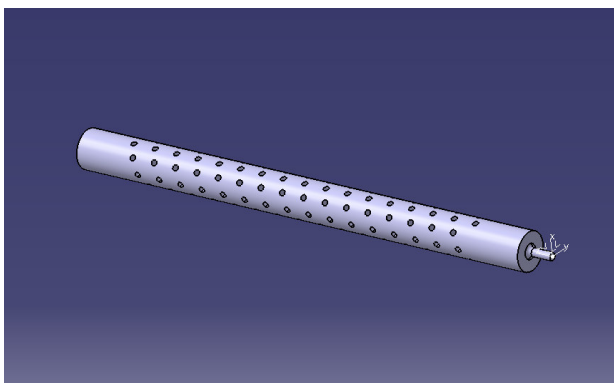


(a) Skizze der Motorhalterung mit der Kupplung in der Mitte (b) Motorhalterung Kupplung und Bürstenhalterung beim Zusammenbau

Abbildung 2.25: Bürsten- und Motorhalterung

### 2.2.3.4 Bürste

Die Bürste ist eines der wichtigsten Teile überhaupt. Je nach Radius der Bürste, Dichte oder Material der Borsten bürstet eine Bürste auf unterschiedliche Art und Weise. Bei zu dicken Borsten entsteht ein zu grosses Drehmoment, während bei zu dünnen Borsten zu wenig Sand weggeschleudert werden kann. Anhand der, durch die zu Beginn der Arbeit durchgeführten Messungen, gesammelten Erfahrungswerte wurde ein geeigneter Kompromiss gewählt und umgesetzt. Die Bürste besteht aus einer 20 mm dicken Welle welche mit zahlreichen Bohrungen versehen ist. Durch diese Bohrungen wurden PVC-Stäbchen, wie sie bei Bürsten einer Strassenputzmaschine verwendet werden, geschoben und mit Doppelkomponenten-Leim fixiert. Abbildung 2.26 zeigt die CAD-Zeichnung der Rohbürste ohne Borsten und der fertig eingebauten Bürste.



(a) Bild der Rohbürste (CATIA)

(b) Eingebaute Bürste mit eingeklebten Borsten

Abbildung 2.26: Eigenkonstruktion der Bürste

## 2.2.4 Motoren

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Motoren, ihre Aufgabe, Anforderungen und Charakteristika genauer diskutiert. Für die gewählte Glättungsmethode werden drei Motoren für drei Achsen benötigt. Zwei für die Rotationsachsen und einer für die z-Achse.

### 2.2.4.1 Spindelmotor

#### **Anforderungen und Funktion**

Mit dem Spindelmotor von Nanotec.com wird durch Drehung der Hohlwelle mit Innengewinde eine Spindel in z-Achse bewegt. Während der Motor am Grundgerüst befestigt ist, wurde das untere Ende der Spindel am Werkzeugmodul fixiert. Dadurch lässt sich das zusätzlich geführte Modul nach oben und unten bewegen. Der Motor muss also mindestens die Gewichtskraft des Werkzeugmoduls aufbringen können. Das Gewicht des Werkzeugmoduls wurde zu Beginn der Umsetzung auf ca. 8 Kg geschätzt. Die erwünschte Geschwindigkeit sollte in etwa 100 mm/s sein. Der gewählte Spindelmotor bewältigt eine maximale Tragkraft von 160 N und erreicht eine Geschwindigkeit von 100 mm/s.

#### **Ansteuerung und Signale**

Die Ansteuerung des Spindelmotors erfolgt über die Mikroschrittsteuerung SMC11. Diese benötigt neben anderen Signalen ein Signal für die Richtung und eines für die Anzahl Schritte. Abbildung 2.27 zeigt den Spindelmotor und die Mikroschrittsteuerung.

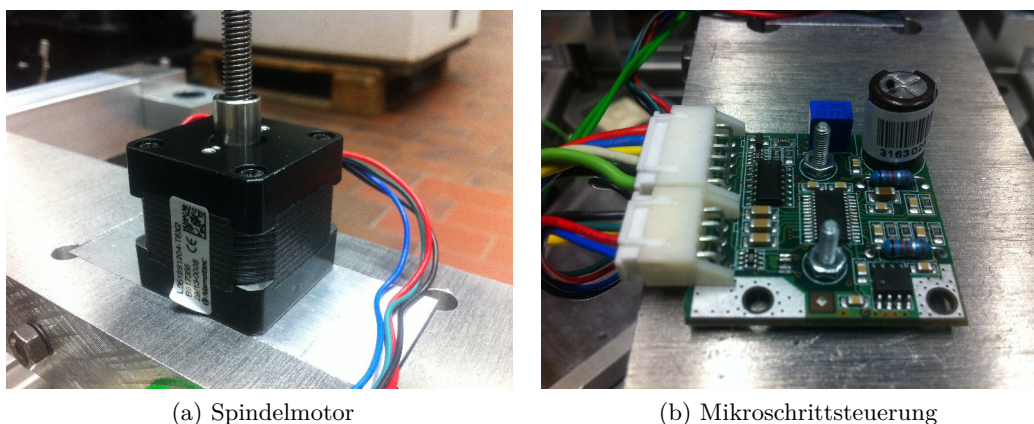


Abbildung 2.27: Aktorkomponenten für die Ansteuerung der z-Achse

### 2.2.4.2 Schrittmotor

#### **Anforderungen und Funktion**

Der Schrittmotor soll dazu dienen die Drehtafel um die vertikal stehende Rotationsachse zu drehen. Die Anforderungen an den Motor sind gegeben durch das Haltemoment und die Drehzahl. Die folgenden Berechnungen geben erste approximative Anhaltspunkte für die Dimensionierung.

Es gilt:

$$M = r * F$$



wobei für den Radius der Bürste

$$r = 0.15m$$

feststeht und für die, auf die Bürste wirkende Kraft, im schlimmsten Fall

$$F = [10...20]N$$

angenommen wird. Daraus ergibt sich ein Moment

$$M = [1.5...3]Nm$$

Die Drehtafel soll in etwa  $90^\circ$  pro Sekunde erreichen. Der Motor von henschel-robotics.ch ist zusätzlich mit einem 1:5-Getriebe ausgerüstet um ein grösseres Drehmoment zu erreichen. Das Haltemoment beträgt schliesslich ausreichende 1.68 Nm und eine maximale Drehzahl von 116 RPM, was circa 2 Umdrehungen pro Sekunde entspricht. Abbildung 2.28 zeigt die Bilder des Schrittmotors.

### **Ansteuerung und Signale**

Die Besonderheit des Motors liegt in seiner Ansteuerung. So besitzt er neben der Spannungsversorgung noch eine RJ45-Buchse als Netzwerkanschluss. Mit dem Motor kann eine TCP-IP-Verbindung aufgebaut werden. Der Motor nimmt dabei die Rolle des Servers ein und kann über ein festgelegtes Protokoll Steuerbefehle entgegennehmen. So können beispielsweise die Position, Geschwindigkeit oder das Haltemoment über diese Verbindung gesendet werden. Gleichzeitig schickt der Motor seine aktuellen Daten über einen UDP-Verbindung an den Client zurück. Die IP-Adresse des Motors ist statisch zugewiesen. Der Code zur Ansteuerung wird im Abschnitt 2.3 diskutiert. Die Spannungsversorgung erfolgt über den Lithium-Polymer-Akkumulator. Abbildung 2.28 zeigt Bilder des Schrittmotors.

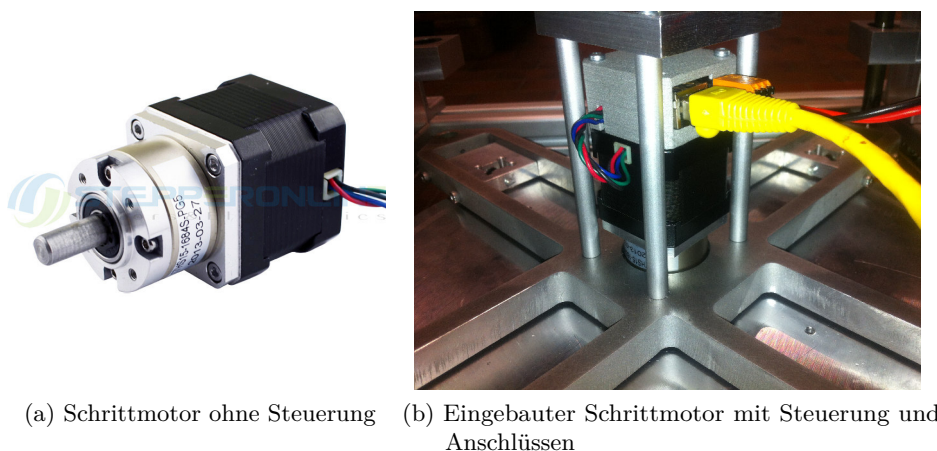


Abbildung 2.28: Motorkomponenten zur Drehung der Drehtafel

### **2.2.4.3 Brushless DC**

#### **Anforderungen und Funktion**

Für die schnell rotierende Bürste wurde ein Brushless-DC-Motor (BLDC) gewählt. Für die Wahl kamen verschiedene Modelle in Frage. Der Motor und dessen Regelkreis, sollen ohne Kühlung auskommen. Gleichzeitig soll der Motor eine hohe Drehzahl erreichen können. Zudem wurde das benötigte Drehmoment mit folgender Abschätzung berechnet.

Mit einer Fahrgeschwindigkeit des Roboters von

$$v = 1 \frac{m}{s}$$

und einer Drehzahl der Bürste von

$$n = 6000rpm = 100 \frac{1}{s}$$

sowie einer Bürstenbreite von

$$b_B = 30cm = 0.3m,$$

und einer abzutragenden Sandschichtdicke von

$$h_S = 1cm = 0.01m$$

sowie der Sanddichte

$$\rho_S = 1500 \frac{kg}{m^3}$$

ergibt sich somit die Sandmasse von

$$m = b_B * h_S * \frac{v}{n} * \rho_S = 0.045kg$$

welche pro Umdrehung wegbefördert werden muss. Für die Beschleunigung des Sandes wird die dreifache Erdbeschleunigung angenommen.

Mit einem Bürstenradius von

$$r_B = 5cm = 0.05m$$

erfolgt ein Drehmoment von

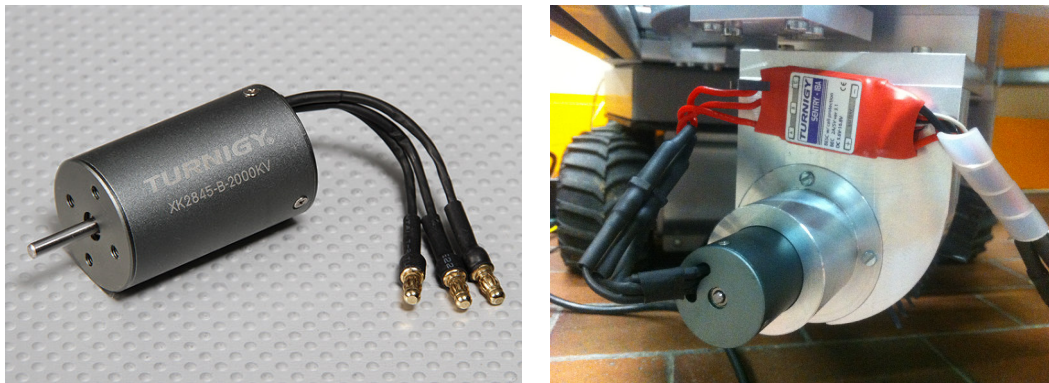
$$M = r * F = r_B * m * g * 3 \approx 0.07Nm.$$

Für diese Anforderungen wurde auf HobbyKing.com nach Modellschiffsmotoren gesucht. Diese haben eine hohe maximale Drehzahl. Da sie für die Drehung einer Schiffsschraube im Wasser konzipiert sind, weisen sie ein hohes Drehmoment auf. Mit den Daten über die Drehzahlkonstante und die Leistung konnte wie folgt auf das Drehmoment geschlossen werden:

$$M = \frac{P}{\Omega} = \frac{P}{k_n * U} = \frac{280W}{2000 * \frac{2\pi}{60} rad/s * 11V} \approx 0.12Nm$$

### **Ansteuerung und Signale**

Der BLDC wird über eine Steuerung geregelt. Die Ansteuerung der Steuerung erfolgt über ein PWM-Signal (Pulse Width Modulation). Die Frequenz des Signals beträgt 50 Hz und über die Duty-cycle kann die Drehzahl bestimmt werden. Abbildung 2.29 zeigt den BLDC mit Steuerung.



