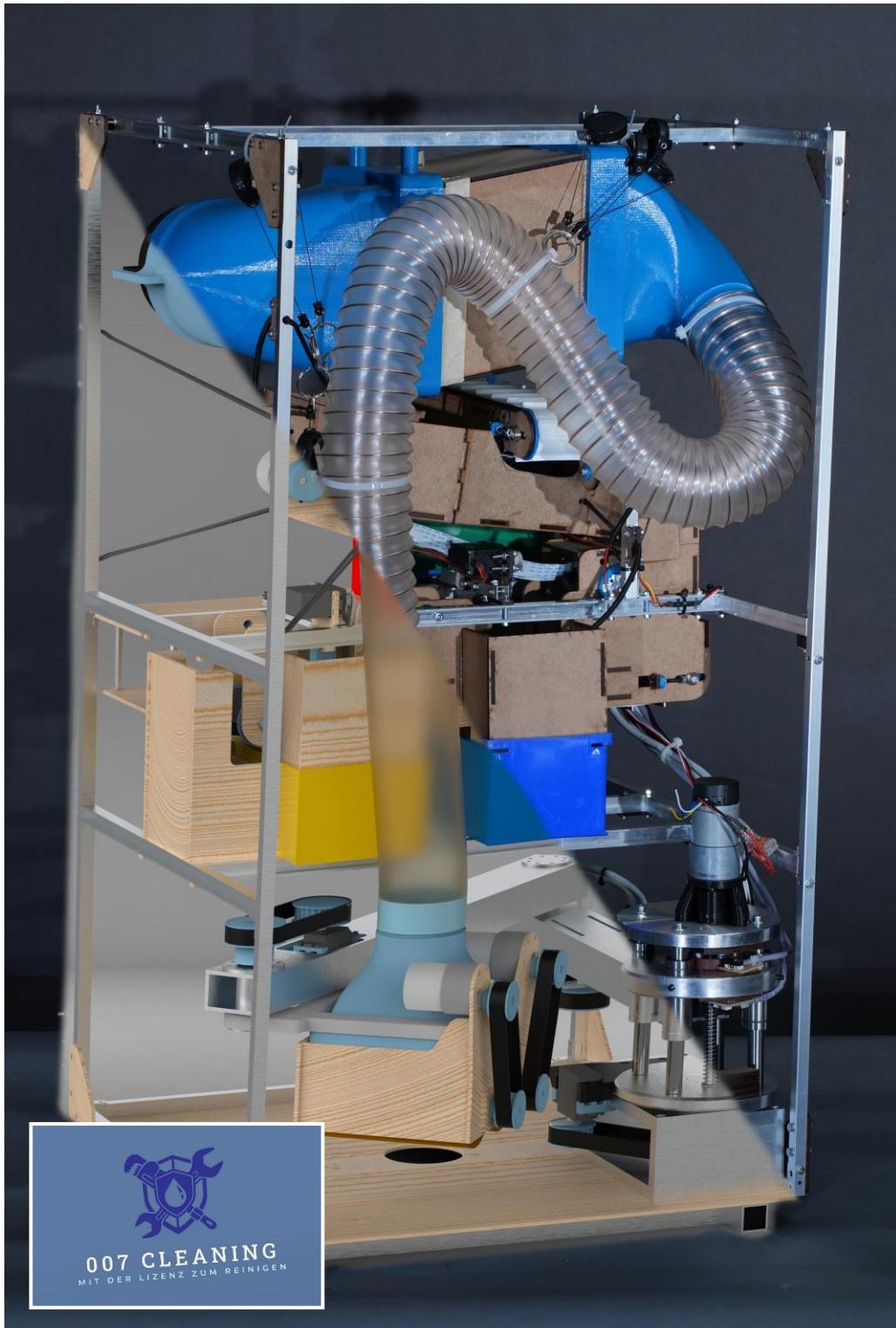


Produktentwicklung 2 - FS23

007-Cleaning präsentiert:
DIRT – Direkt integrierter Restmüll Trenner



Hochschule Luzern – Technik & Architektur / Informatik
Horw, 10. Juni 2023

Produktentwicklung 2 - Team 007

| | | |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Marco Odermatt | Elektrotechnik (Teilzeit) | marco.odermatt.01@stud.hslu.ch |
| Merlin Blickisdorf | Elektrotechnik (Vollzeit) | merlin.blickisdorf@stud.hslu.ch |
| Alessandro Gilardi | Maschinentechnik (Vollzeit) | alessandro.gilardi@stud.hslu.ch |
| Marco Michel | Maschinentechnik (Vollzeit) | marco.michel@stud.hslu.ch |
| Simon Gander | Informatik (Teilzeit) | simon.gander@hslu.ch |
| Dominic Ammann | Informatik (Teilzeit) | dominic.ammann@stud.hslu.ch |
| Keerthdigan Ravinthiran | Informatik (Vollzeit) | keerthdigan.ravinthiran@stud.hslu.ch |

007-Cleaning, Mit der Lizenz zum Reinigen

DIRT – Direkt integrierter Restmüll Trenner

Betreuer Dozent:

Rolf Kamps

Redlichkeitserklärung

Hiermit bestätigt das Team 007 und Ihre Mitglieder, die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne externe Hilfe erarbeitet zu haben. Zudem wurden keine Hilfsmittel verwendet, die nicht explizit erwähnt werden. Sämtliche Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser sind als solches gekennzeichnet und mit einer Quelle fundiert. Die Arbeit wurde durch das Team 007 erstellt und ist in dieser Form online oder in einer anderen Quelle nicht auffindbar. Nachfolgend die Unterschriften aller Teammitglieder:

Marco Odermatt



Merlin Blickisdorf



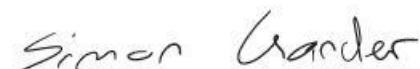
Alessandro Gilardi



Marco Michel



Simon Gander



Dominic Ammann



Keerthdigan Ravinthiran



Versionskontrolle

| Version | Datum | Änderung | Wer |
|---------|------------|--|-------------|
| 1.0 | 10.03.2023 | Abgabe Testat 1 - Detailplanung (SW3) | Team |
| 1.1 | 16.03.2023 | Kapitel 2.3 «Ergänzungen im Projektmodul 2» ergänzt | MOD |
| 1.2 | 31.03.2023 | Kapitel 3.1 «Laser Cutting» ergänzt | MOD |
| 1.3 | 14.04.2023 | Kapitel 3.2 «3D-Druck» ergänzt | MBL |
| 2.0 | 20.04.2023 | Abgabe Testat 2 - Gerät aufgebaut (SW08) | Team |
| 2.1 | 21.04.2023 | Kapitel 4.1 «Kehrmaschine» und 4.4 «Förderbänder» ergänzt | MBL |
| 2.2 | 05.05.2023 | Kapitel 4.6 «Laser-Lichtschranke» und 4.7 «Waage» ergänzt | MBL |
| 2.3 | 18.05.2023 | Kapitel 5.5 «Aufbau Informatik» ergänzt | SGA, KRA |
| 2.4 | 23.05.2023 | Kapitel 4.3 «Staubsauger», 4.5 «Vereinzelner» und 4.8 «Sortier-Kicker» ergänzt | MOD |
| 2.5 | 24.05.2023 | Kapitel 6.2.2 «Protokoll» ergänzt | KRA |
| 2.6 | 25.05.2023 | Kapitel 3.3 «ALU-Bauteile» und 4.2 «SCARA-Arm» ergänzt | AGI |
| 3.0 | 26.05.2023 | Abgabe Testat 3 - 80 % der Dokumentation (SW13) | Team |
| 3.1 | 04.06.2023 | Kapitel 6.3 «Risikomanagement» ergänzt | MBL |
| 3.2 | 05.06.2023 | Kapitel 5.4 «Aufbau Elektrotechnik» | MOD, MBL |
| 3.3 | 06.06.2023 | Restliche Dokumentation ergänzt | Team |
| 4.0 | 06.06.2023 | Vorabzug – 95 % der Dokumentation (zum Gegenlesen) | Team |
| 4.1 | 09.06.2023 | Anpassungen der Korrekturvorschläge | MBL |
| 5.0 | 10.06.2023 | Abgabe Dokumentation – Finale Version | Team |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Management Summary | 7 |
| 1 Einleitung | 8 |
| 2 Problemstellung..... | 9 |
| 2.1 Strandreinigung | 9 |
| 2.2 Aufgabenstellung | 10 |
| 2.3 Ergänzungen im Projektmodul 2..... | 11 |
| 3 Vorbereitungsarbeiten | 12 |
| 3.1 Laser Cutting | 12 |
| 3.2 3D-Druck..... | 13 |
| 3.3 ALU-Bauteile | 19 |
| 4 Baugruppen | 20 |
| 4.1 Kehrmaschine..... | 20 |
| 4.2 SCARA-Arm..... | 21 |
| 4.3 Staubsauger | 23 |
| 4.4 Förderbänder | 24 |
| 4.5 Vereinzelter | 25 |
| 4.6 Laser-Lichtschranke | 26 |
| 4.7 Waage..... | 28 |
| 4.8 Sortier-Kicker..... | 29 |
| 4.9 Gebläse | 30 |
| 4.10 Rahmen..... | 30 |
| 5 Endprodukt | 31 |
| 5.1 Übersicht | 32 |
| 5.2 Bedienung des DIRT | 33 |
| 5.3 Aufbau Mechanik | 34 |
| 5.4 Aufbau Elektrotechnik | 36 |
| 5.5 Aufbau Informatik..... | 43 |
| 5.6 Schnittstellen | 48 |
| 5.7 Gewichtsersparnis | 49 |
| 5.8 Strategie Wettbewerb | 50 |
| 6 Projektmanagement | 51 |
| 6.1 Organisation | 51 |

| | | |
|------|---|-----|
| 6.2 | Durchführung | 54 |
| 6.3 | Risikomanagement | 58 |
| 6.4 | Kostenkontrolle | 61 |
| 7 | Nachhaltigkeit | 63 |
| 7.1 | Ziel 12 - Responsible consumption and production..... | 63 |
| 7.2 | Ziel 14 - Life below water..... | 64 |
| 7.3 | Häufigste Materialien im DIRT | 65 |
| 7.4 | Umwelt schädlichste Materialien im DIRT | 67 |
| 7.5 | CO2-Bilanz..... | 68 |
| 8 | Fazit..... | 73 |
| 9 | Verzeichnisse | 74 |
| 9.1 | Literatur- und Quellenverzeichnis..... | 74 |
| 9.2 | Abbildungsverzeichnis | 80 |
| 9.3 | Tabellenverzeichnis..... | 83 |
| 9.4 | Abkürzungsverzeichnis | 83 |
| 10 | Anhang | 85 |
| 10.1 | Aufgabenstellung | 85 |
| 10.2 | Projektplanung | 89 |
| 10.3 | Organigramm | 91 |
| 10.4 | Rollenverteilung | 92 |
| 10.5 | Technische Zeichnungen..... | 93 |
| 10.6 | Diverse Datenblätter..... | 110 |

Management Summary

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Moduls Produktentwicklung 2, kurz PREN 2, an der Hochschule Luzern Technik & Architektur und Informatik erarbeitet. Das Dokument wurde durch das Team 07 erstellt, welches interdisziplinär aus den drei Studiengängen Maschinen-technik, Elektro- & Informationstechnik und Informatik zusammengesetzt ist.

Das Modul PREN 2 ist die Fortsetzung des Moduls PREN 1. Das Team 07 hat im Modul PREN 1 bereits ein Gerät konzipiert, welches auf einem Roboter platziert werden kann und dabei verunreinigte Kiesstrände reinigen soll. Die Arbeit des Geräts muss bis auf einen Start und Stopp-Befehl autonom vonstattengehen.

Die Aufgabe im PREN 2 besteht darin, dieses Gerät zu realisieren, testen und in einem finalen Wettbewerb auf die Probe zu stellen.

Zu Beginn des Moduls wurde eine Projektplanung erstellt, um möglichst effizient den DIRT aufzubauen. Dabei wurde darauf geachtet, möglichst schnell erste Baugruppen fertig zu stellen, um früh erste Tests durchführen zu können. Diese Tests zeigten, wo es noch Anpassungsbedarf gibt. Grössere Modifikationen stellten ein Risiko dar, da auch ständig die Gewichts- und Budgetkontrolle eingehalten werden muss. Die Kommunikation zwischen den Departements hat einwandfrei funktioniert und so konnte ein funktionierendes Gerät realisiert werden. Die Kommunikation war wichtig, damit sich die Anpassungen am Gerät auch auf die Software auswirken, wie die Bilderkennung oder die Ansteuerung von Motoren. Es wurden jedoch nicht alle Ziele erreicht. Um die Anforderungen des Gewichts erreichen zu können, musste auf eine Teilfunktion verzichtet werden.

Mit der Umsetzung des Projekts und der Kommunikation zwischen verschiedenen Departements, konnten lehrreiche Schlüsse gezogen werden, welche in zukünftigen Projekten wertvoll sein werden. Das Team 07 freut sich nun auf den abschliessenden Wettbewerb, welcher als Abschluss der Modulreihe PREN stattfindet. Dort wird das Gerät auf die Probe gestellt und kann sich mit den anderen Teams messen.

1 Einleitung

Mit dieser Dokumentation wird auf dem bereits erarbeiteten Wissen und Konzept aus dem PREN 1 aufgebaut. Hier wird im Rahmen des Moduls Produktentwicklung 2 (PREN 2) an der Hochschule Luzern Technik & Architektur und Informatik die Umsetzung dieses Konzeptes festgehalten. Das durch das Team 007 erarbeitete Konzept wird «Direkt Integrierter Restmüll Trenner» (DIRT) genannt. Nebst dem Namen des Produkts selbst, hat sich das Team zudem noch den fantasievollen Namen «007-Cleaning, Mit der Lizenz zum Reinigen» gegeben, was eine Anspielung an die britischen James-Bond Filme von Ian Flemming ist.

Zu Beginn wird auf die Problemstellung eingegangen. Dort werden zudem die Änderungen und Ergänzungen der Aufgabenstellung erwähnt. Danach wird auf die Herstellungsarten eingegangen, mit welcher die diversen Baugruppen erstellt werden. Eben diese werden anschliessend genauer beschrieben und deren Funktionsweise erklärt.

Folgend ist das Endprodukt aus den jeweiligen Perspektiven der Departemente (Mechanik, Elektrotechnik und Informatik) beschrieben. Jedes Departement geht noch zusätzlich auf Einzelheiten ein, welche besondere Aufmerksamkeit gefordert haben.

Das Projektmanagement fasst die planerischen Aspekte des Projektes zusammen. Dabei wird der Projektplan sowie die Rollen aufgezeigt, ein Protokoll geführt und die Risiken und die Kosten zusammengefasst.

Vor dem finalen Fazit findet sich noch die Abhandlung der Nachhaltigkeit, welches die verfolgten Nachhaltigkeitsziele festhält, bedenkliche Materialien und Stoffe aufzählt und eine CO₂-Bilanz aufstellt, um den ökologischen Einfluss des DIRT abschätzen zu können.

2 Problemstellung

Die heutigen Strände sind vermehrt verschmutzt, durch den Müll, der unsere Wegwerfgesellschaft erzeugt. Dieser Müll, welcher in manchen Fällen achtlos weggeworfen wird, landet in den Flüssen, wird über lange Wege in das Meer getragen und unter Umständen an einem anderen Ort auf der Welt wieder an einem Strand angespült. Die Landlebewesen und Meeresbewohner leiden unter dieser Verschmutzung. Dieses Problem ist Global und muss kurzfristig gedämpft und langfristig komplett eliminiert werden. Dies ist eine Mammut-Aufgabe, die es in dieser und den nächsten Generationen zu bewältigen gilt.

Das diesjährige Modul PREN der Hochschule Luzern Technik & Architektur und Informatik versucht diesem Geschehen entgegenzuwirken und diesen Müll aus Kiesstränden einzusammeln, um so der Umwelt zu helfen. Zudem soll durch nachhaltige Materialwahl und mitdenken der ökologischen Auswirkungen, keine zusätzliche Verschmutzung stattfinden.

2.1 Strandreinigung

Im Rahmen der Recherche zeigt diese Arbeit auf, welche Systeme bereits heute zur Reinigung von Sandstränden eingesetzt werden. Das Reinigen von Stränden ist nicht ein neues Problem. In vielen Regionen der Welt, primär in Feriendestinationen am Meer, werden Maschinen eingesetzt, um die Strände der Besucher möglichst sauber zu halten. Jedoch beschränken sich diese Maschinen auf das Reinigen von Sandstränden und nicht Kiesstränden. Eine Firma, die sich auf dieses Fachgebiet spezialisiert hat, nennt sich BeachTech, was eine Tochtergesellschaft der «Kässbohrer Geländefahrzeug AG» ist. Dies ist ein deutsches Unternehmen mit Sitz in Laupheim.¹ Die Firma Kässbohrer deckt die drei Sparten Pistenbully, Strandreiniger und Powerbully ab. BeachTech ist der Teil der Firma, der für die Strandreiniger zuständig ist. Das Angebot des Betriebs besteht aus fertigen Fahrzeugen oder Anhängern, die man bei einem Traktor befestigen kann. Diese Fahrzeugtypen sind in den folgenden drei Abbildungen, Abb. 1, Abb. 2 und Abb. 3 zu erkennen.

Es ist gut erkennbar, dass diese Maschinen bei einem Kiesstrand nicht funktionieren würden, da diese für Sand konzipiert sind und bei einem Kiesstrand verstopfen und folglich Schaden nehmen würden.



Abb. 1: BeachTech Marina



Abb. 2: BeachTech Sweepy Hydro



Abb. 3: BeachTech 2500

¹ (beach-tech.com, 2022)

2.2 Aufgabenstellung

Die diesjährige Aufgabenstellung des Modul PREN der Hochschule Luzern besteht darin, ein Kiesbett zu reinigen, welches mit Zigarettenstummeln, Kronkorken, PET-Deckeln und Wertgegenständen «verschmutzt» ist. Die vier Typen an Gegenständen müssen sortiert und anschliessend in vier Ablageboxen befördert werden. Dabei gibt es Punktabzüge, wenn Gegenstände in einer falschen Ablagebox liegen. Die Gegenstände müssen gezählt und in Echtzeit auf einer Webseite dargestellt werden. Die Dimensionen sind wie folgt definiert: Grösse Kiesbett ca. 950 x 700 x 40 mm (LxBxH), max. Grösse des zu entwickelnden Geräts 450 x 450 x 800 mm (LxBxH), Grösse Kies $\varnothing = 5$ mm bis 50 mm und die Grösse der Ablageboxen ca. 102 x 170 x 77 mm (LxBxH). Das Gerät darf ein maximales Gewicht von 15 kg nicht überschreiten. Für die Montage des Geräts wird dem Team eine Zeit von zwei Minuten bereitgestellt. Mit vier Schrauben wird die Maschine an der Grundplatte befestigt. Anschliessend hat das Gerät vier Minuten Zeit, das Kiesbett zu säubern. Zu diesem Zeitpunkt muss das Gerät zudem zurück in die Ursprungsposition und innerhalb des zur Verfügung gestellten Volumen Platz finden. Während der Arbeitszeit gibt es eine 2 m grosse Sicherheitszone um die Grundfläche. Diese darf durch das Gerät oder andere Objekte, wie Steine, nicht verlassen werden. In der Abb. 4 ist eine Detailskizze der Aufgabenstellung zu erkennen.

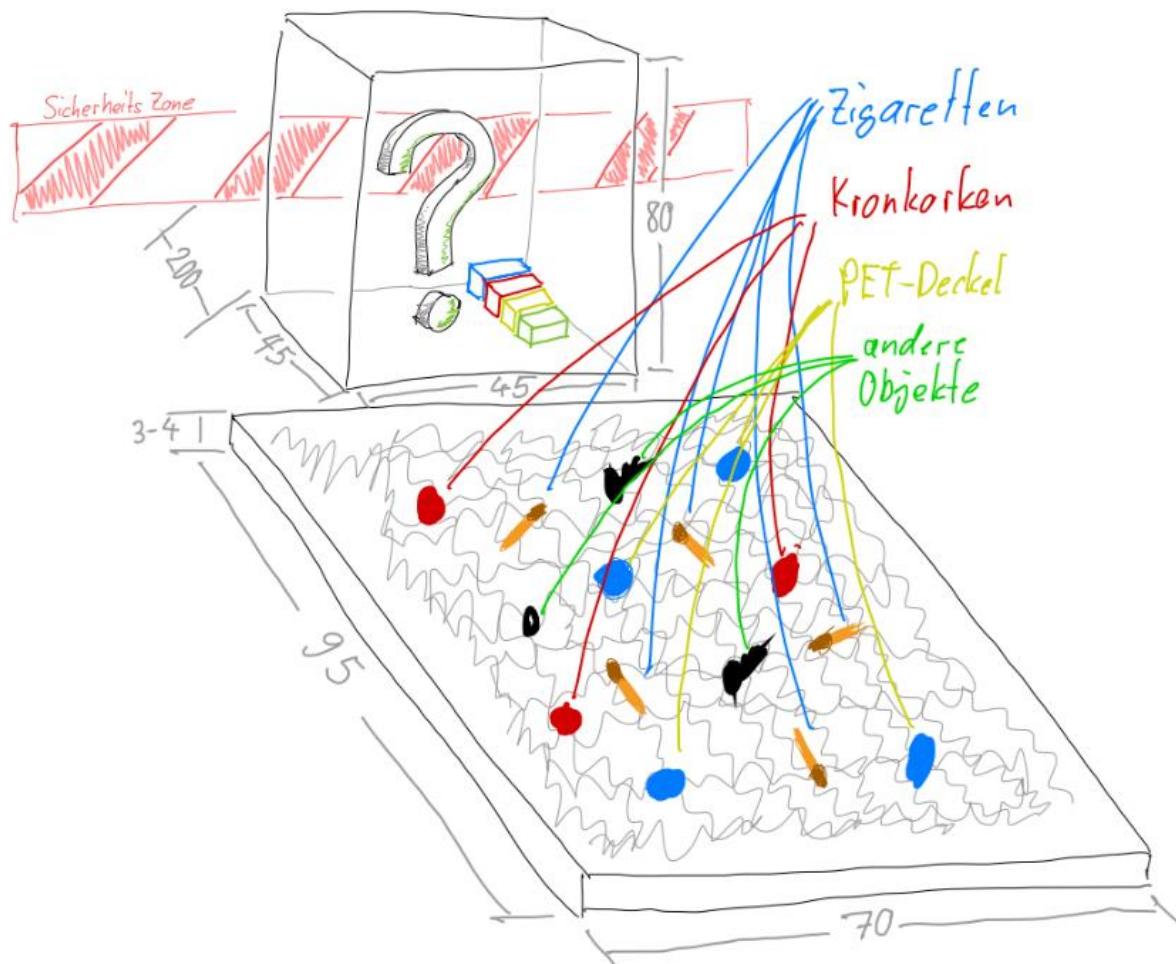


Abb. 4: Detailskizze Aufgabenstellung

2.3 Ergänzungen im Projektmodul 2

Für das zweite Semester von PREN wurden zusätzliche Anpassungen und weiter blickende Anforderungen gestellt. Die genauen Masse für die Montage auf dem «Roboter-Hund» wurden angegeben, das FAQ wurde erweitert und eine zusätzliche Ökobilanz wurde gefordert.

2.3.1 Poster

Für den Abschluss des PREN von diesem Semester, wird an der Abschlusspräsentation und für den Wettkampftag ein Team-Poster benötigt. Eine Vorlage sowie Vorgaben an das Poster wurden über Ilias bereitgestellt.

Für das Poster hat das Team geplant, ein Schnittbild zu erstellen, wobei einerseits das CAD zu sehen ist und andererseits ein echtes Bild vom aufgebauten DIRT. Dieses Bild ist auf dem Deckblatt dieser Dokumentation zu sehen. Die Baugruppen werden gezeigt und deren Funktion in einigen Worten zusammengefasst. Eine Ökobilanz-Anzeige vergleichbar mit Kühlschränken oder Autos soll zudem das Poster mit Humor abrunden, siehe Abb. 5.

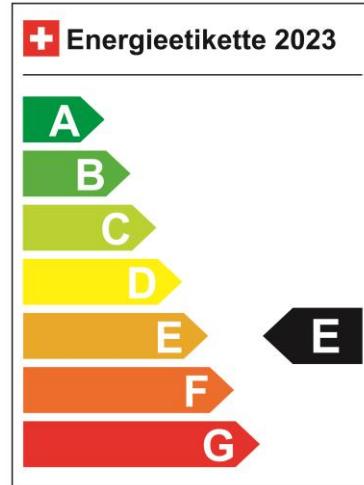


Abb. 5: Ökobilanz-Anzeige

2.3.2 Nachhaltigkeit

Ein zusätzliches Augenmerk wird zudem auf die Nachhaltigkeit gelegt. So sollen die drei am häufigsten verwendeten Materialien des gebauten Roboters in kg und % aufgelistet und dargestellt werden, in Abhängigkeit zum Gesamtgewicht. Zudem sollen auch mindestens drei Materialien genannt werden, welche im Roboter verbaut wurden und einen hohen Einfluss auf das Klima haben. Diese sollen kurz in einem Satz beschrieben werden, weshalb sie nicht nachhaltig sind.