(a) BLDC

(b) Eingebauter BLDC mit Steuerung

Abbildung 2.29: Motorkomponenten zur Drehung der Bürste

## 2.3 Software

### 2.3.1 Raspberry Pi

Der Raspberry Pi ist ein kreditkartengroßer Einplatinencomputer mit einem 700-MHz-Prozessor als Herzstück. Das Board bietet im wesentlichen 512 MB Arbeitsspeicher, eine Ethernet-Schnittstelle, zwei USB-Ports, ein SD-Slot für eine HD, ein HDMI-Anschluss sowie 17 GPIO. Für das Projekt WIRJ 3 wurde das Linux Betriebssystem Raspbian-Wheezy implementiert. Die Gesamtkosten eines solchen Mini-Computer, inklusive Speicherkarte mit 4GB, betragen nur 70.- SFr. Ausschlaggebend für die Wahl dieses Einplatinencomputer, war die Möglichkeit der Stromversorgung mit nur 5V, sowie das Vorhandensein von 17 GPIOs und einer Ethernet-Schnittstelle. Die Abbildung 2.30 zeigt den Raspberry Pi .

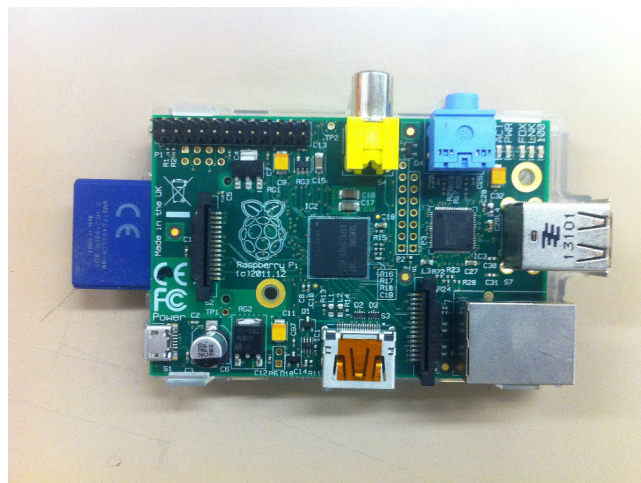
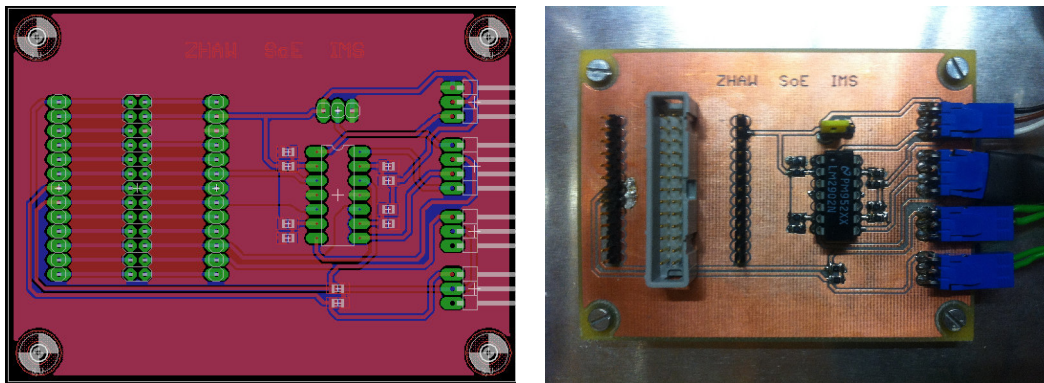


Abbildung 2.30: Raspberry Pi

### 2.3.2 I/O-Board

Für die Ansteuerung der Motoren ist oft ein Spannungspegel von 5 V erforderlich. Die Ausgangsspannung der GPIOs des Raspberry Pi beträgt jedoch nur 3.3 V. Aus diesem Grund wurde eine Schaltung entwickelt, welche den Spannungspegel auf 5 V erhöht. Die Schaltung funktioniert mit einem Operationsverstärker, in dem der Spannungswert eines Pins des Raspberry Pi mit einer Referenzspannung von 2.5 V verglichen wird. Ist dieser Spannungswert höher, regelt der Operationsverstärker den Ausgang auf VCC von 5 V. Ansonsten wird auf GND geschaltet. Da nur eine Versorgungsspannung von 5V zur Verfügung steht, und die Spannungserhöhung für vier Signale nötig ist, braucht es ein QuadOpAmp mit einer RailToRail-Charakteristik. Das bedeutet vier Operationsverstärker in einem Chip und der Operationsverstärker ist fähig den ganzen Bereich von VCC zu GND an den Ausgang zu legen. Da ein Board gefertigt werden musste, wurden aus ästhetischen Gründen, und der Vollständigkeit wegen, die Signalleitungen aller Aktoren und Sensoren über das Board geführt. In der Abbildung 2.31 sind Bilder des Boards zu sehen.



(a) Ansicht des Eagle-Files

(b) Eingebautes Board nach dem Fräsen und Lötén

Abbildung 2.31: I/O-Board

### 2.3.3 Benutzeroberfläche

Die Ansteuerung des Forbots und des Werkzeugmoduls erfolgt bei dem entwickelten Prototyp über zwei getrennte Benutzeroberflächen. Der Forbot selbst wird über das schon vorhandene Androide-Interface und das Werkzeugmodul über ein separat erstelltes Interface gesteuert. Das Werkzeugmodul-Interface erlaubt dem Benutzer die separate Eingabe der Werkzeugpositionen. Die Wahl fiel auf ein Webinterface, das über den Explorer stets über dieselbe IP-Adresse aufgerufen werden kann. In der Abbildung 2.32 ist das Hauptinterface "Front" ersichtlich. Es besteht aus drei Inputs mit je einem dazugehörigen Send-Button. Die manuelle Betätigung des Initialisierungs-Button zur genauen Positionierung des Werkzeuges, sollte jeweils beim Start erfolgen.



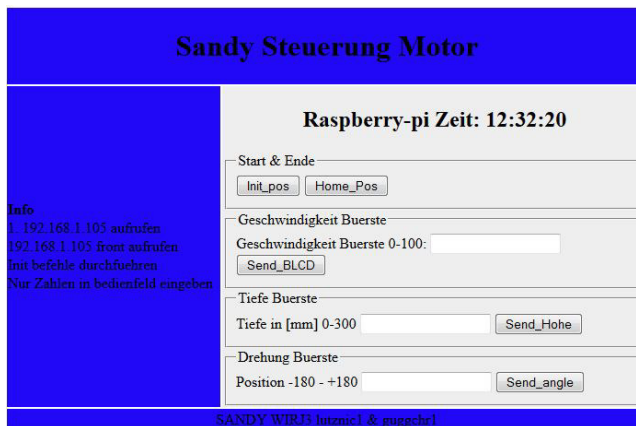


Abbildung 2.32: Webpage

### 2.3.4 Software Implementation

Die gesamte Software für die Ansteuerung der Motoren und für das Webinterface ist in Python geschrieben, da es bereits eine grosse Auswahl an Raspberry Pi spezifischen Bibliotheken für Python gibt. Die Bibliotheken ermöglichen eine gute Realtime-Performance der GPIO. Da die Realtime-Eigenschaften der GPIO mit erhöhter Prozessorauslastung verloren gehen, wurde die Überwachung der Prozessorauslastung bereits bei der Programmierung berücksichtigt. Folgende Bibliotheken wurden verwendet: die Bibliothek RPi für das Ansteuern der GPIO, die Bibliothek Flask und Socket für das Erstellen eines Servers mit Webinterface und die Bibliothek Thread für ein multitaskingfähiges Programm. In der Abbildung 2.33 ist das Blockdiagramm der Schnittstellen des Aufbaus ersichtlich.

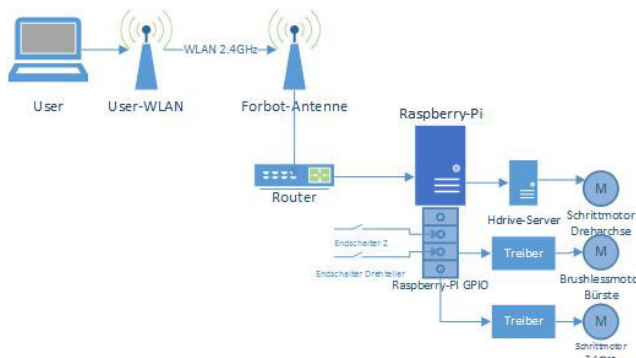


Abbildung 2.33: Blockdiagramm der Schnittstellen und Kommunikation

#### Webinterface

Das Webinterface wird mit Hilfe der Bibliothek Flask realisiert. Dabei handelt sich um ein Webframework zur Erzeugung dynamischer Websites. Als erstes wird beim Start des Programms der Server zur Verfügung gestellt. Dieser leitet jede beim Host-Port 80 eingehende Anfrage an das Pythonprogramm weiter. Das Pythonprogramm untersucht ob eine Page angefordert wurde oder ob eine Interaktion auf der Page erfolgt ist. Es sendet anschliessend die angeforderte Page zurück und führt gegebenenfalls die gewünschte Befehlskette aus.

### **Pythonbefehle**

Nachfolgend werden noch wichtige und häufig verwendete Codesegmente vorgestellt. Mit folgendem Codesegment kann in Python auf dem Raspberry Pi ein Webserver erstellt werden

```
from flask import Flask, request, render_template
if __name__ == "__main__":
    app.run(host='0.0.0.0', port=80, debug=True)
```

Dabei ist zu beachten, dass beim Erreichen des Befehls “app.run” das Pythonprogramm automatisch neu gestartet wird und somit muss jegliche Initialisierung, wie beispielsweise das Verbinden mit dem Schrittmotor von Henschel-Robotics, im Programmcode gut überlegt sein. Der Aufruf einer Page wird durch folgende Codesegmente abgefangen.

```
@app.route('/front', methods = ['GET', 'POST'])
def front(): if request.method == 'GET':
if request.method == 'POST':
```

Bei einer request.methode “GET” wurde eine Seite aufgerufen, während bei einem “POST” der User eine Interaktion auf der Page gemacht hat. Der Motor von Henschel-Robotics lässt sich über einen Socket mit folgender Befehlskette ansprechen. Dabei wird immer der komplette String gesendet. Der Wert in “angle” gibt die zu fahrende Position an, während die Variablen “p”, “i” und “d” die Regelkomponenten enthalten.

```
s.send('<system pos="'+str(angle)+'" speed="0" current="0.5" acc="0"
mode="0" out1="0" out2="0" p="0.3" i="0.0" d="0.0" hT="0.5" />')
```

Das Setzen eines GPIO-Pin wird mit folgendem Befehl erledigt.

```
GPIO.output(step_en, 1)
```

## 3 Resultate

### 3.1 Auswertung

Der erste Test wurde nicht direkt auf einem Beachvolleyballfeld durchgeführt sondern in der Nähe der ZHAW in einer Parkanlage. Es wurde dabei ein kleiner Sandhügel auf dem Boden platziert und die Bürste auf eine geeignete Höhe eingestellt. Mit rotierender Bürste wurde dann mit dem Forbot langsam über den Hügel gefahren. Es resultierte eine eben abgefräste Hügelspitze. Der Sand verteilte sich dabei über eine Strecke von einem Meter und einer Breite von ungefähr 30 bis 40 cm. Es wurde dabei alles auf Video aufgenommen um im Nachhinein zu analysieren wie der Sand weggeschleudert wurde. Bei näherem Betrachten der Videoaufnahmen war klar weshalb der Sand in der Nähe des Hügels zu liegen kam und nicht eine schöne schräge Bahn beschrieb. Das Problem ist, dass ein grosser Teil des Sandes in einem zu grossen Winkel weggeschleudert wird. Bei zu grossem Winkel treffen die Sandkörner an den Rahmen des Werkzeugmoduls und an das Grundgerüst. Der Effekt überrascht deswegen, weil aufgrund der Messungen mit der Testvorrichtung im Labor einen geringeren Winkel erwartet wurde. Abbildung 3.1 zeigt das Testszenario und den Sandhügel nach dem Einsatz der Bürste.

Nach der Messung wurde bemerkt, dass sich einige Sandkörner auf der Drehtafel befanden. Mit zunehmenden Messungen wirkte sich dies störend auf eine reibungslose Drehung aus da sich Sandkörner in den Regionen der Kugellager ansammelten. Um dies zu vermeiden wurde eine Plexiglasabdeckung zur Abschirmung montiert.



(a) Testszenario



(b) Sandhügel nach dem Einsatz der Bürste

Abbildung 3.1: Test des Prototypen

Der zweite Testlauf bei der Vorführung wurde im Beachvolleyballfeld am Deutweg in Winterthur durchgeführt. Leider wurden durch die niedrigen Wintertemperaturen keine Realbedingungen vorgefunden und der Sand war pickelhart. Die kleine mitgebrachte Sandmenge an feinem Sand kam somit zum Einsatz. Der Testdurchlauf hat gezeigt, dass die Plexiglasabdeckung ihren Zweck erfüllt. Was immer noch ungenügend ausfiel ist die Flugbahn des Sandes. Ein potentieller Lösungsansatz ist in Absatz 3.2 beschrieben.

## 3.2 Kritik

Da sich diese Arbeit mit der Produktion eines Prototypen befasst hat, gibt es auch einige Punkte, welche zu kritisieren sind. Der Prototyp wurde aus Gründen der Sicherheit, Einfachheit und des zeitlichen Rahmens eher massiv und robust gebaut. Dies führte dazu, dass das ganze Werkzeugmodul und das Grundgerüst ziemlich schwer ausgefallen ist. Für eine erste Analyse des Werkzeugs ist dies nicht problematisch, wäre aber sicherlich ein Punkt den man verbessern müsste. So kann man die meisten Teile etwas komplexer konstruieren und dadurch Gewicht sparen.