3 Vorbereitungsarbeiten

In diesem Kapitel werden die Vorbereitungsarbeiten für die Einzelteile der Baugruppen näher erläutert. Es ist in die drei Kapitel 3.1 «Laser Cutting», 3.2 «3D-Druck» und 3.3 «ALU-Bauteile» aufgeteilt.

3.1 Laser Cutting

Um grosse Teile zu fertigen, wurde ein Laser-Cutter verwendet. Dieser bewegt einen starken Laser punktgenau über eine Schneidefläche. So können mittels Flächen, grössere Volumen einfach und effizient gefertigt werden. Das verwendete Material dafür ist hier 3 mm starkes MDF. Damit wird die Balance von Stabilität und Gewicht für unseren Fall gut getroffen. In Abb. 6 rechts wird die Seitenplatte des Bürstengeräts gelasert.

In der Abb. 7 sind zwei gelaserte Bauteile zu erkennen. Oben im Bild ist eine Seite des grossen Förderbandes zu erkennen, von welchem die Abfallgegenstände gekickt werden und wobei auch die Kamera, rechts von der Platte, befestigt wird. Im unteren Teil der Abbildung ist die Technikplatte zu erkennen, auf welchem schlussendlich der Raspberry Pi und der Arduino MEGA montiert wird.

Der Stromverbrauch stellt sich zusammen aus dem Laser selbst, sowie der Wasserkühlung, welche nötig ist für die Laserröhre. Das Netzteil der Laserröhre nimmt 230 V auf und gibt bei maximal 30 mA 24 kV ab. Für längere Benutzungszeiten ist die Empfehlung gegeben, 28 mA nicht zu überschreiten. Deswegen wurde diese Angabe für die Berechnung genutzt. Die Effizienz des Netzteils beläuft sich auf ca. 90 %.² Somit berechnet sich eine Leistungsaufnahme von 747 W. Der Wasserkühler weisst bei 220 V einen Stromverbrauch von 0.45 A auf.³ Das entspricht einer Leistung von 99 W. Der totale Verbrauch kommt somit auf 846 W.

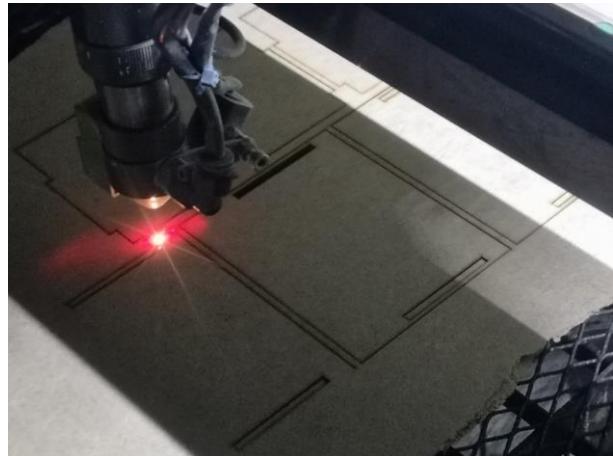


Abb. 6: Laser-Cutter in Aktion

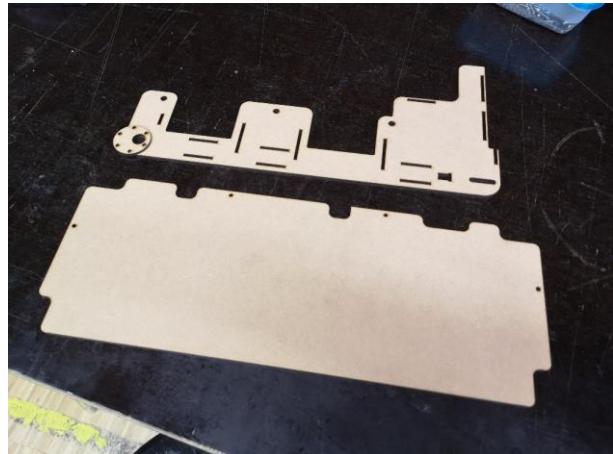


Abb. 7: Gelaserte Bauteile für Förderband und Technikplatte

² (amazon.com, 2023)

³ (3dtwix.com, 2023)

3.2 3D-Druck

Im folgenden Kapitel wird näher auf die Schwierigkeiten und Erfolge des 3D-Druckes eingegangen. Es steht die Kalibrierung des 3D-Druckers im Fokus und welche Resultate, Erfolge und Misserfolge dieser erzielt hat.

3.2.1 3D-Druck mit nachhaltigem Filament

Um auf den Nachhaltigkeitsaspekt näher einzugehen, wurde für die 3D-Druckteile ein recyceltes Filament gewählt. Dieses besteht aus 100 % recyceltem HD-Glass. HD steht für «Heavy Duty», was bedeutet, dass das ursprüngliche Filament stärkere Eigenschaften hatte als das daraus rezyklierte Filament. Zudem ist das ursprüngliche HD-Glass eine Art von PETG-Filament, welches leicht glänzende und transparente 3D-Drucke erzeugt.⁴ Um das Filament zu testen, wurde zunächst ein sogenanntes Benchy gedruckt. Das Benchy ist ein kleines Boot, welches die meisten Herausforderungen abdeckt, die ein 3D-Druck potenziell haben könnte. Deshalb ist dies ein optimales Objekt, um damit einen Testdruck durchzuführen. In der Abb. 9 kann man den ersten Druck eines Benchy erkennen, bei welchem die Fäden bereits entfernt wurden. Wie zu sehen, ist die Temperatur der Düse zu hoch, da es zum Teil Klumpen oder ungewollte Ansätze gibt (Rot umrandet).

Im zweiten Druck, siehe Abb. 8, wurde eingestellt, dass das Filament beim Aufheben des Druckkopfes mehr eingezogen wird, jedoch anscheinend zu viel, denn es resultierte ein Materialverzug, was im Schiffsrumph (Rot umrandet) zu erkennen ist. Zudem wurde die Temperatur des Druckkopfes von 255 C auf 230 C reduziert. Auf diesem Bild wurden die Fäden, welche bei PETG bekannt sind, noch nicht entfernt. Solche Fäden lassen sich jedoch sehr einfach mit einem Feuerzeug oder durch einfaches Abziehen entfernen.

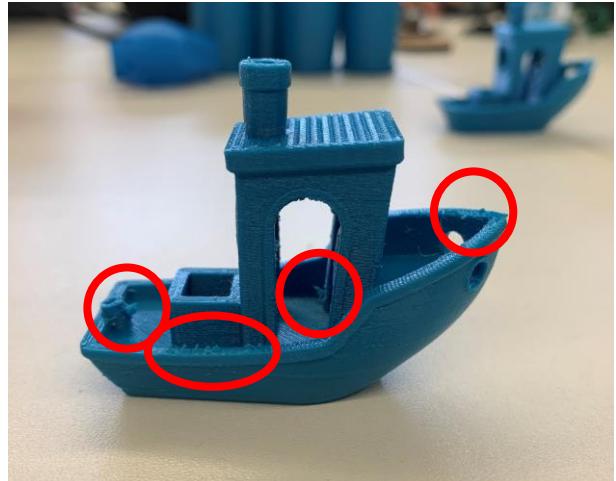


Abb. 9: Erster Druck des Benchy



Abb. 8: Zweiter Druck des Benchy

⁴ (3djake.com, 2023)

Beim dritten Druck wurde der Rückzug wieder verkleinert und die Temperatur beibehalten. Der anschliessende Druck war nahezu perfekt, siehe Abb. 10.

In der folgenden Tabelle 1 sind die unterschiedlichen Druck-Eigenschaften der drei Testversuche aufgeführt.



Abb. 10: Dritter Druck des Benchy

| | Erster Druck | Zweiter Druck | Dritter Druck |
|---------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Temperatur der Düse | 255 °C | 230 °C | 230 °C |
| Temperatur des Druckbetts | 90 °C | 80 °C | 80 °C |
| Rückzug des Filaments | 2,7 mm | 3,0 mm | 2,0 mm |

Tabelle 1: Unterschied der Druck-Eigenschaften der drei gedruckten Benchy's

3.2.2 Bildstrecke einiger 3D-Drucke

Folgend ist eine Bildstrecke zu sehen, mit diversen 3D-Druckteilen, bevor sie in der zugehörigen Baugruppe eingebaut wurden. Wie lange jedes 3D-Druckteil zum Drucken gebraucht hat und wie viel Energie sie dadurch benötigt haben, ist dem Kapitel 7.5 «CO2-Bilanz» zu entnehmen.

Um zu testen, ob die Absaug-Vorrichtung passgerecht für den Schlauch ist, wurde ein Testdruck erstellt, siehe Abb. 11. Dabei konnte man dem Druck entnehmen, dass der Durchmesser etwas zu dick war und der Schlauch nur mit grosser Mühe angebracht werden konnte. Angesichts dessen wurde der Durchmesser der Absaug-Vorrichtung um ein paar Millimeter verringert.

Anschliessend zum Testdruck konnte die Absaug-Vorrichtung gedruckt werden, siehe Abb. 12. Wie zu erkennen ist der Druck sehr solide und der 3D-Drucker vermochte den Druck ohne Probleme oder Unsauberkeiten realisieren.

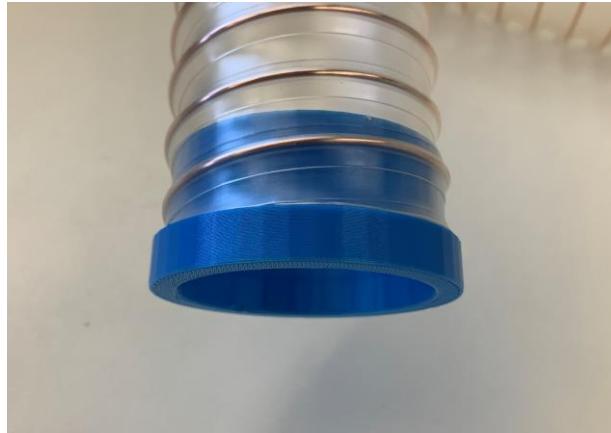


Abb. 11: Testdruck Schlauchaufsatzt der Kehrmaschine

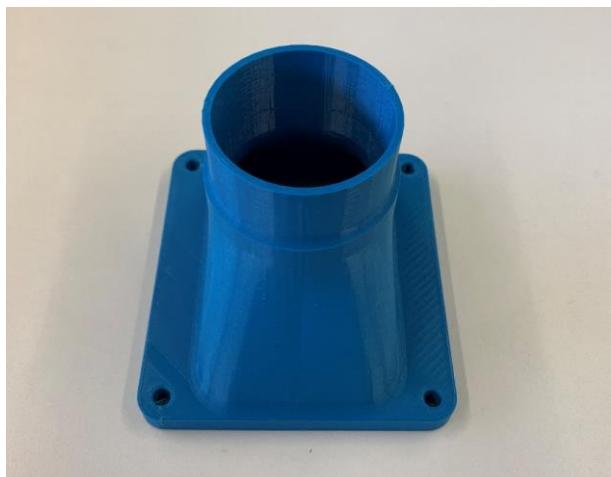


Abb. 12: Absaug-Vorrichtung der Kehrmaschine

Die Abb. 13 zeigt den Schlauchaufsatz des Staubsaugers. Dieser Druck wurde intern mit diversen Supports gedruckt. Dadurch konnte ein sehr genauer und formtreuer Druck durchgeführt werden. Der Staubsauger besteht aus zwei solchen Druckteilen, einer wie in Abb. 13 für den Schlauchaufsatz und einer für den grossen Elektro-Impeller.

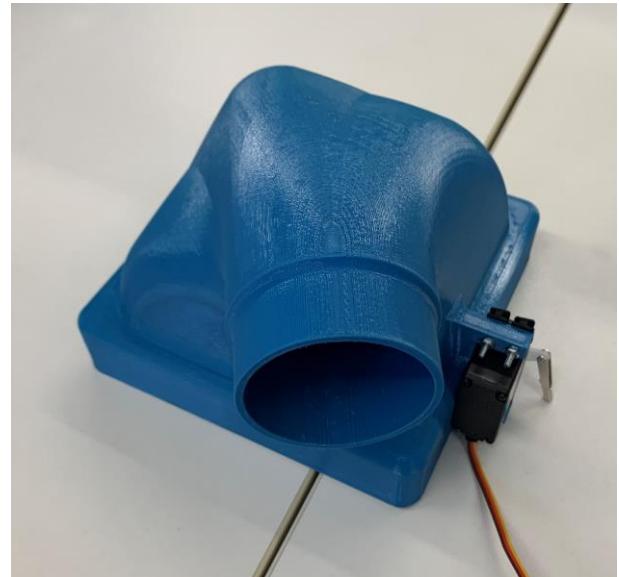


Abb. 13: Schlauchaufsatz Staubsauger

Die alten Rollen der Förderbänder sind in der Abb. 14 zu erkennen. Da sich bei einem Test jedoch herausgestellt hat, dass die Wölbung nichts bringt und das Band mit der Zeit über die seitlichen Wände hinausgeht und sich anschliessend blockiert, wurden die Rollen leicht angepasst.



Abb. 14: Alte Rollen der Förderbänder

Die neuen Rollen sind in der Abb. 15 zu sehen. Wie erwähnt, wurde die Wölbung entfernt. Zusätzlich dazu, wurden die Seitenwände der Rolle weiter erhöht, um dazu zu sorgen, dass das Band nicht darüber hinausgeht. Beim Test dieser Rollen konnten keine Probleme mehr festgestellt werden.



Abb. 15: Neue Rollen der Förderbänder

Die Zahnräder für den Zahnriemen bei der Kehrmaschine wurden ebenfalls mit dem 3D-Drucker gedruckt. In der Abb. 16 sind diese zu erkennen. Obwohl keine Supports bei diesem Druck eingesetzt wurden, konnte der 3D-Drucker den Überhang (Rot umrandet) ohne Probleme realisieren.

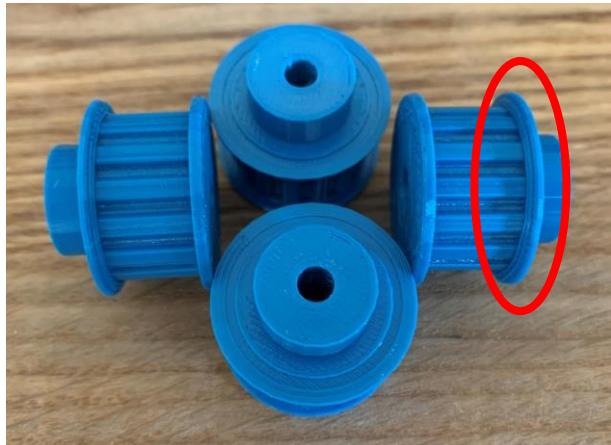


Abb. 16: Zahnräder für Zahnriemen Kehrmaschine

Die Wägezelle muss zwischen zwei Platten befestigt sein. Dabei ist es wichtig, dass die Löcher der Wägezelle genaustens mit den Löchern der Platten übereinstimmen. Demzufolge wurden diese zwei Platten 3D-gedruckt, um ein möglichst hohe Präzision zu erreichen. In der Abb. 17 ist die Bodenplatte links und die obere Platte rechts zu sehen.

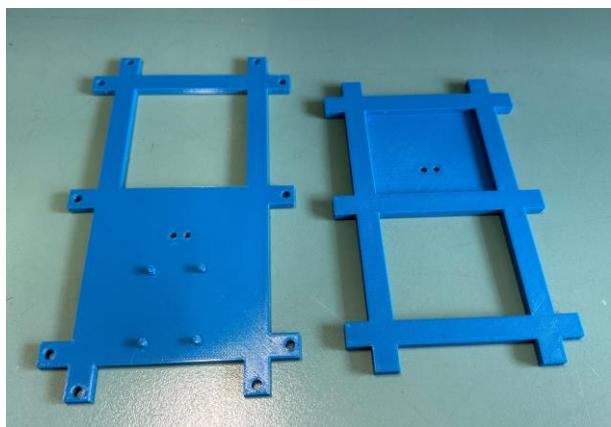


Abb. 17: 3D-Druckteile Waage

Dieselbe Präzision ist bei der Lichtschranke notwendig, da diese bei der Abfallbox aufgesetzt wird und somit zur Form der Abfallbox angepasst sein muss. In der Abb. 18 ist der Aufsatz und in der Abb. 19 die Halterung mit x- und y-Achse der Laserdiode zu erkennen.



Abb. 18: Aufsatz Abfallbox für Lichtschranke

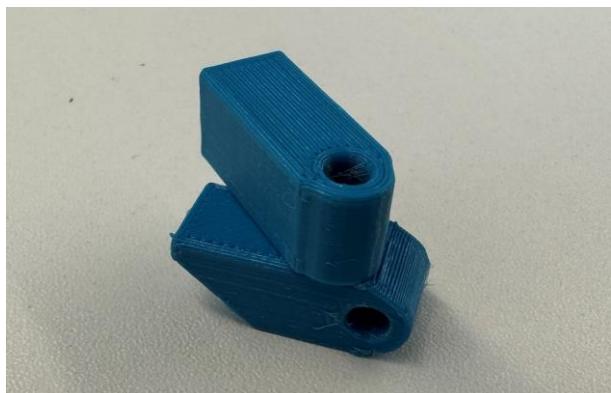


Abb. 19: Halterung Laserdiode

Um die Servos des SCARA-Arms befestigen zu können, wurden bewusst dafür gezeichnete Halterungen gedruckt, siehe Abb. 20.

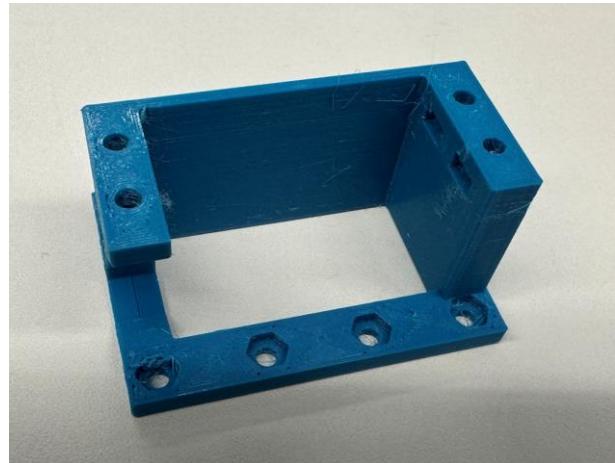


Abb. 20: Servo-Halterung SCARA-Arm

Die Abb. 21 zeigt die Zahnräder des SCARA-Arms. Sie wurden mit fünf Aussen-Layer, anstelle von den standardmässigen zwei, gedruckt, um eine höhere Stabilität zu gewährleisten. Dasselbe gilt mit den Servohalterungen in Abb. 20.



Abb. 21: Zahnräder SCARA-Arm

In der Abb. 22 sind diverse Abstandhalter zu sehen, welche dazu verwendet wurden, um etwa den Staubsauger oder die Förderbänder, im korrekten Abstand und mit dem richtigen Winkel, am Rahmen zu befestigen.

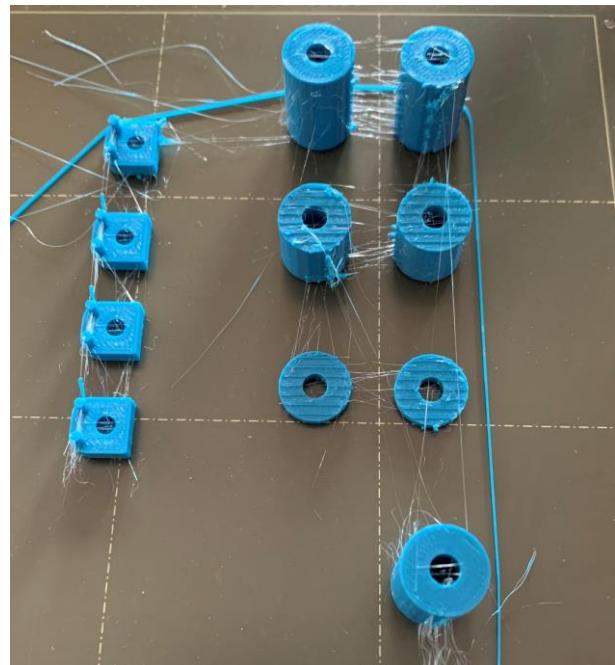


Abb. 22: Diverse Abstandhalter

3.2.3 3D-Druck mit flexilem Filament

Nebst dem nachhaltigen Filament wurde auch ein flexibles Filament, namens TPU, für die Förderbänder verwendet. Dieses war etwas schwieriger zu drucken als das rPET. Denn das Filament ist flexibel und dementsprechend kann es zu Verstopfungen und Verzügen beim sogenannten Extruder kommen. Der Extruder ist das Bauteil beim 3D-Drucker, welcher das Filament in die heiße Druck-Düse hereindrückt. Der erste Testdruck wurde mit einem schwarzen TPU gedruckt, welches bereits einige Jahre alt ist und dadurch längst etwas Feuchtigkeit aufgezogen hat. Dies ist schlecht für das Filament, da es zu Verstopfungen oder Warping führen kann.⁵ Dasselbe Filament wurde auch im PREN1 für den Test der Teillösung Förderband verwendet.

In der Abb. 23 ist das alte Band abgebildet. Rot umkreist, ist ein Riss im Band zu erkennen, was mit der Zeit reissen würde. Deshalb wurde eine neue weisse TPU-Filament für die neuen Förderbänder verwendet.

In der Abb. 24 ist das Band mit dem weissen TPU-Filament zu erkennen. Es stellte sich jedoch heraus, dass das neue Filament weniger flexibel ist. Aus diesem Grund musste man das Band dünner machen. In der Abb. 25 ist das finale Band zu erkennen, welches in dem Fall bereits auf dem Förderband montiert ist. Verglichen mit der ersten Version ist das Band der finalen Version dünner (durchgehend etwa einen Millimeter dick) und infolgedessen flexibler.

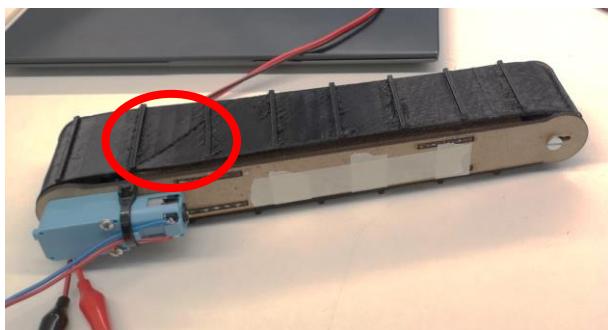


Abb. 23: Förderband PREN1



Abb. 24: Erste Version des Bandes mit neuem Filament



Abb. 25: Zweite und finale Version des Bandes

⁵ (truckers.at, 2018)

3.3 ALU-Bauteile

Im DIRT sind der Rahmen und der SCARA-Arm aus Aluminium gefertigt. Die ALU-Profile für den Rahmen wurden bei Hornbach und zum Teil bei der Hochschule bezogen, siehe Abb. 29. Die Scheiben, Platten und Bolzen in der Abb. 26, Abb. 27 und Abb. 28 für die Herstellung des SCARA-Arms, wurden dem Team hingegen gratis zur Verfügung gestellt, jedoch durch das Team gefertigt und verfeinert.

Die Bearbeitung von Aluminium wurde mehrheitlich mit einer Drehmaschine und einer CNC-Fräsmaschine durchgeführt. Sägemaschinen und Bohrmaschinen für die Herstellung von Bohrungen und Reibbohrungen wurden mit Bohrmaschinen durchgeführt. Alle Gewinde wurden von Hand geschnitten.



Abb. 27: Sagen der Scheiben für den SCARA-Arm



Abb. 26: Schieber des SCARA-Armes



Abb. 28: Bauteile des SCARA-Armes



Abb. 29: ALU-Profile für den Rahmen

4 Baugruppen

Im folgenden Kapitel wird näher auf die verschiedenen Baugruppen des DIRT eingegangen. Dabei wird dokumentiert, wo es Probleme gab und wie diese behoben wurden. Zudem werden diverse Funktionsweisen näher erläutert und mit Bildern fundiert.