Die Bewegung in z-Richtung muss schneller sein. Entweder benötigt es einen neuen Motor oder eine andere Spindel. Dies hängt vor allem davon ab wie viel Gewicht eingespart werden kann. Auf jeden Fall muss die Bewegung flinker sein. Ansonsten verliert die Methode an Durchsatz, weil der Forbot bei starken Unebenheiten seine Fahrgeschwindigkeit senken muss.

Die Konstruktion basiert im jetzigen Zustand auf der Technik von Kugellager und Gleitlager. Dies muss in Anbetracht der Umgebungseinflüsse auf einem Sandfeld angepasst werden.

Da der Prototyp eine Bürste besitzt, die mit hoher Drehzahl rotiert ist es aus Sicherheitsgründen angebracht eine Abdeckung so zu montieren, dass niemand aus Versehen in die gefährliche Zone hineingreifen kann. Ausserdem muss ein Mechanismus konstruiert werden, welcher verhindert, dass der Roboter in einen Sandhügel fahren kann ohne dass die Bürste hochgefahren wird. Dies würde die Ansteuerung des BLDC Motors schädigen und allenfalls zu Defekten führen.

Für eine gezielte Flugbahn des Sandes ist eine Vorrichtung anzubringen, mit welcher der Sand gelenkt werden kann und somit insbesondere beim Anfahren von Sandhügeln eine geeignete Flugbahn des Sandes entsteht. Eine andere Möglichkeit ist, die Bürste mittels einer Winkelkonstruktion nach vorne zu verlagern.

Der letzte Kritikpunkt ist an den Forbot gerichtet. Für die alleinige Evaluation einer Glättungsmethode ist der zur Verfügung gestellte fahrbare Untersatz gut geeignet. Für weitere Arbeiten muss man jedoch überdenken ob man nicht ein von Grund auf neues Fahrzeug entwickeln möchte, das genau auf die Glättungsaufgabe in der sandigen Umgebung angepasst ist. So kann ohne einschränkende Rahmenbedingungen ein Roboter entwickelt werden, bei welchem die Glättungsmethode auf die Fortbewegung angepasst ist oder diese sogar kombiniert.

## 4 Zusammenfassung

### 4.1 Resultate

Am Anfang der Arbeit wurde das Beachvolleyballfeld am Deutweg untersucht und dessen Eigenschaften, wie Höhenprofil und Sandcharakteristiken untersucht. Es wurde berechnet, dass zum planieren eines gepflegten Beachvolleyballfeldes mindestens 2150 Kg Sand bewegt werden müssen. Auf dieser Grundlage wurden mehrere Möglichkeiten zum Bewegen von Sand evaluiert. Es zeigte sich schnell, dass eine Anwendung mit Förderband eine hohe Förderrate ermöglicht, jedoch der Aufwand und die Kosten den Rahmen einer Projektarbeit sprengen würden. Nach weiteren Evaluationen mit verschiedenen Bürsten, haben wir ein mögliches Werkzeugsystem gefunden, mit dem die Sandmengen bewältigt werden können. Dabei wird vor allem auf hohe Drehzahlen und kleine Kraft gesetzt. Das Werkzeug basiert auf einer schnell rotierenden Bürste, welche in Höhe und Ausrichtung verändert werden kann. Anschliessend wurde das Werkzeugsystem konstruiert und erfolgreich als Prototyp gefertigt. Zudem wurde die gesamte Ansteuerung aufgebaut und programmiert.

Am Ende dieser Projektarbeit können wir nun einen lauffähigen Prototyp vorweisen, welcher in der Lage ist, Sand in gezielte Richtungen zu befördern. In der Abbildung 4.1 ist der fertige Prototyp auf dem Beachvolleyballfeld am Deutweg ersichtlich. Durch diese Projektarbeit wurden die ersten Schritte in Zielrichtung unternommen. Es konnten Probleme konkretisiert werden. Basierend darauf ist es möglich eine weitere Arbeit anzusetzen und weitere Schritte in Zielrichtung zu gehen.

### 4.2 Rückblick

Rückblickend war die Projektarbeit in mehreren Hinsichten ein Erfolg, doch es gab auch Punkte mit Verbesserungspotential. Die Zusammenarbeit im Team funktionierte von Anfang an gut, und die Arbeiten konnten gut und fair untereinander aufgeteilt werden. Nur das Softwaretool GitHub, das alle Dokumente versionieren und synchronisieren sollte, verweigerte mehrmals die richtige Funktionsweise, was zu einem Mehraufwand führte. Die wöchentlichen Meetings förderten die Absprache im Team und die Kommunikation mit dem Projektbetreuer, sowie dem parallellaufenden Projektteam. Durch die gründliche Evaluationsphase konnte die Konstruktion des Prototypen erst in der Mitte der Projektphase gestartet werden, was mit der langen Fertigungsdauer und Lieferzeiten der Teile zu einem engeren Zeitmanagement am Schluss der Projektarbeit führte. Dadurch, dass alle Indoor-Beachvolleyballhallen in der Region Winterthur-Zürich in der letzten Zeit ihren Betrieb eingestellt haben, wurde das Testen des Roboters stark erschwert.

## 4.3 Ausblick

Für spätere Arbeiten ist es interessant, die Projektarbeit WIRJ2, welche sich mit dem optimalen Weg und der Geländeerfassung beschäftigt, zu integrieren und somit einen autonomen Roboter zu erhalten. Dabei gibt es auch Verbesserungsmöglichkeiten bezüglich der Grösse des Roboters und Anzahl der Bürsten. So wäre es sinnvoll, eine zweite Bürste am anderen Ende des Roboters zu befestigen. Auch besteht ein grosses Verbesserungspotential im Roboteruntersatz. So ist der Forbot mit seiner geringen Bodenfreiheit und seinem hohen Grundgewicht eher ungeeignet für die Anwendung auf dem Beachvolleyballfeld.



Abbildung 4.1: Prototyp



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Ansätze . . . . .	2
2.2	Mobiler Roboter als fahrbarer Untersatz . . . . .	3
2.3	Beachvolleyballplatz . . . . .	3
2.4	Zwei verschiedene Bürsten . . . . .	4
2.5	Schneefräse [1] . . . . .	5
2.6	Zwei unterschiedliche Bagger . . . . .	5
2.7	Schaufelradbagger [4] . . . . .	6
2.8	Strassenputzmaschine [5] . . . . .	6
2.9	Erste Skizze der Baggerband-Methode . . . . .	7
2.10	Erste Skizze der Schaufelrad-Methode . . . . .	8
2.11	Erste Skizze der Fräser-Methode . . . . .	8
2.12	Erste Skizze der Putzmaschinen-Methode . . . . .	9
2.13	Erste Skizze der Spiralen-Methode . . . . .	9
2.14	Erste Skizze der Walzen-Methode . . . . .	10
2.15	Morphologischer Kasten . . . . .	10
2.16	Top 3 Varianten . . . . .	11
2.17	Zwei verschiedene Bürsten . . . . .	11
2.18	Walzenbürste . . . . .	12
2.19	Forbot Innen-und Aussenansicht . . . . .	12
2.20	Grundgerüst . . . . .	13
2.21	Konstruktionsskizzen des Werkzeugmoduls mit Grundgerüst . . . . .	13
2.22	Mit Wasserstrahlschneide-Technik hergestellte Kreuzkonstruktion . . . . .	14
2.23	Drehtafelhalterung . . . . .	15
2.24	CAD-Zeichnungen der Bürsten- und Motorhalterung . . . . .	15
2.25	Bürsten- und Motorhalterung . . . . .	16
2.26	Eigenkonstruktion der Bürste . . . . .	16
2.27	Aktorkomponenten für die Ansteuerung der z-Achse . . . . .	17
2.28	Motorkomponenten zur Drehung der Drehtafel . . . . .	18
2.29	Motorkomponenten zur Drehung der Bürste . . . . .	20
2.30	Raspberry Pi . . . . .	20
2.31	I/O-Board . . . . .	21
2.32	Webpage . . . . .	22
2.33	Blockdiagramm der Schnittstellen und Kommunikation . . . . .	22
3.1	Test des Prototypen . . . . .	24



4.1 Prototyp . . . . . 27

## Literaturverzeichnis

- [1] [Online]. Available: <http://www.forstact.ch/index.php/westa.html>
- [2] [Online]. Available: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CAT385-Raupenbagger.jpg>
- [3] [Online]. Available:  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Menck\\_Bagger\\_Museum\\_der\\_Arbeit.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Menck_Bagger_Museum_der_Arbeit.jpg)
- [4] [Online]. Available: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bagger-garzweiler.jpg>
- [5] [Online]. Available: [http://www.happy-news.ch/news/auto-und-fahrzeuge/  
6309-strassenputzmaschine-mit-wasserstoffantrieb-bewaehrt-sich-in-der-praxis-in-st-gallen-und-bern.  
html](http://www.happy-news.ch/news/auto-und-fahrzeuge/6309-strassenputzmaschine-mit-wasserstoffantrieb-bewaehrt-sich-in-der-praxis-in-st-gallen-und-bern.html)



# A Anhang

## A.1 Offizielle Aufgabenstellung

Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften



School of  
Engineering

### Robotisches Glätten eines Beachvolleyballfeldes - Entwurf für einen mobilen Roboter mit geeignetem Werkzeug PA13\_wirj\_3

---

BetreuerInnen: Joachim Wirth, wirj  
Mark Cieliebak, ciel  
Fachgebiete: Robotik (ROB)  
Studiengang: ST  
Zuordnung: Institut für Mechatronische Systeme (IMS)  
Interne Partner: Institut für angewandte Informationstechnologie (InIT)  
Gruppengrösse: 2

---

#### **Kurzbeschreibung:**

Problemstellung:

Während eines Beachvolleyballspiels wird der Sand im Spielfeld bewegt, so dass eine unebene Oberfläche entsteht. Dies stört beim Spielen, und führt im Laufe der Zeit dazu, dass tiefe Täler (bis zu 40cm) an den Stellen entstehen, wo sich die Spieler am meisten aufhalten. Wir wollen darum einen mobilen Roboter 'Sandy' entwickeln, der automatisch die Sandoberfläche glätten kann.

Als Basis für die Entwicklung von Sandy ist ein Prototyp gefragt, der sich mit einer externen Steuerung auf einem Beachvolleyball-Feld bewegen lässt und verschiedene Werkzeuge zum Planieren einsetzt. Ziel dieser Arbeit ist, einen solchen Prototyp zu entwickeln.

Im Laufe der Arbeit sollen u. a. folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche realen Bedingungen finden wir bei Beachvolleyballfeldern vor (Sandbeschaffenheit, Höhenprofil etc.)?
- Welche Werkzeuge sind prinzipiell geeignet, Sand zu bewegen?
- Welche Charakteristika haben diese Werkzeuge (Kraftaufwand, Durchsatz etc.)
- Welche minimale Auswahl an Werkzeugen ist am besten geeignet, Sand zu bewegen?

Parallel zu dieser Arbeit findet eine weitere Projektarbeit in der Informatik statt. Deren Ziel ist die Bewegungsplanung für einen solchen mobilen Roboter. Beide Arbeiten werden gemeinsam betreut und sollen in enger Kooperation realisiert werden.

Bei Interesse kann diese Arbeit mit einer Bachelorarbeit fortgesetzt werden.

## Projektarbeit 2013 - HS: PA13\_wirj\_3

### Beteiligte

Das Projekt wird von den Studenten Niculin Lutz und Christoph Gugg durchgeführt und durch Dr. Joachim Wirth betreut.

### Einleitung

Während eines Beachvolleyballspiels wird der Sand im Spielfeld bewegt, so dass eine unebene Oberfläche entsteht. Dies stört beim Spielen und führt im Laufe der Zeit dazu, dass tiefe Täler (bis zu 40cm) an den Stellen entstehen, wo sich die Spieler am meisten aufhalten. Wir wollen darum einen mobilen Roboter 'Sandy' entwickeln, der automatisch die Sandoberfläche glätten kann.

### Auftrag

Der Auftrag der Projektarbeit ist die Entwicklung eines Werkzeuges, welches für das robotische Glätten eines Beachvolleyballfeldes geeignet ist.

### Zielsetzung

Für unsere Projektarbeit haben wir uns folgende Ziele gesetzt:

- I. Wir wollen verschiedene Methoden um Sand zu bewegen analysieren und aufgrund unserer Analyse eine geeignete Methode evaluieren.
- II. Es soll ein Mechanismus konstruiert und produziert werden der zur Glättung eines Volleyballfeldes in Frage kommt. Zudem sollen die für den Antrieb des Werkzeuges notwendigen Komponenten gefunden werden.
- III. Wir wollen am Schluss unserer Projektarbeit eine Auswertung des umgesetzten Prototyps vorlegen.
- IV. Die Vorgehensweise soll stets gut geplant sein und Probleme sollen im Team diskutiert werden.

### Vorgehensweise

Das Projekt soll in 5 Phasen wie folgt gegliedert sein:

- |                        |  |
|------------------------|--|
| 1. <i>Evaluation</i>   | eine geeignete Methode wird gefunden   |
| 2. <i>Planen</i>       | wie wird die geeignete Methode umgesetzt   |
| 3. <i>Konstruktion</i> | ein Mechanismus wird konstruiert   |
| 4. <i>Produktion</i>   | der Mechanismus wird entwickelt und mit den dazu nötigen Antriebskomponenten in Betrieb gebracht |
| 5. <i>Auswerten</i>    | der Mechanismus wird ausgewertet   |



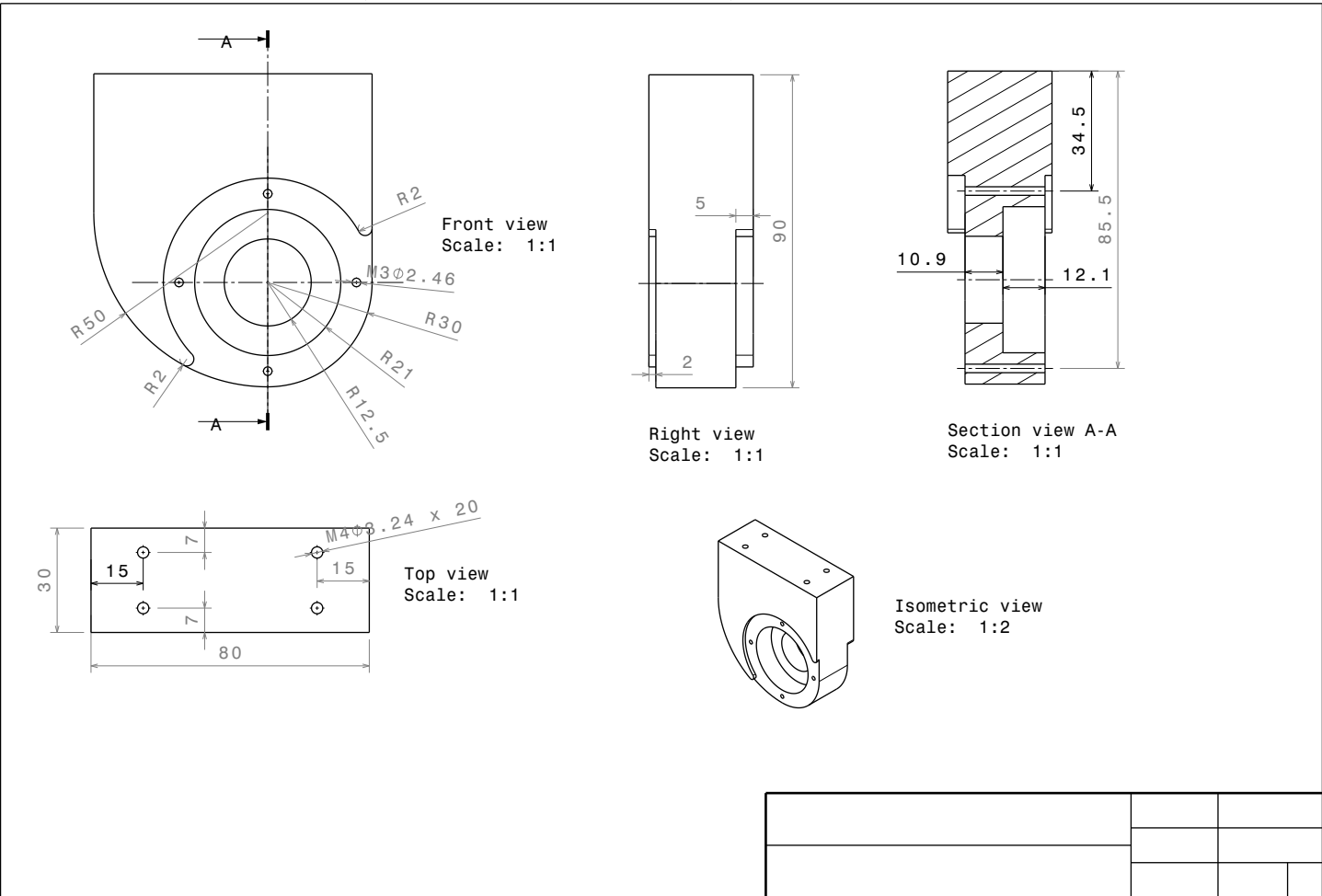


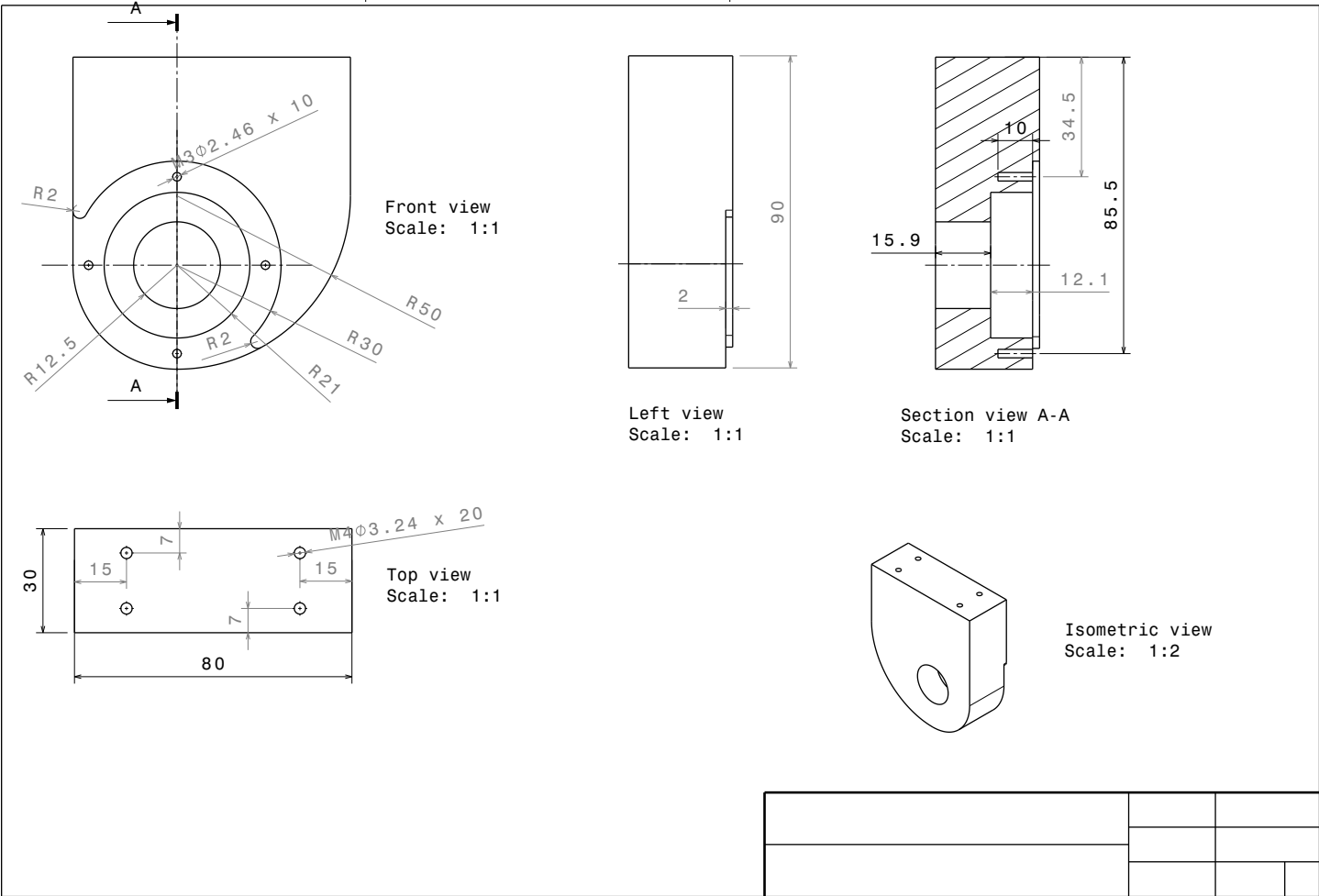
## A.2 Zeitmanagement

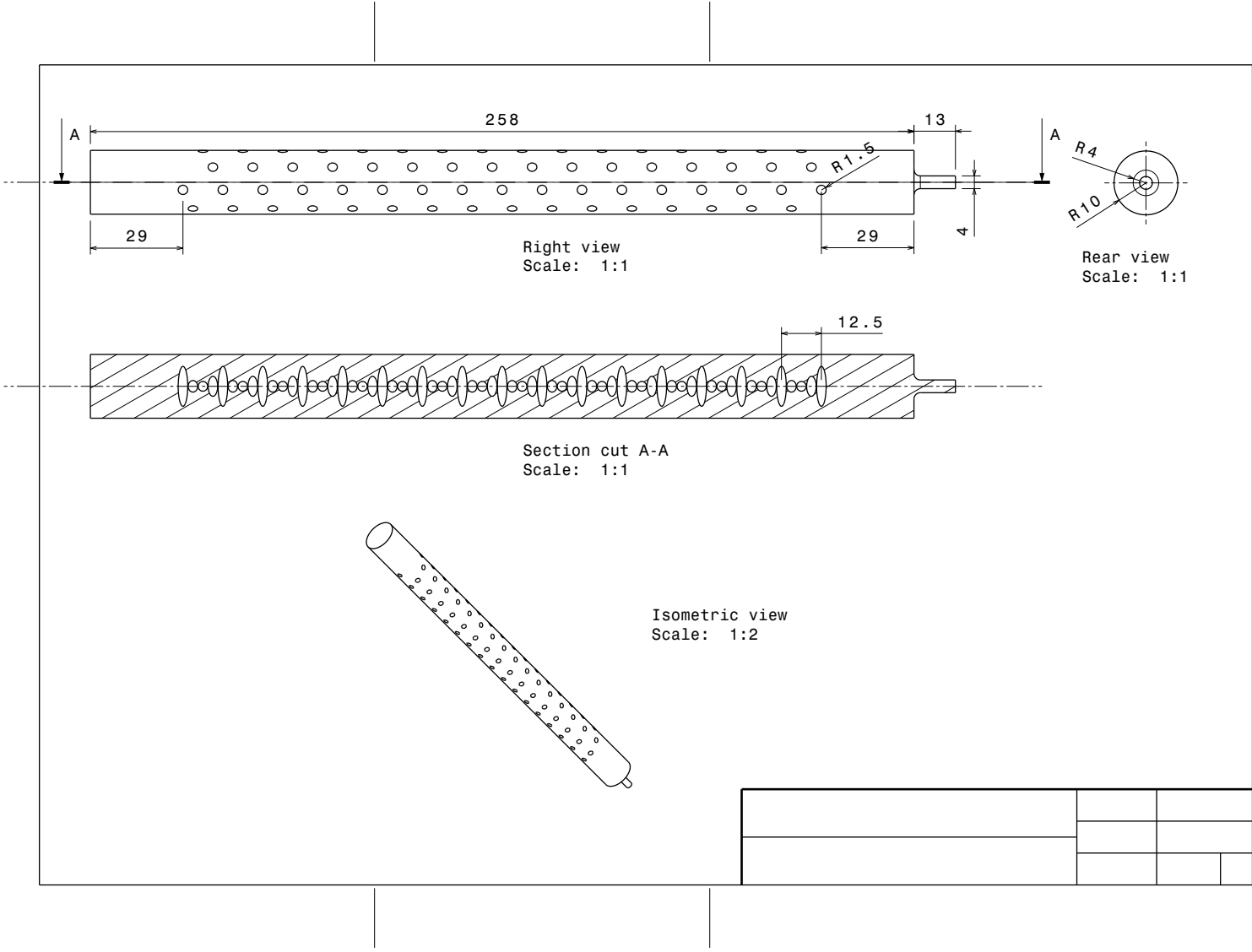
### Projektplan

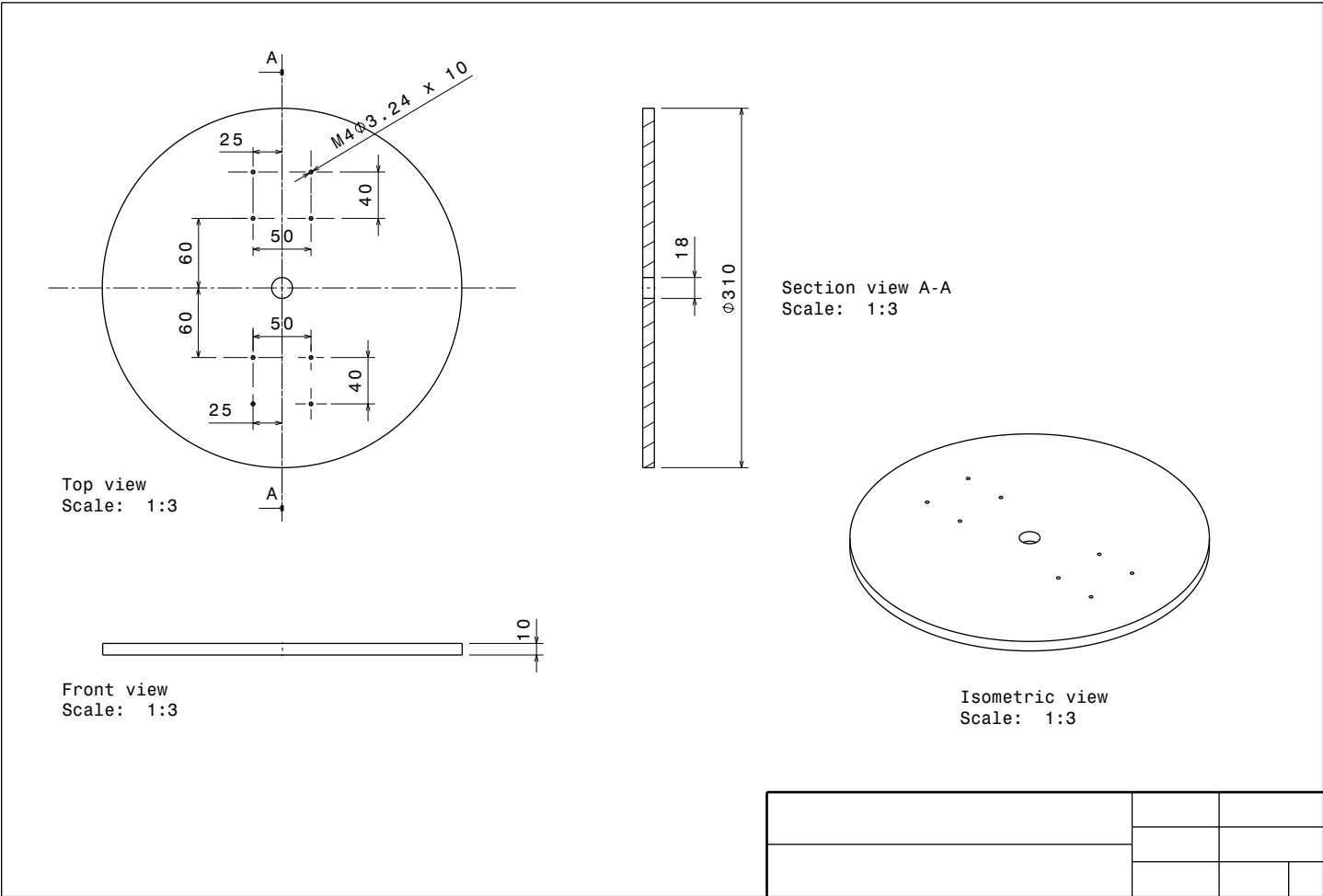
Datum	Woche	SOLL				IST				SOLL			
		Ev	Pl	Ko	Pr	Au	Ev	Pl	Ko	Pr	Au	Arbeit	Probleme
16 Sept - 22 Sept	KW 38										Bekanntgabe des Projektrahmens	Was liegt im machbaren Rahmen	Aufgabe definiert, Umfang abgesprochen
23 Sept - 29 Sept	KW 39										Messung: Transport von Sand, Auswertung	"schieben" braucht zu viel Kraft, vor allem für die etwas feuchteren Schichten. Schieben ist nur zum oberste Schicht (5cm) zu glätten geeignet.	Alternative Lösung suchen: Stahlbürste, Schaufelrad, Fräse, Schnecke, ... schwenkbares Förderband
30 Sept - 6 Okt	KW 40										Recherche, Evaluation der Ideen, Messungen	Förderbänder sind teuer	Kostenfragen in Meeting abgeklärt
7 Okt - 13 Okt	KW 41										Werkzeug selektionieren, Ideen für einen Mechanismus	2 Werkzeuge mit gleichguter Bewertung	Werkzeugauswahl getroffen Walzenbürste
14 Okt - 20 Okt	KW 42										Prototyp erstellen	Bürsten schwierig zu erstellen	
21 Okt - 27 Okt	KW 43										Beschaffen der nötigen Teile	Grosse Auswahl, lange Lieferzeiten und / oder hohe Kosten	Kosteneinschätzung erstellt und Budge mit Michele Cardone abgeklärt
28 Okt - 3 Nov	KW 44										Konstruktion, Evaluation der Tests und dimensionieren der Peripherie	Fertigung von Konstruktionsteilen nicht möglich.	Wasserstrahlfirma für Fertigung angefragt
4 Nov - 10 Nov	KW 45										Konstruktion, Peripherie bereitstellen	Realtime Eigenschaften des Raspberry-Pi ist schlecht.	Programm und Peripherie so ausgelegt, dass sie mit Jitter klarkommen.
11 Nov - 17 Nov	KW 46										Peripherie bereitstellen, Produktion, Software schreiben	Fehlende Bauelemente wie Kugellager und Konstruktionen.	Kugellager bei Igus als Musterbestellung aufgeben, auf Konstruktion warten.
18 Nov - 24 Nov	KW 47										Inbetriebnahme und Auswertung	Peripherie braucht für sichere Kommunikation 5V Signale und nicht 3.3V	Pegelwandler implementieren. (OP-Schaltung)
25 Nov - 1 Dez	KW 48										Reserve	BLDC-Motor/Steuerung überhitzt.	Regler ersetzen, Last besser kontrollieren. Nicht schnell in Sand fahren.
2 Dez - 8 Dez	KW 49										Dokumentation fertigstellen	Fertigungsungenauigkeiten für zu verkanten des Werkzeuges.	Mechanisch ausbessern, zweite Führung hinzufügen.
9 Dez - 15 Dez	KW 50										Dokumentation fertigstellen	IC wurde falsch geliefert. Endmessungen für Doku noch nicht vorhanden.	Messungen durchführen, neue Bestellung aufgeben.
16 Dez - 22 Dez	KW 51										Reserve	Sand kommt noch in die Kugellager. IC wird verspätet geliefert.	Zusätzliche Abdeckung montieren. Notlösung für Demonstartion suchen.