4.1 Kehrmaschine

Der erste Zusammenbau der Kehrmaschine ist in der Abb. 30 zu sehen, dort ist die Absaug-Vorrichtung jedoch noch nicht montiert. Leider ist die Konstruktion zu wenig stabil und hat eine zu hohe Spannung, weshalb die MDF-Platte, wo die Getriebemotoren befestigt sind, etwas verbogen wurden. Zudem werden im Betrieb einzelne Nocken der Zahnräder übersprungen, wenn ein grosser Widerstand an den Bürsten anliegt. Deswegen wurde die Seitenplatten neu gelasert und bei der Kehrmaschine ersetzt.

In der Abb. 31 ist der zweite Zusammenbau mit der verstärkten Seitenplatte zu erkennen. Dabei ist die Verstärkung Rot umrandet. Dadurch hat die ganze Konstruktion nun eine viel höhere Stabilität und es gibt praktisch keine Sprünge mehr, wenn die Motoren unter hohe Last gesetzt werden.

Im Normalbetrieb benötigen die Motoren je eine Spannung von 12 V und einen Strom von ca. 0,3 A, was einer Leistung von etwa 3,6 W entspricht. Sobald der Motor jedoch mit der Hand festgehalten wird (und somit blockiert ist), steigt der Strom auf ca. 1,3 A hoch. Dies sollte die Bedingung simulieren, falls sich die Motoren verstopfen würden. Um eine solche Verstopfung erkennen zu können, wird der Stromfluss der Motoren überwacht.

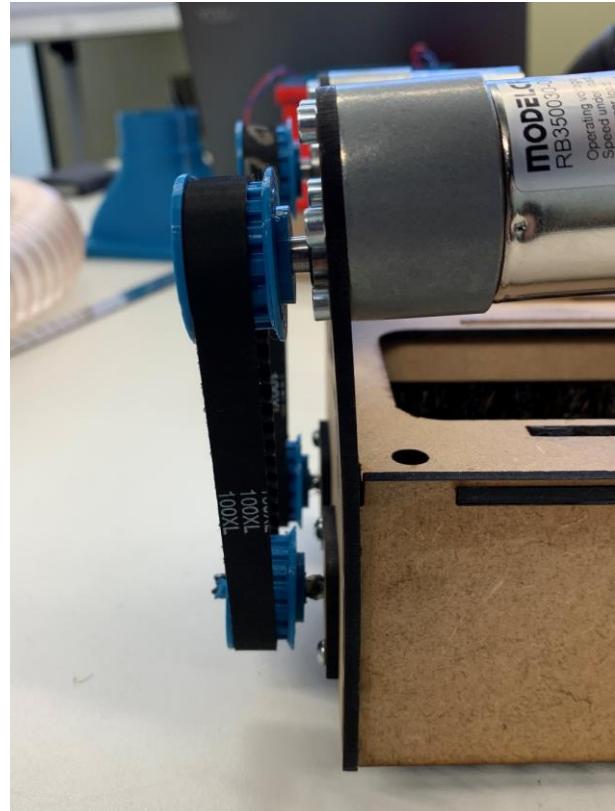


Abb. 30: Erster Zusammenbau -> Spannung zu hoch

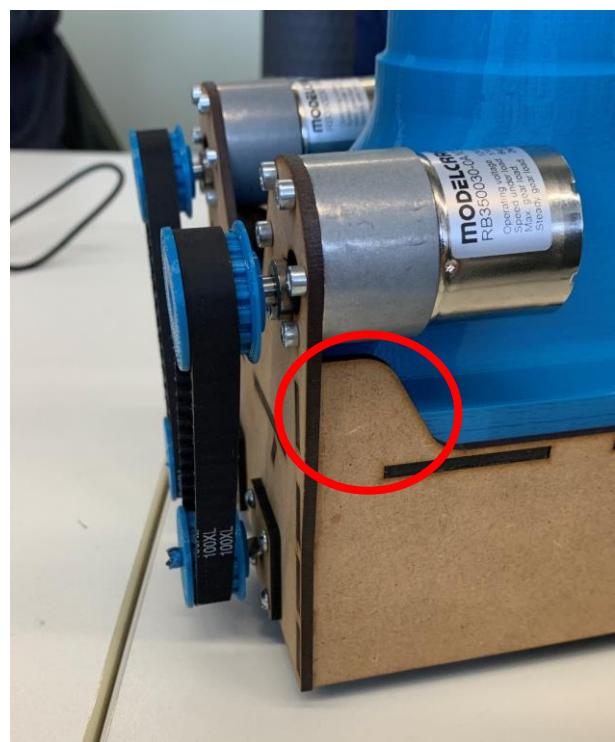


Abb. 31: Zweiter Zusammenbau -> Verstärkte Konstruktion

4.2 SCARA-Arm

Die ganze Baugruppe wurde vorwiegend aus Aluminium gefertigt. Der Arm selbst besteht aus 3 mm starkem 4-Kant Profil (50x30 mm).

Die zwei Armteilen, die vier Grundplatten und die drei Rundscheiben der Konstruktion wurden aus Zeitgründen mit einem CNC-Fräser hergestellt. Die am Bürstengerät angeschraubte Aluminiumplatte wurde hingegen gelasert und anschliessend nachbearbeitet. Alle anderen mechanischen Komponenten wurden konventionell hergestellt (Gelenkwellen und Führungen). Technische Zeichnungen der Komponenten sind im Anhang 10.5 zu finden.

Die Stabilität der Konstruktion ist ausreichend, jedoch ergab sich bei der Gelenken etwas mehr Reibung, was die geplanten NEMA17-03 Schrittmotoren nicht zu überwinden vermochten.

Als Alternative wurden starke Servomotoren eingebaut, die nur wenig mechanische Modifikationen benötigten. Anpassungen gab es bei der Basis des Armes, wo eine gedruckte Halterung den Servomotor hält. Die Spannvorrichtung für den Riemen konnte weiterhin bei gehalten werden, siehe Abb. 34. Die Servomotoren sind ungefähr 10x stärker als die zuvor verwendeten Schrittmotoren und vermögen, den Arm knapp, aber gut genug zu bewegen.

Um die z-Höhe einzustellen, stand anfangs auch ein Schrittmotor, ein NEMA17-04 mit doppeltem Drehmoment, zur Verfügung. Auch dieser Schrittmotor ist zu schwach und war nicht in der Lage, den SCARA-Arm anzuheben, wenn dieser ausgefahren war. Um diese Problematik zu lösen, wurde der Durchmesser der Führungen von der z-Achse vergrössert (von 8 mm auf 12 mm). Die dickeren Führungen mit grösseren und damit stabileren Kugelbuchsen, siehe Abb. 35, verhindern das Klemmen und die überdurchschnittliche Reibung in der z-Bewegung beim ausgefahrenen Zustand wie auch bei jeder anderen Position. Obwohl dieser Anpassung den Reib Widerstand deutlich reduziert

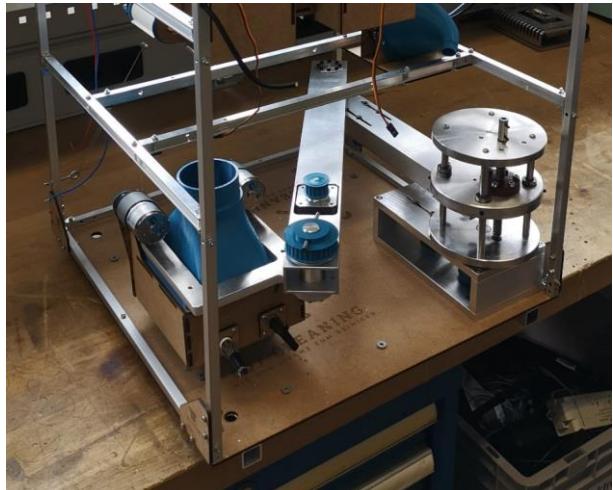


Abb. 32: SCARA-Arm eingefahren



Abb. 33: SCARA-Arm ausgefahren

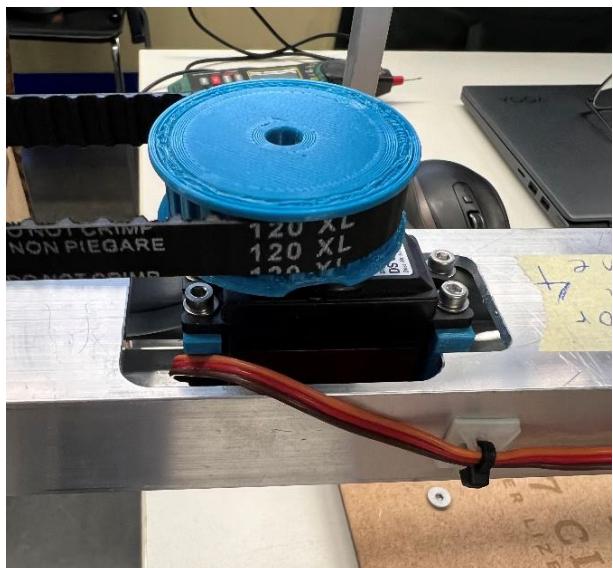


Abb. 34: neue Servo-Motoren

hat, konnte der NEMA17-04 die Achse nur knapp bewegen. Deswegen wurde dieser nun mit einem untersetzten DC-Motor ersetzt. Die Verstellung der z-Achse sorgt für einen konstanten Abstand zwischen den Bürsten und das Kiesbett. Gesteuert wird dieser durch den TOF-Sensor, welcher auf dem Bürstengerät befestigt ist.



Abb. 35: neue Führungen SCARA-Arm

4.3 Staubsauger

Um die Fundgegenstände vom Bürstengerät in den DIRT zu bewegen, wird ein Schlauch verwendet. Um die Gegenstände hindurchzubewegen, wird ein Luftstrom benötigt. Dieser Luftstrom wird mittels eines BLDC-Motors und Impeller-Aufsatz bewerkstelligt. Nachdem die Objekte durch das Saugrohr befördert wurden, gelangen sie an eine Verbreiterung, mit abtrennendem Gitter, welches nur Luft passieren lässt. Diese Verbreiterung hat an der Unterseite eine Falltür, welche verwendet wird, um die Objekte zum nächsten Schritt zu befördern. Diese Falltür öffnet sich sporadisch, wobei zuvor der Luftstrom unterbrochen und der SCARA-Arm angehalten wird. Adapter zwischen dem Förderschlauch und der Verbreiterung wurden 3D-gedruckt und sind in Kapitel 3.2 «3D-Druck» ausführlicher beschrieben. Die Verbreiterung selbst wurde aus 3 mm starkem MDF gelasert, siehe Abb. 37.

Damit der Schlauch nach den vier Minuten des Wettbewerbes zusammen mit dem Arm wieder, in die die Maschine zurückfährt, werden die sogenannte «Skipass Halter» eingesetzt, wie in Abb. 36 (Rot umrandet) zu sehen ist. Insgesamt wurden sechs Halter, einerseits am Schlauch und auf der anderen Seite am Rahmen befestigt. Somit kann der Schlauch nach dem Einsatz zurück in die Ursprungsposition gezogen werden.



Abb. 37: Staubsauger

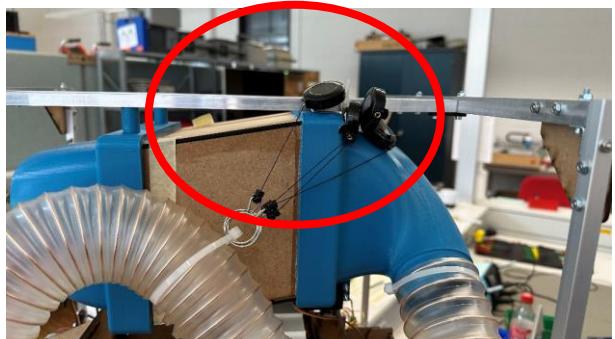


Abb. 36: Skipass Halter

4.4 Förderbänder

Das Drucken der Rollen für die Förderbänder war kein Problem, siehe Kapitel 3.2.2 «Bildstrecke einiger 3D-Drucke». Jedoch stellte sich heraus, dass die ovale Form nicht wie erwartet das Band einmittet. Leider hat sich das Band mit der Zeit zum Rand des Gehäuses vom Förderband bewegt, wodurch es dann zum Stillstand kam. Daher wurde der äussere Rand der Rollen erhöht und die ovale Form entfernt. Auf die flexiblen Bänder wurde bereits im Kapitel 3.2.3 «3D-Druck mit flexiblem Filament» eingegangen.