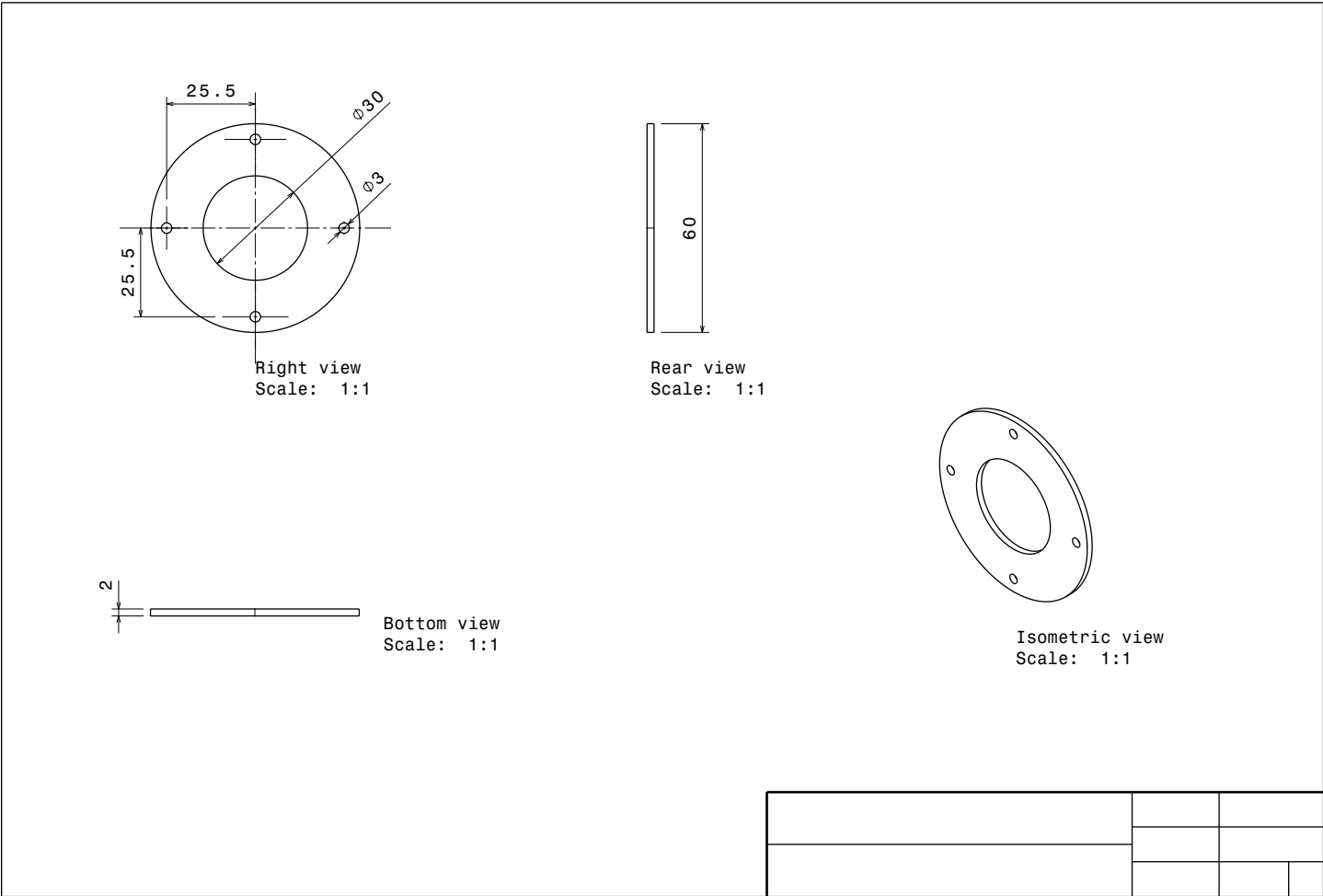
A.3 Konstruktionszeichnungen



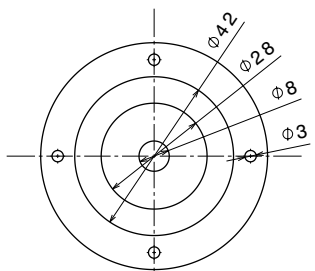




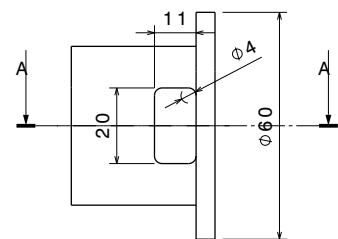




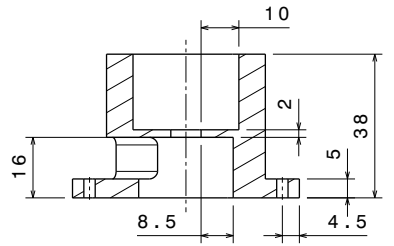




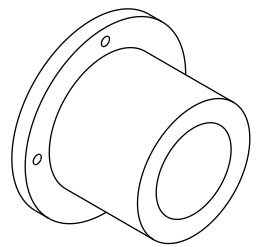
Top view  
Scale: 1:1



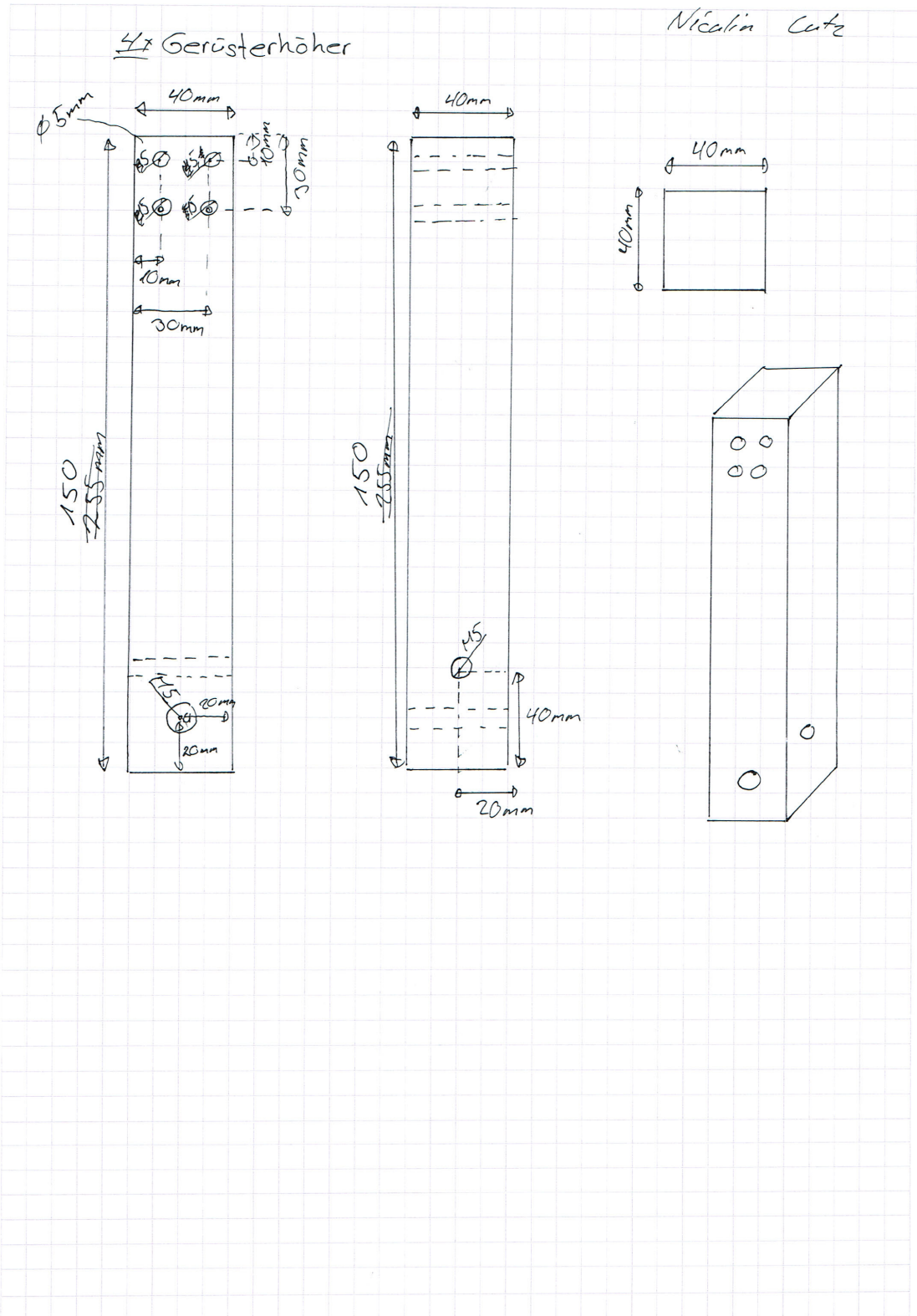
Rear view  
Scale: 1:1



Section view A-A  
Scale: 1:1