Die erste Variante des Förderbands sieht, wie in der Abb. 38 aus. Das Problem dabei ist das 3D-gedruckte Band selbst. Dieses wurde wieder mit einem flexiblen TPU-Filament gedruckt. Dieses ist jedoch weniger flexibel als das TPU-Filament, welches im PREN 1 verwendet wurde. Der Widerstand für den kleinen Getriebemotor ist viel zu gross. Deshalb wird es damit nicht funktionieren.

Um zukünftige Komplikationen vorzubeugen, wird das Band selbst dünner gedruckt, sodass weniger Kraft aufgewendet wird, dieses an den Rollen zu verformen. Des Weiteren wird für das längste Förderband ein grösserer Getriebemotor verwendet. Als zusätzlichen Effekt, dass auf diesem Förderband die Bilderkennung stattfindet und eine konstante Geschwindigkeit voraussetzt ist. Der kleine Getriebemotor konnte nämlich nicht eine konsistente Geschwindigkeit gewährleisten.

Um die Bilderkennung zu vereinfachen, wurde zudem das weisse TPU schwarz gesprayt, siehe Abb. 39, da mehr Objekte hell sind und so eine höhere Treffer-Wahrscheinlichkeit der zu erkennenden Objekte erreicht werden kann.

In der Abb. 40 ist das Förderband der Kronkorken zu erkennen, welches die Kronkorken magnetisch vom Vereinzelner entfernt.

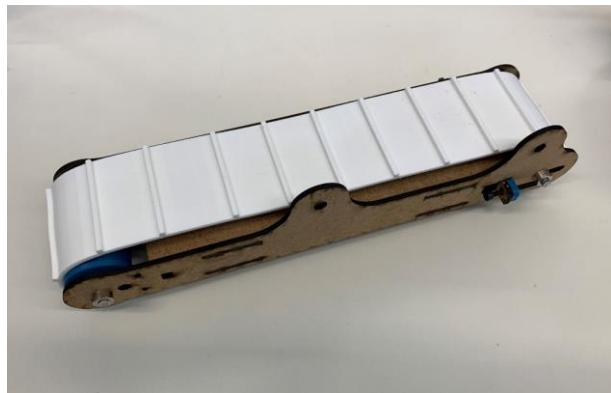


Abb. 38: Erste Variante des Förderbands



Abb. 39: Förderband zur Bilderkennung schwarz gesprayt



Abb. 40: Förderband mit Magnet für die Kronkorken

Das Hauptförderband mit den Kickern für die PET-Deckel und Zigarettenstummel ist in der Abb. 41 zu sehen. Wie bereits erwähnt, wurde das Förderband selbst schwarz gefärbt. Im hinteren Ende des Bildes/Förderbands ist die Kamera mit Beleuchtung positioniert.

Die Abb. 42 wiederum zeigt das Förderband des Gebläses, welches jedoch aus Gewichtsparmassnahmen entfernt wurde. Mehr dazu siehe Kapitel 5.7 «Gewichtsersparnis».



Abb. 41: Hauptförderband mit Kicker



Abb. 42: Förderband mit Gebläse

4.5 Vereinzelner

Der Vereinzelner ist notwendig, um die gesammelten Gegenstände nach dem Einsaugen als einzelne Objekte für die Bilderkennung erkennbar zu machen. Dazu wurde eine Box konzipiert, welche auf einer Seite eine Verjüngung und Öffnung aufweist, siehe Abb. 44. Ein DC-Motor mit einer Unwucht befestigt an dieser Box sorgt für ein Vibrieren der Box, sodass die Gegenstände sukzessiv herausfallen, siehe Abb. 43. Befestigt wird diese Box «schwebend» und rüttel-frei, mit Gummiseilen. Diese Gummiseile sind dafür da, dass die erzeugte Vibration im Vereinzelner nicht auf den Rest des DIRT übertragen wird, sowie auch zur Positionierung und Winkeleinstellung, sodass die Kadenz der Objekte pro Zeit anpassbar ist.



Abb. 44: Vereinzelner eingebaut

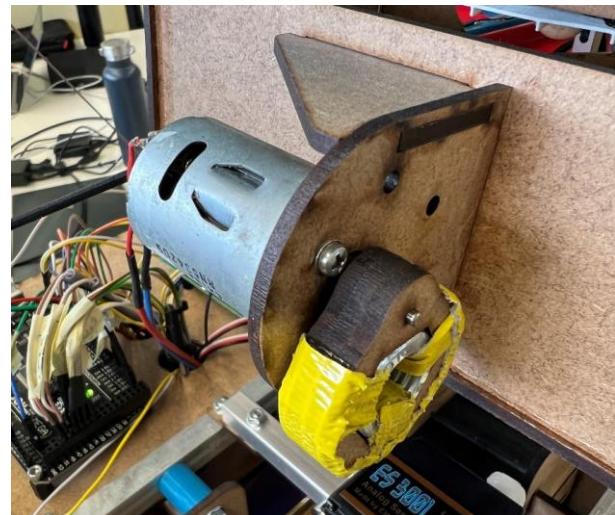


Abb. 43: Vibrationserzeuger

4.6 Laser-Lichtschanke

Das Konzept der Laser-Lichtschanke besteht darin, eine Laserdiode zu verwenden, welche ein Laserstrahl aussendet, dass von zwei parallelen Spiegeln mit einem Zickzack verlängert wird und schlussendlich auf einen Lichtsensor trifft. Dadurch kann eine grosse zu messende Fläche erreicht werden. Der Lichtsensor gibt ein digitales Signal aus, sobald Licht darauf trifft. Die Sensitivität wird dabei mit einem Potentiometer eingestellt, welcher sich auf dem Lichtsensormodul befindet.

Um die Kombination zwischen Laserdiode und Lichtsensor zu testen, wurde ein kleiner Versuchsaufbau geschaffen. In der Abb. 45 wird mit der Laserdiode, welche links im Bild zu erkennen ist, gezielt daneben geleuchtet. Es ist zu sehen, dass die rechte LED des Lichtsensormoduls, welches rechts im Bild zu erkennen ist, nicht leuchtet was bedeutet, dass kein Signal ausgegeben wird.

In der Abb. 46 wird nun mit der Laserdiode auf den Lichtsensor des Moduls geleuchtet. Jetzt sieht man, dass die rechte LED des Lichtsensormoduls leuchtet, was indiziert, dass das Licht der Laserdiode erkannt wird. Um diesen Zustand zu erreichen, musste man die Sensitivität des Lichtsensormoduls mit dem OnBoard-Potentiometer etwas anpassen.

Als nächstens wurde mit einer Alu-Spiegelfolie getestet, ob das gewollte Zickzack des Laserstrahls erreicht werden kann. Dazu wurde in einem nächsten Versuchsaufbau eines der gelaserten Abfallboxen etwas modifiziert. In der Abb. 47 ist zu erkennen, dass das Licht der Laserdiode bei vermehrtem Spiegeln sehr stark gedämpft und gestreut wird. Dies ist miserabel, denn dadurch kann man nicht viele Spiegelungen erreichen. Deswegen wurde eine Alternative für die Spiegelfolie besorgt. Der Ersatz war ein Plastikspiegel, welcher ähnlich wie die Spiegelfolie zugeschnitten werden kann. Der neue Spiegel hat einiges weniger Streuung und die Dämpfung fiel fast komplett weg. Dadurch konnte nun die Laser-Lichtschanke designt und zusammengebaut werden, siehe folgende Seite.

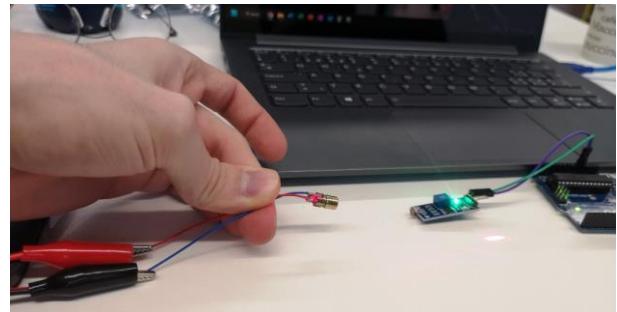


Abb. 45: Laserdiode leuchtet daneben

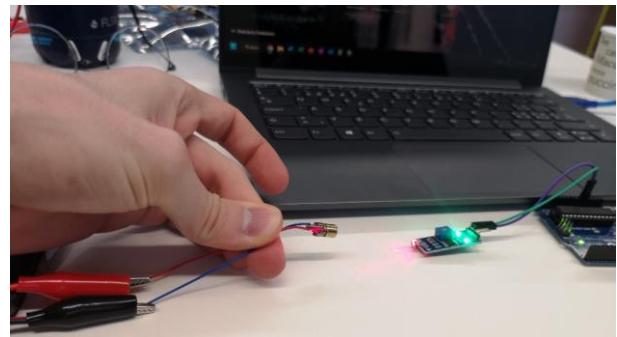


Abb. 46: Laserdiode leuchtet auf Sensor



Abb. 47: Zick-Zack Spiegelung des Laserstrahls

Da die Abfallboxen nach Betrieb aus dem DIRT entfernt werden müssen, musste die Lichtschranke so designt werden, dass sie nach dem Betrieb einfach entfernt werden kann. Deshalb wurde der Aufsatz in Abb. 49 im CAD gezeichnet und 3D-gedruckt. Der Nachteil von diesem Design war, dass die Laserdioden den Laserstrahl nicht perfekt gerade ausgeben. Die Laserdiode konnte in diesem Design nur in der x-Achse angepasst werden (Rot umrandet). Dadurch strahlte der Laserstrahl weit über das Ziel hinaus oder hinunter.

Folglich wurde die Halterung für die Laserdiode so weit angepasst, dass die x- und y-Achse angepasst werden kann. Siehe rote Umrandung in der Abb. 48. Die Abbildung zeigt zudem die finale Version der Laserlichtschranke, welche für die Zählung der Kronkorken zuständig ist. Die Elektronik und Verkabelung ist auf der rechten Seite der Abbildung zu erkennen.

Um die Effektivität der Lichtschranke zu testen, wurden 10 Kronkorken in die Abfallbox geworfen. Alle 10 wurden von der Lichtschranke erkannt. Deshalb musste ein weiterer Test durchgeführt werden. Diesmal wurden 10 Kronkorken und 10 PET-Deckel in die Abfallbox geworfen. In diesem Test wurden zwei Gegenstände zu viel gezählt. Dies hat damit zu tun, dass die PET-Deckel zum Teil vom Boden der Abfallbox abspringen und ein zweites Mal die Lichtschranke durchdringen. Da die Lichtschranke im DIRT jedoch nur für das Zählen der Kronkorken und Zigarettenstummel verwendet wird, wurde nichts weiter unternommen, um dieses Phänomen zu unterdrücken. Den Tests konnte schlussendlich entnommen werden, dass die Lichtschranke sehr zuverlässig funktioniert.

Für die Zählung der Zigarettenstummel wurde auch auf die Laser-Lichtschranke zurückgegriffen. Jedoch musste diese etwas den geänderten Gegebenheiten angepasst werden. In der Abb. 50 ist zu erkennen, dass diese Lichtschranke über keinen Spiegel verfügt, da dies für diesen Anwendungsfall zu komplex geworden wäre. Zudem reichen drei Laserstrahlen völlig aus, um die begrenzte Höhe abzudecken. Der maximale Abstand zwischen zwei Laserstrahlen beträgt 1 cm, was ausreicht, um die Zigarettenstummel effektiv zählen zu können.