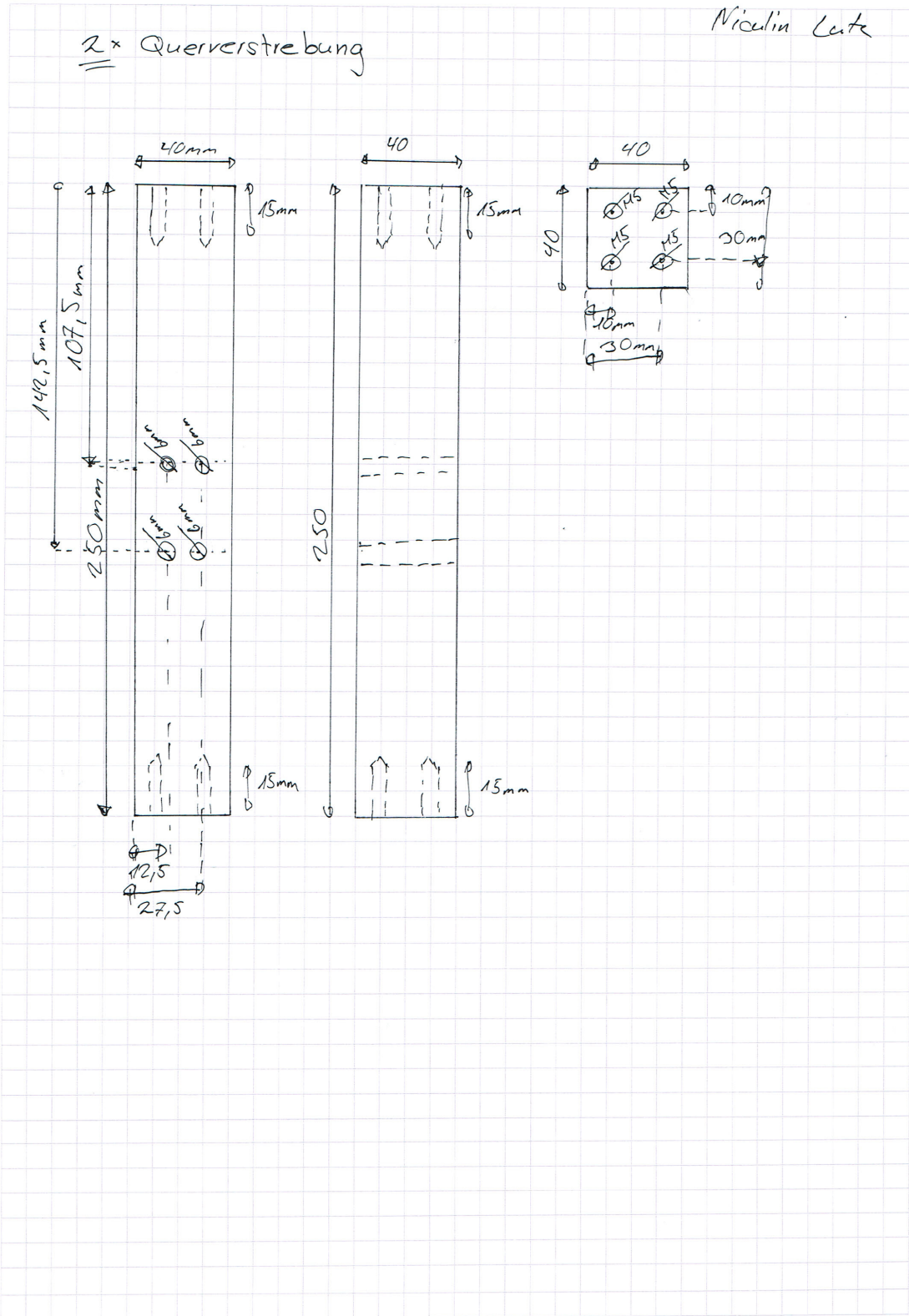


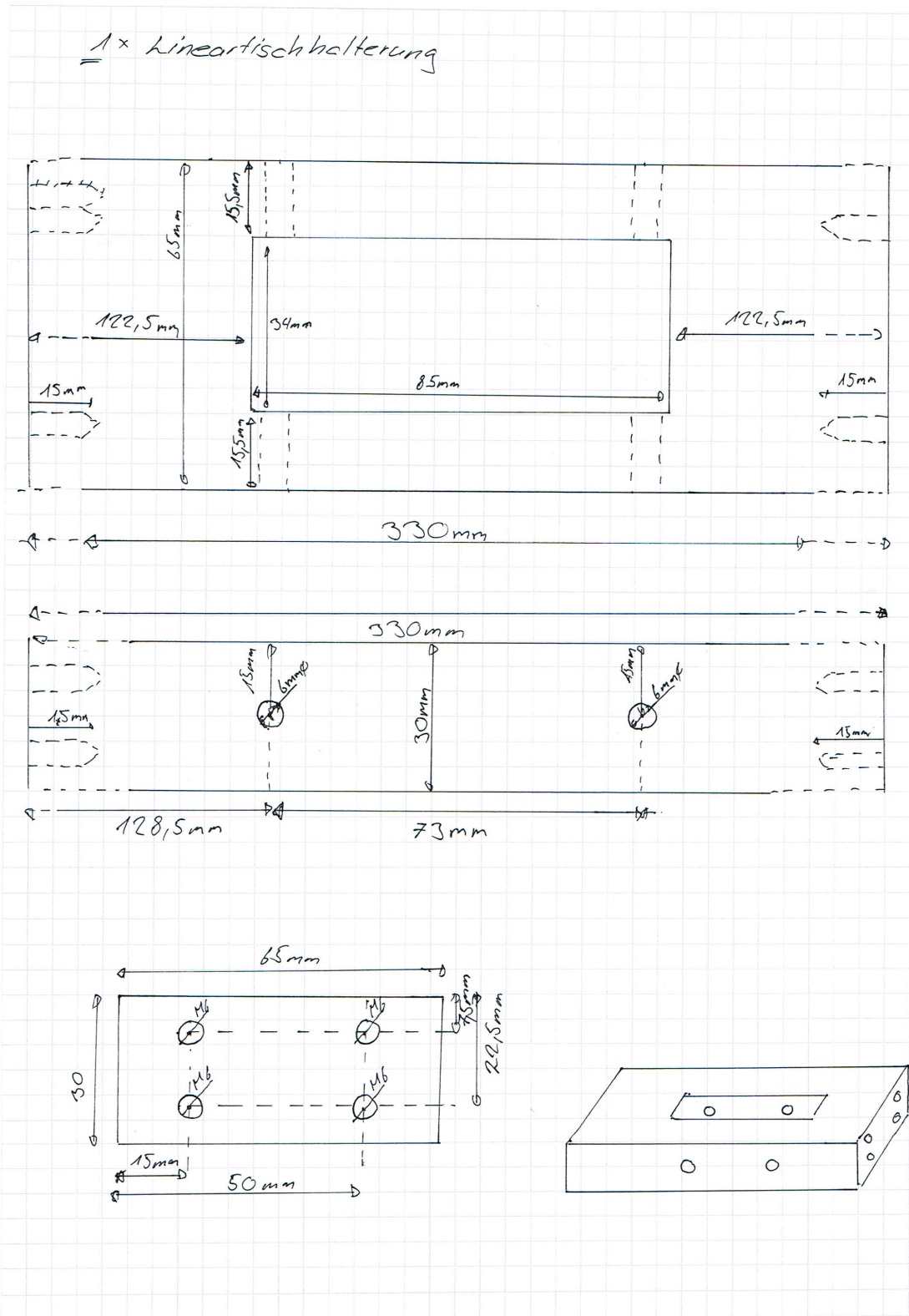
Isometric view  
Scale: 1:1

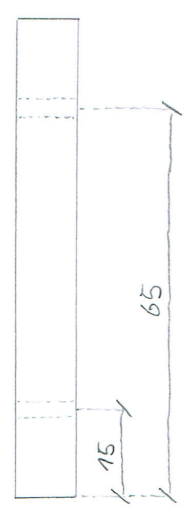
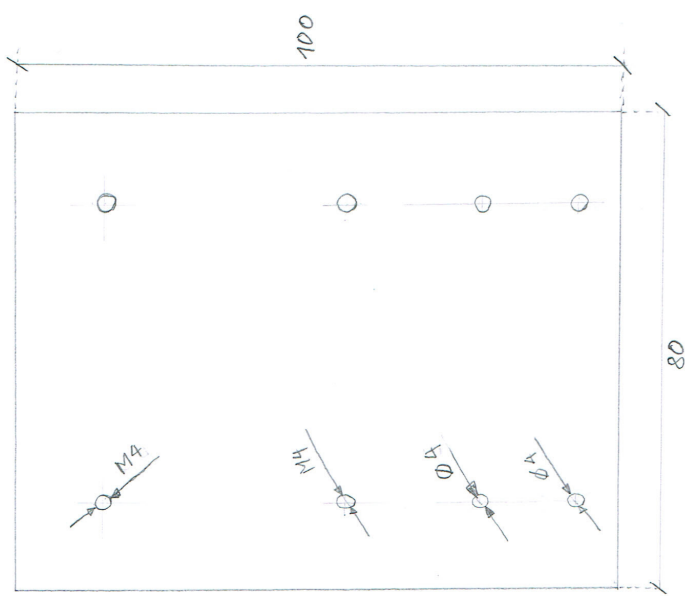
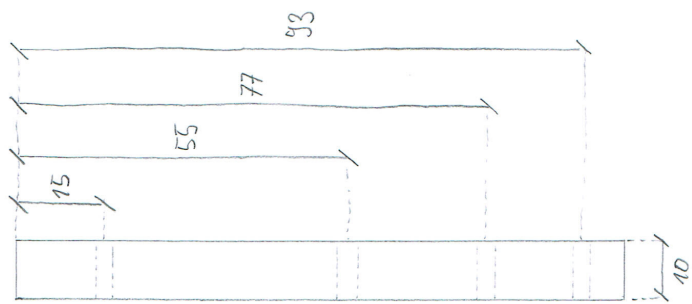



Niculin Lutz

2x Querverstrebung



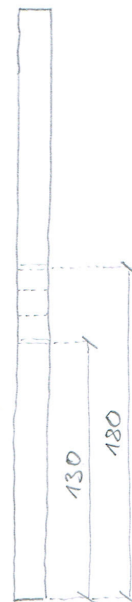
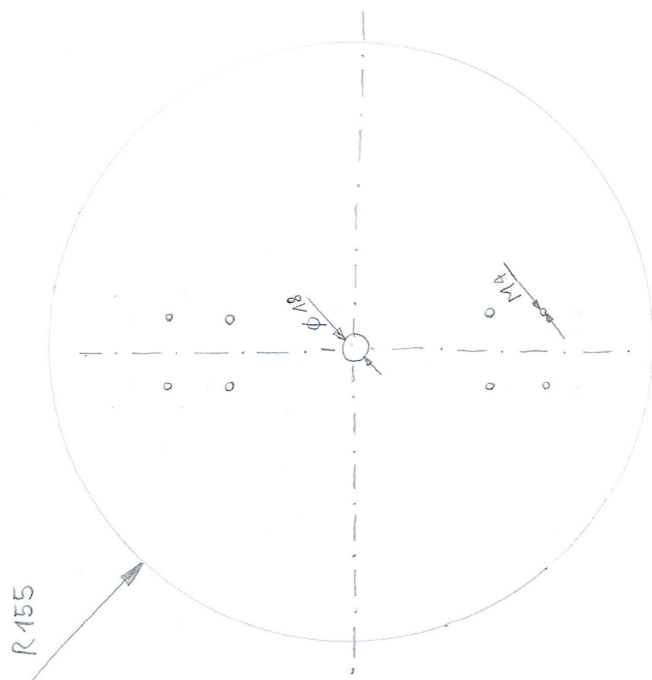
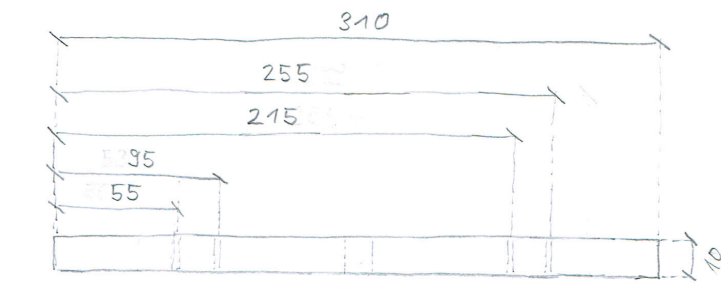