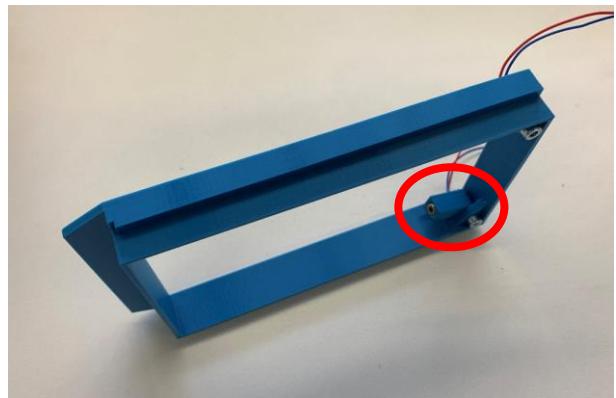


Abb. 49: Erste Variante des Zählaufsatzes ohne Abfallbox

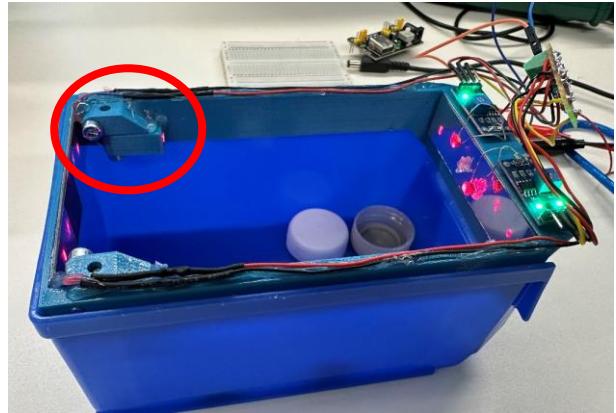


Abb. 48: Finale Variante der Laser-Lichtschranke



Abb. 50: Laser-Lichtschranke für Zigarettenstummel

4.7 Waage

Die Waage, welche nebst der Laser-Lichtschranke für das redundante Zählen der Kronkorken zuständig ist, wird unterhalb der Abfallbox positioniert. Da für die Wägezelle eine hohe Präzision nötig ist, wurde es im CAD modelliert, siehe Abb. 51. Um den optimalen Abstand der Löcher für die Schrauben der Wägezelle im CAD richtig einzeichnen zu können, wurde die Wägezelle (weiss gefärbt) auch in das CAD-Modell übernommen. Die Türkis gefärbten Bauteile wurden anschliessend im 3D-Drucker ausgedruckt. Um möglichst viel Gewicht zu sparen, wurden in der oberen und unteren Platte des 3D-Bauteils jeweils ein Loch eingeplant, jeweils auf der anderen Seite der Halterung für die Wägezelle. Zudem wurde eine Vorrichtung für das Breakout-Board erstellt (rot gefärbt), damit dieses im Betrieb die gleiche Position hält.

In der Abb. 52 ist die semifinale Waage zu sehen. Die Waage wurde so konzipiert, dass sie möglichst wenig an Höhe aufsetzt, da der vertikale Platz zwischen Ablagebrett (wo auch der Arduino MEGA und der Raspberry Pi platziert wird) und Förderband für die Kronkorken begrenzt ist. In der Abb. 52 setzt sie etwa 28 mm an Höhe auf. Leider wurde beim Einbau-Prozess die Wägezelle beschädigt, deshalb musste diese nachbestellt werden. Beim ursprünglichen Lieferanten war diese jedoch ausverkauft. Folglich musste es direkt über China bezogen werden, wodurch die neue Wägezelle erst vier Wochen vor Semesterende ankam.

In der Abb. 53 und Abb. 54 ist die finale Waage mit neuer Wägezelle zu erkennen. Zudem wurde die Höhe der gesamten Waage weiter reduziert, auf 20 mm zwischen Boden und Abfallbox.

Um die Effektivität der Waage zu testen, wurden fünf Kronkorken in die Waage geworfen. Pro Kronkorken wurde ein Gewicht von 2 g eingestellt. Als alle fünf Objekte eingeworfen wurde, gab die Waage ein Gewicht von 9 g an. Somit ist die Lichtschranke einiges genauer.

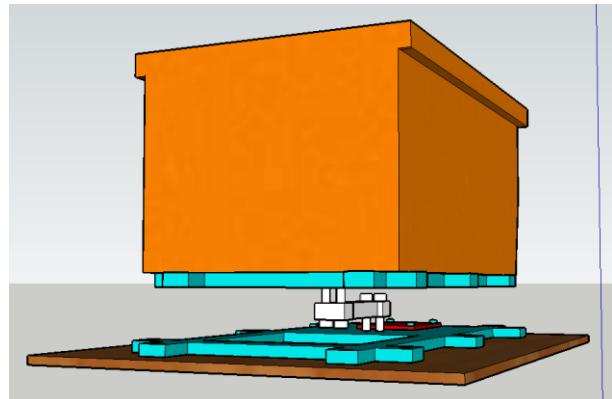


Abb. 51: CAD-Modell Waage

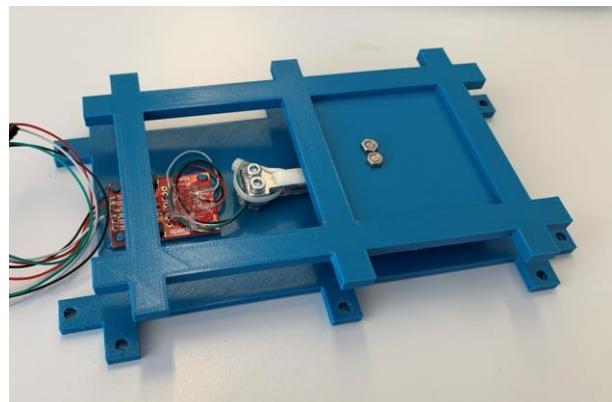


Abb. 52: Waage mit defekter Wägezelle

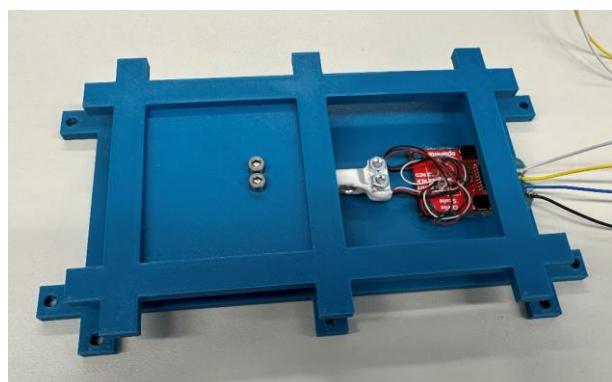


Abb. 53: Finale Waage mit neuer Wägezelle



Abb. 54: Finale Waage mit Abfallbox

4.8 Sortier-Kicker

Die Sortier-Kicker werden mit dem Raspberry-Pi angesteuert. Auf diesem läuft die Bilderkennung mit dem neuronalen Netzwerk. Sobald ein Objekt erkannt wird, steuert das Raspberry Pi zwei Servomotoren an, um die Abfallobjekte in die korrespondierenden Behälter zu befördern. Das neuronale Netzwerk musste mehrmals trainiert werden. Die Eingabe-Parameter haben sich zum Teil geändert, aber vor allem wurde der Trainings-Datensatz erweitert. Mehr dazu im Kapitel 5.5.6 «Bilderkennung».

In der Abb. 55 ist der erste Kicker gleich nach der Kamera zu erkennen. Dieser ist für das Kicken der PET-Deckel zuständig. Der Kicker selbst wurde zu Beginn 3D-gedruckt, was jedoch nicht die gewünschten Resultate erbracht hat. Deswegen wurde für diesen Zweck ein Pinsel umfunktioniert. Das Darüberstreichen über das Förderband mit einem Pinsel sorgt dafür, dass die Objekte effektiv befördert werden, ohne dass sich der Kicker selbst im Förderband verfängt.

Mit zwei LEDs und weissen PET-Deckeln werden die Objekte unter der Kamera beleuchtet, siehe Abb. 56. Die PET-Deckel zerstreuen das Licht und agieren als Diffusor. So wird verhindert, dass die Objekte einen Schatten auf das Förderband werfen. Es wird sichergestellt, dass die Bilderkennung Objekte sehen kann, ohne die Beleuchtungszeit an die Umgebungs-Lichtstärke anpassen zu müssen. So werden genauere Bilder und somit konstantere Ergebnisse erzeugt. Das Resultat ist besser als erwartet und kann, das Förderband optimal ausleuchten, ohne eine Spiegelung des Lichtes an den Abfallgegenständen hervorzurufen.



Abb. 55: Sortier-Kicker über dem Förderband



Abb. 56: Diffuse Beleuchtung für die Bilderkennung

4.9 Gebläse

Um die Zigarettenstummel in einem letzten Schritt von allfälligem Kies und anderen Objekten zu trennen, wird ein Luftstrom verwendet, der quer zum dritten Förderband bläst und nur die leichten Zigarettenstummel in den dazugehörigen Behälter befördert. Für den Luftstrom wurde ein kleiner Impeller verwendet, siehe Abb. 57.

Dieser Teil ist nicht enthalten beim finalen DIRT, siehe Kapitel 5.7 «Gewichtsersparnis».

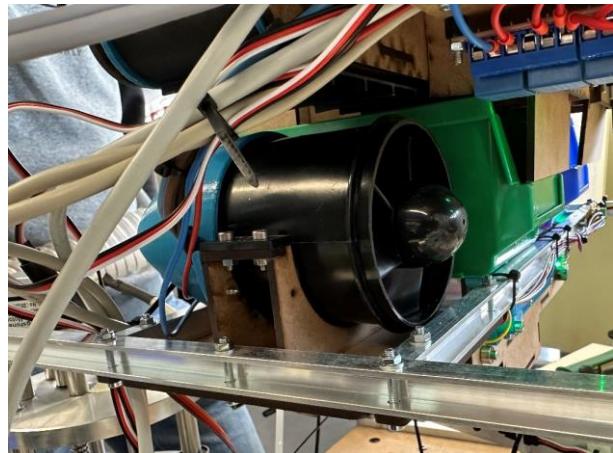


Abb. 57: Kleiner Impeller für das Gebläse

4.10 Rahmen

Das Zusammenstellen des Rahmens hat sich als einiges aufwändiger herausgestellt als zuerst gedacht. Zu Beginn wurden die Löcher für die Winkel falsch gebohrt, weshalb diese erneut erstellt und gelasert werden mussten. M3 Schrauben sorgen für das Zusammenhalten der Konstruktion und den Einbau der einzelnen Komponenten. Bei den Ecken wurden kleinen Stahlwinkel angebaut. Diese boten unzureichend Stabilität, deswegen wurden zusätzliche MDF-Verstrebungen montiert, die die y-Achse verstärkten. Um die x-Achse auch zu verstärken, wurden zusätzlich zwei Seilen im hinteren Teil des Rahmens gespannt. Der vordere Teil kann um ca. 1 cm ausschwenken, dies wird toleriert, da eine Verstrebung an der Vorderseite nicht einfach zu realisieren ist. Der SCARA-Arm sowie Schlauch müssen hineinpassen und das Gewichtsbudget ist auch schon an der Grenze. Die Stabilität ist gut genug, deswegen wird es so belassen.

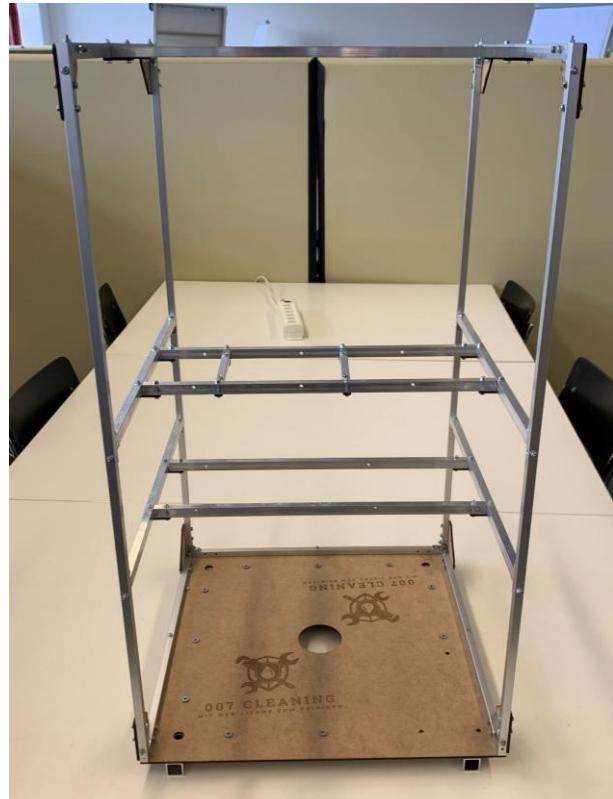


Abb. 58: Rahmen in der Montagephase

Das gewogene Gewicht des Rahmens beträgt 2,5 kg, verglichen mit dem CAD 2,23 kg ist dies mehr als erwartet. Im CAD wurden die Schrauben nicht modelliert, eine Schraube mit Mutter und Unterlag Scheibe wiegt 2 g, für den Rahmen wurden ca. 100 Schrauben verbaut, dies ergibt zusätzliche 200 g, somit ist die CAD-Schätzung bei 2,43 kg. Die Schätzung ist somit um 70 g daneben, dies entspricht 2,8 % des gemessenen Gewichts. Dies ist ein guter Schätzwert für diese Anwendung.