3

Christoph Gugg

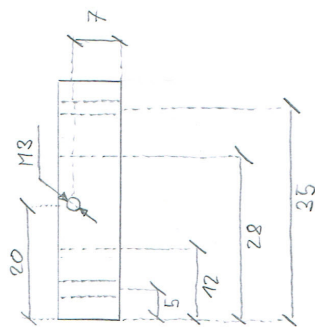
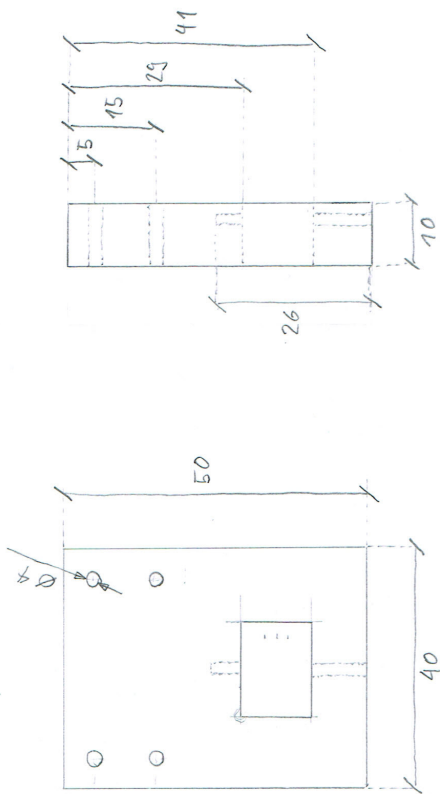
Plateau



5

Christoph Gergg

Drehtafel

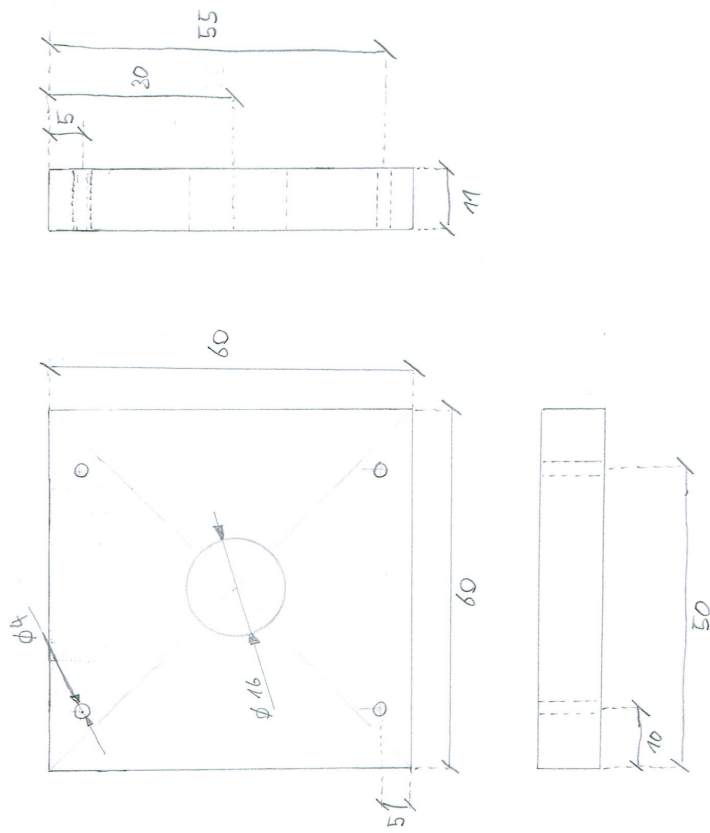


Drehtafellager unten

Christoph Gugg

6

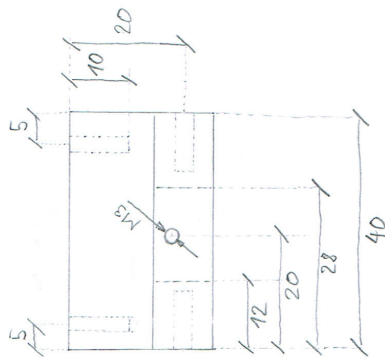
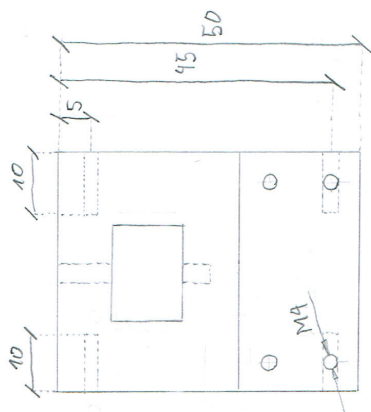
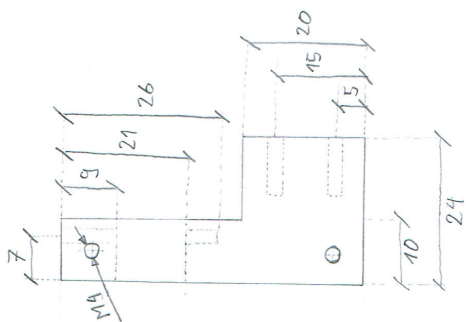




Spindelhalterung 2

Christoph Gugg

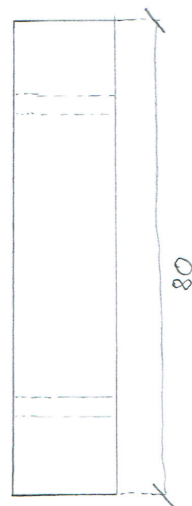
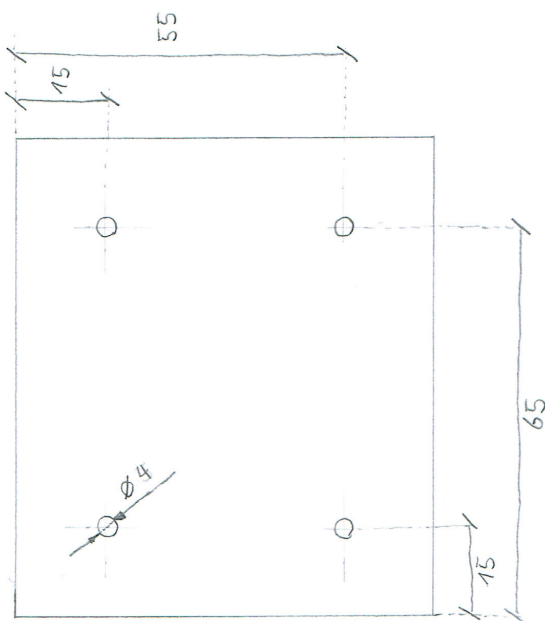
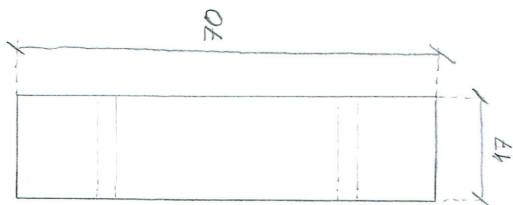
10



Drehtatellager oben

Christoph Gugg

7



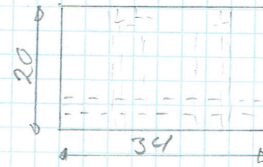
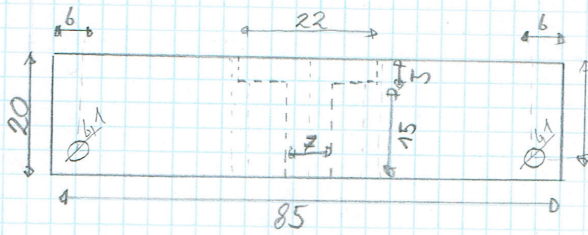
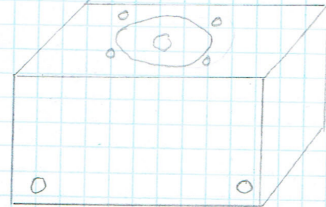
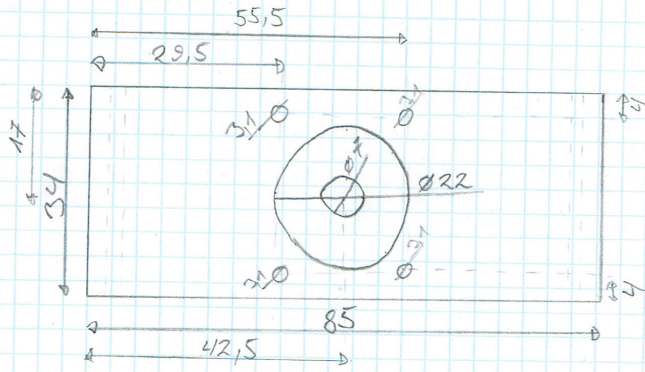
Distanzhalter

Christoph Gugg

4

Motorhalterung / Lineartischersatz

Niculin Latz

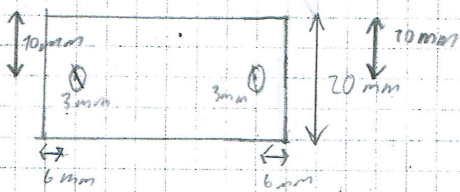
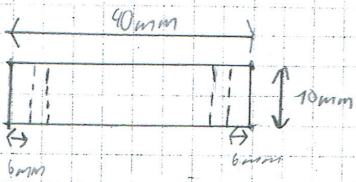
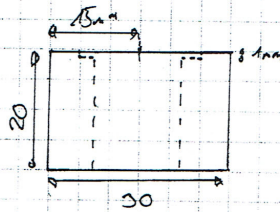
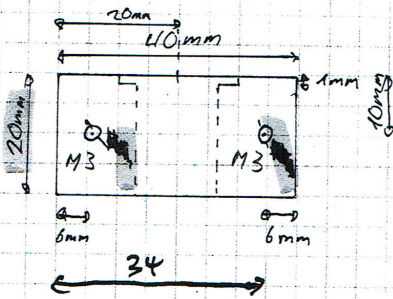
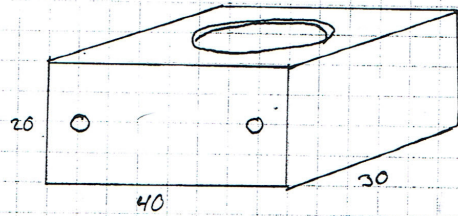
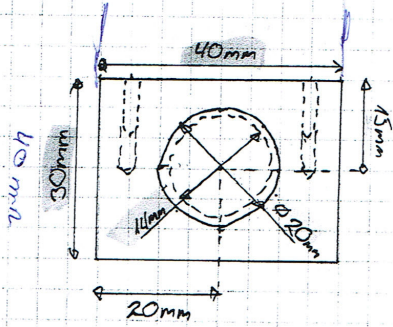


4x Gleitlagerhalterung

ALU/STAHL

Niculin lute

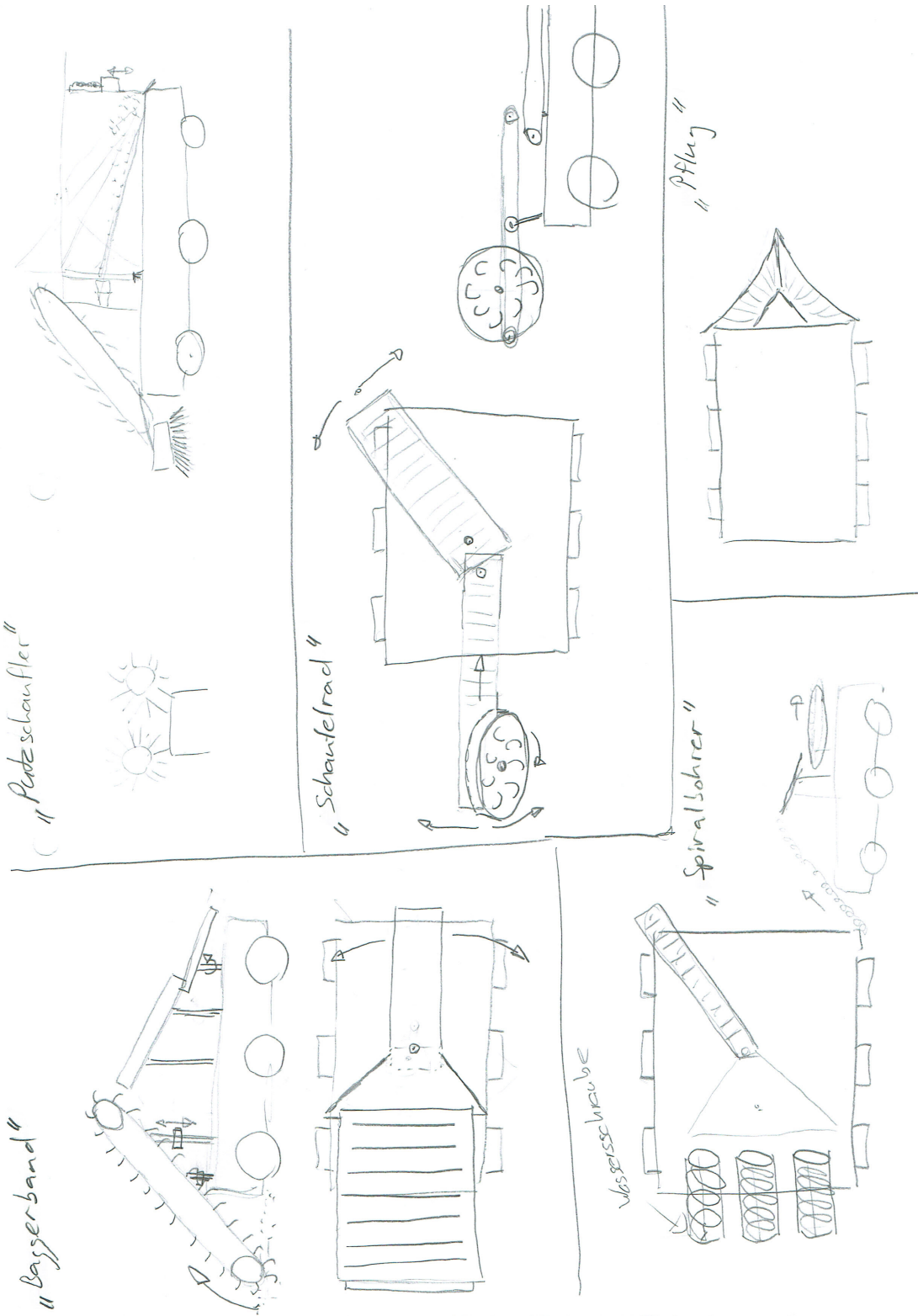
Toleranz hoch 14mm "d15"

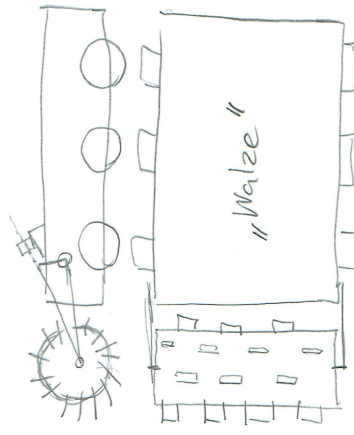
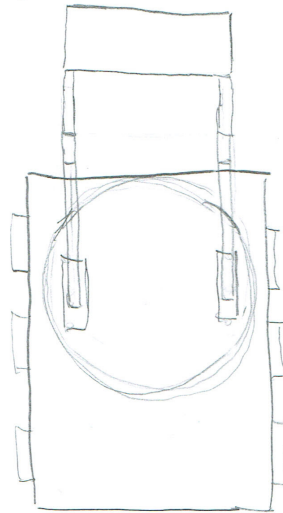
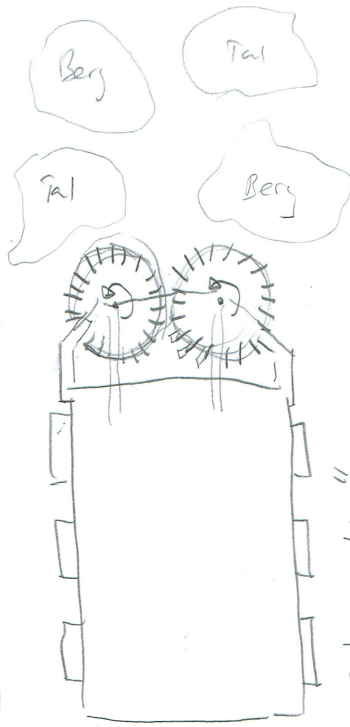
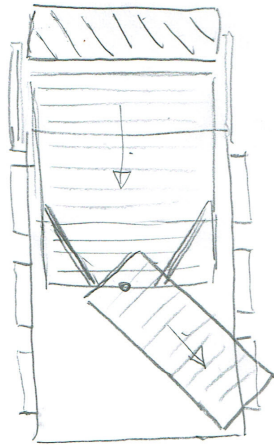
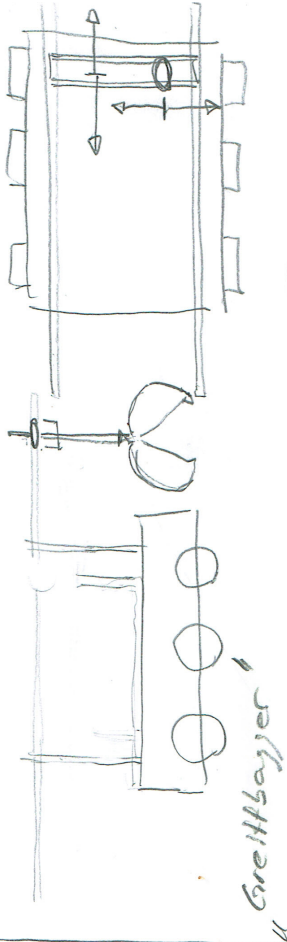
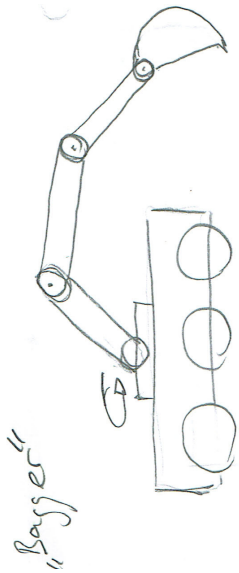


*Handwritten signature*



### A.4 Handskizzen







## A.5 Software Code

weblamp.py

18.12.13 20:57

```
#-----
# Import der Bibliotheken
#-----
import datetime
import time
from flask import Flask, request, render_template
import socket
import RPi.GPIO as GPIO
import thread
#-----
print("START\n\n")
#-----
# Define der Pinbelegung
channel = 18
pwm_vcc = 15
pwm_gnd = 14
step_en = 23
step_current_se = 24
step_direct = 25
step_clk = 8
endschalterh = 21
endschalterd = 22
app = Flask(__name__)
#-----

#-----
# Initial Values
step_richtung = 1
step_enable = 0
step_pos = 0
hohe = 0
freq = 50 #in HZ
duty = 0 #in %
#-----

#-----
# GPIO Initialisierung
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(7, GPIO.OUT)
GPIO.cleanup()
GPIO.setup(7, GPIO.OUT)

GPIO.setup(channel, GPIO.OUT)
GPIO.setup(pwm_vcc, GPIO.OUT)
GPIO.setup(pwm_gnd, GPIO.OUT)
GPIO.setup(step_en, GPIO.OUT)
GPIO.setup(step_current_se, GPIO.OUT)
GPIO.setup(step_direct, GPIO.OUT)
GPIO.setup(step_clk, GPIO.OUT)
GPIO.setup(endschalterh, GPIO.IN)
GPIO.setup(endschalterd, GPIO.IN)
GPIO.output(pwm_vcc, 1)
GPIO.output(pwm_gnd, 1)

pwm = GPIO.PWM(channel, freq)
pwm.start(duty)
#-----
```

Page 1 of 4

```
print("NACH ALLES INIT\n\n")
GPIO.output(step_current_se, 0)

#-----
# Stepmotor Ansteuerung Z-Achse
def steuerung():
    global hohe
    global step_pos
    global step_direct
    global step_en
    a=True

    print("In steuerung\n\n")
    while True:
        #print("...\n")
        GPIO.output(step_en, 0) # Motor Aus
        if hohe > (step_pos):
            GPIO.output(step_direct, 1)
            print("-\n\n"+str(hohe)+" "+str(step_pos))
            a=True
        if hohe < (step_pos):
            GPIO.output(step_direct, 0)
            print("+\n\n"+str(hohe)+" "+str(step_pos))
            a=False
        while not (hohe == step_pos): # Richtung fahren
            GPIO.output(step_en, 1) # Motor an
            GPIO.output(step_clk, 0)
            time.sleep(0.0001)
            if hohe > (step_pos):
                step_pos=step_pos+1
                if a == False:
                    hohe=step_pos
            if hohe < (step_pos):
                step_pos=step_pos-1
                if a == True:
                    hohe=step_pos
            GPIO.output(step_clk, 1)
            time.sleep(0.0001) # minimale loop pause

#-----

#-----
# Initialisierung der hoehe
def intposhohe():
    global step_pos
    global endschalterh
    global hohe

    print("in intposhohe\n\n")
    GPIO.output(step_en, 1)
    GPIO.output(step_direct, 1)
    while (GPIO.input(endschalterh)==1): # Fahren bis entschalter erreicht
        ist
        GPIO.output(step_clk, 1)
        sleep(0.0001) # minimale loop pause
        GPIO.output(step_clk, 0)
        sleep(0.0001) # minimale loop pause (veringerung der schrittverluste)
    GPIO.output(step_en, 0)
    step_pos=0
    hohe=0
```

```

GPIO.output(step_direct, 0)
#-----

#-----
# Initialisierung der Drehung
def intposdrehung():
    global s
    global endschalterd

    print("in intposdreh\n\n")
    s.send('<system pos="'+str(3000)+'" speed="0.2" current="0.2" acc="0" mode
="0" out1="0" out2="0" p="0" i="0" d="0" hT="0.2" />')
    while (GPIO.input(endschalterh)==1): # Fahren bis entschalter erreicht
        ist
        pass
    s.send('<system pos="'+str(angle)+'" speed="0.2" current="0.2" acc="0"
mode="4" out1="0" out2="0" p="0.1" i="0" d="0" hT="0.2" />')
    s.send('<system pos="'+str(angle)+'" speed="0.2" current="0.2" acc="0"
mode="0" out1="0" out2="0" p="0.1" i="0" d="0" hT="0.2" />')
    #motor mitteilen er ist auf der position 0
    pass
#-----

print("VOR APPROUTE\n\n")

#-----
# define des Webinterface aufrufes hoert auf
@app.route("/", methods = ['GET', 'POST'])
def initpage():
    global s
    global step_direct

    now = datetime.datetime.now() # Zeit einlesen
    thread.start_new_thread(steuerung,()) # thread steuerung starten
    TCP_IP = '192.168.1.102' #Motoradresse
    TCP_PORT = 20000 #Motorport
    s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    s.connect((TCP_IP, TCP_PORT)) # Verbinden mit Motor

    timeString = now.strftime("%d.%m.%Y %H:%M")
    templateData = {
        'title': 'Hallo!',
        'time':timeString
    }
    return render_template('main.html', **templateData)
#-----

#-----
# define des Webinterface aufrufes hoert auf GET POST befehle #wird aufgerufen
wenn ip/drive aufgerufen wird
@app.route('/front', methods = ['GET', 'POST'])
def front():
    global hohe
    global s

    if request.method == 'GET':
        now = datetime.datetime.now()
        timeString = now.strftime("%H:%M:%S")
        templateData = {

```

```
        'title' : 'Hallo!',
        'time':timeString
    }
    return render_template('front.html', **templateData)

if request.method == 'POST':
    if request.form['submit'] == 'Init_hohe':
        intposdrehung() # Hoehe initialisieren
    if request.form['submit'] == 'Init_drehung':
        intposdrehung() #Drehung initialisieren
    if request.form['submit'] == 'Send_BLCD':
        duty=int(request.form['BLCD'])/6 # eschwindigkeit einlesen
        pwm.ChangeDutyCycle(duty)
    if request.form['submit'] == 'Send_Hohe':
        hohe=int(request.form['hohe'])*100
        print("\n"+str(hohe)+"\n")
    if request.form['submit'] == 'Send_angle':
        angle=int(request.form['angle'])*5
        s.send('<system pos="'+str(angle)+" speed="0.3" current="0.5" acc
            ="0" mode="0" out1="0" out2="0" p="0.3" i="0.0" d="0.0" hT="
            0.5" />')
    now = datetime.datetime.now()
    timeString = now.strftime("%H:%M:%S")
    templateData = {
        'title' : 'Hallo!',
        'time':timeString
    }
    return render_template('front.html', **templateData)

#-----

#-----
# Webserver erstellen
if __name__ == "__main__":
    app.run(host='0.0.0.0', port=80, debug=True)
#-----
```