5 Endprodukt

Der DIRT ist ein 450x450x800mm grosser Roboter-Aufsatz, welcher 15 kg wiegt. Er kann auf eine mobile Plattform geschraubt werden und ist in der Lage Abfall-Objekte, namentlich: PET-Deckel, Kronkorken, Zigarettenstummel und Wertgegenstände aus einem Kiesbett zu entfernen und zu sortieren.

Das Entwicklerteam, Team 007 - mit der Lizenz zum Reinigen, hat viel Mühe und Zeit investiert, zu sehen in Abb. 59, um den DIRT zu dem lauffähigen Gerät zu machen, welches es nun ist. Das ganze Team ist stolz, was der DIRT kann und freut sich auf eine Zukunft, wo weniger Dreck und mehr DIRT an den Stränden der Welt zu finden ist.

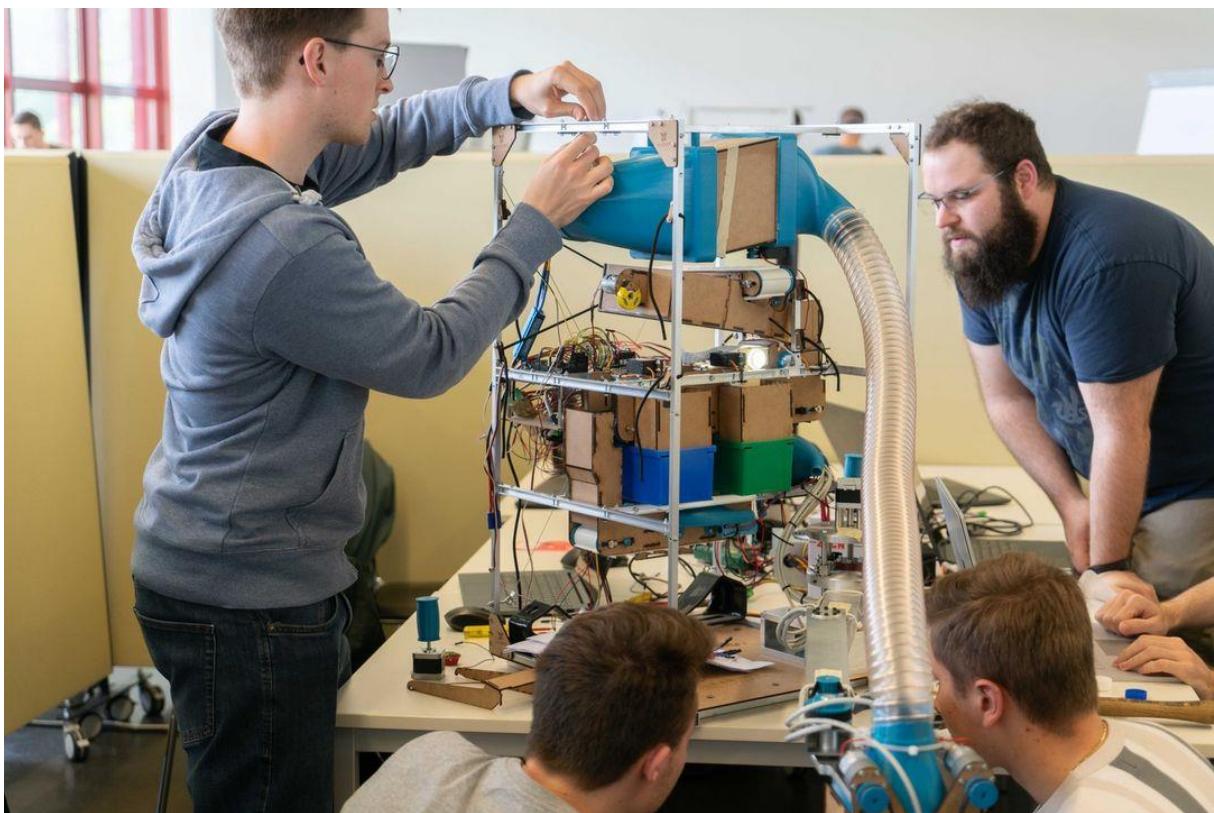


Abb. 59: Team 007 bei der Arbeit am DIRT

Die folgenden drei Kapitel 5.3 «Aufbau Mechanik», 5.4 «Aufbau Elektrotechnik» und 5.5 «Aufbau Informatik» beschreiben den Aufbau des DIRTs aufgeteilt in die drei Departements. Dabei werden die Erläuterungen, welche in der ersten Dokumentation des PREN 1 im Kapitel 4 «Lösungskonzept» bereits gemacht wurden, nicht wiederholt und ausschliesslich auf die Ausführung oder Neuerungen und Verbesserungen eingegangen.

5.1 Übersicht

In den folgenden Abbildungen, Abb. 60, Abb. 61, Abb. 62 und Abb. 63 ist eine Übersicht der Bestandteile des DIRT zu erkennen. Dabei sind die wichtigsten Komponenten in einer Liste beschrieben. Ausgegraut jene Komponenten, welche, beschrieben in Kap. 5.7, entfernt wurden.

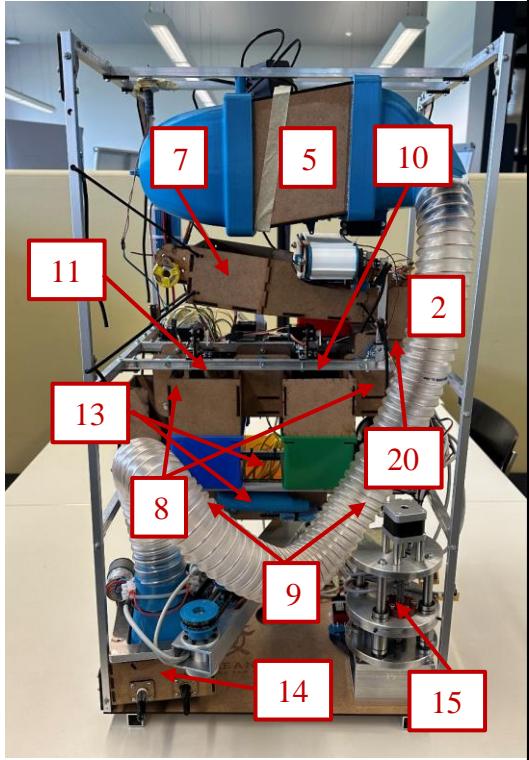


Abb. 60: Ansicht DIRT - vorne

Komponenten:

- 1) Rahmen
- 2) Schlauch des Staubsaugers
- 3) Grosser Elektro-Impeller Staubauger
- 4) ESC des Elektro-Impellers
- 5) Staubaugerbox
- 6) Magnetförderband für die Kronkorken
- 7) Vereinzelner mit Unwucht-Motor
- 8) Sortier-Förderband 1 (PET-Deckel und Wertsachen)
- 9) Sortier-Förderband 2 (Zigarettenstummel)
- 10) Kicker PET-Deckel
- 11) Kicker Wertgegenstände
- 12) Kleiner Elektro-Impeller Gebläse
- 13) Gebläse mit Lichtschranke
- 14) Kehrmaschine mit Bürsten
- 15) SCARA-Arm
- 16) Arduino MEGA
- 17) Raspberry Pi 4
- 18) Waage (Kronkorken)
- 19) Lichtschranke (Kronkorken)
- 20) Kamera Bilderkennung

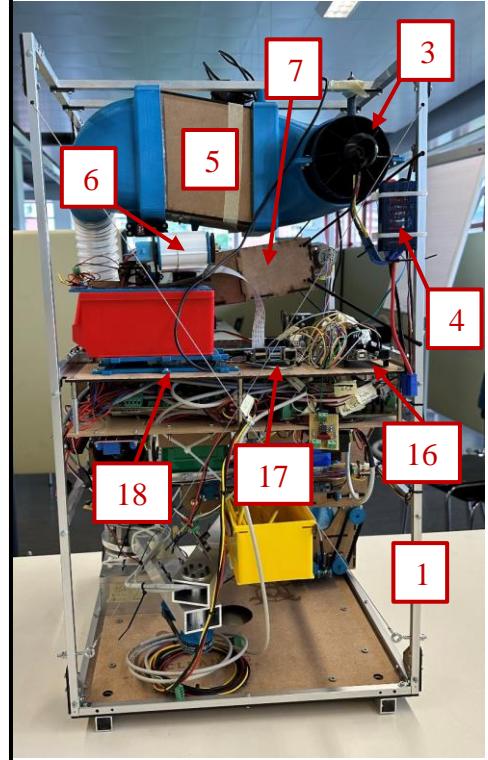


Abb. 61: Ansicht DIRT - hinten

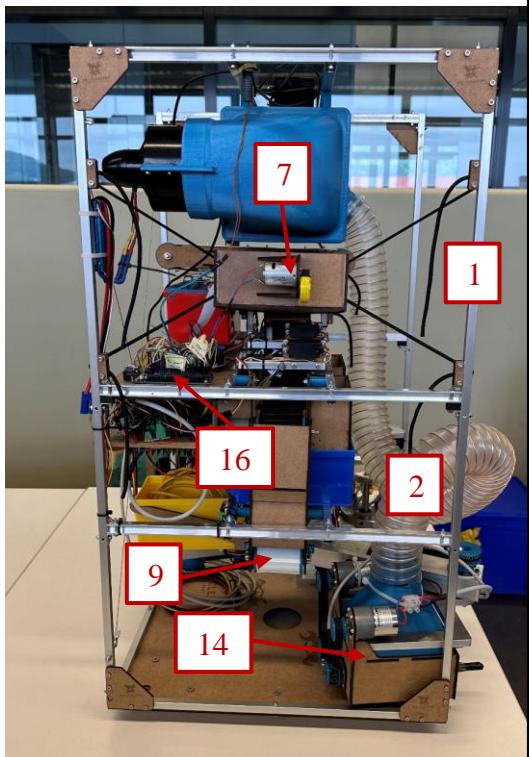


Abb. 62: Ansicht DIRT - linke Seite

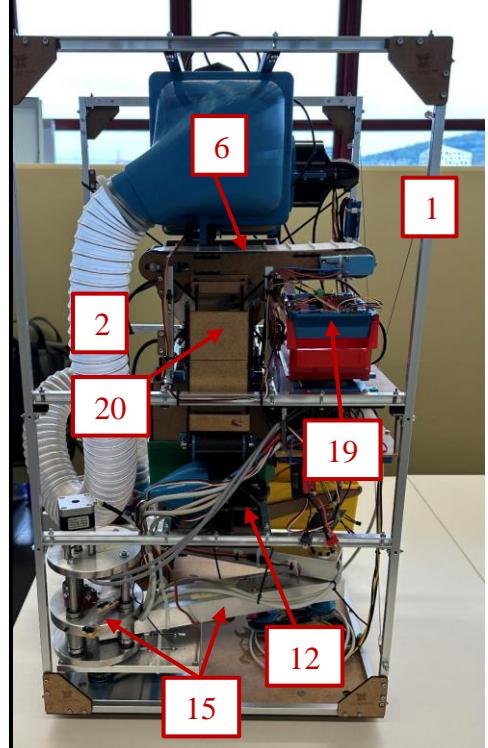


Abb. 63: Ansicht DIRT - rechte Seite

5.2 Bedienung des DIRT

Die Bedienung des DIRTs erfolgt über eine Schalterbox, den sogenannten DIRT-Controller, siehe Abb. 64, welcher mit einem 2,2 m langen Kabel am Hauptgerät befestigt ist. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Betriebsmodi, wie der DIRT bedient werden kann. Entweder wird der SCARA-Arm manuell bedient oder das ganze Gerät agiert vollautonom. Letzteres wird am Wettbewerb eingesetzt. Die manuelle Bedienung des SCARA-Arm war ausschliesslich zu Testzwecken notwendig. Wenn die Stromversorgung gewährleistet ist, kann der DIRT wie folgt betrieben werden:

Generell:

- Not-Aus-Schalter -> DIRT wird mittels Relais vom Strom kappt (Keine Reaktivierung mit dem DIRT-Controller möglich)

Manueller Betrieb: (muss im Vorhinein in der Software manuell eingestellt werden)

- Potentiometer Hinten, Mitte und Vorne -> manuelle Steuerung der drei x-Achsen des SCARA-Arm
- Up- und Down-Knopf -> manuelle Steuerung der z-Achse des SCARA-Arms

Autonomer Betrieb:

- Start-Knopf (DIRT im Ruhemodus) -> vierminütige Kiesreinigung läuft autonom ab
- Stopp-Knopf (DIRT im Betrieb) -> Programm des DIRT hält an und kann anschliessend durch den Start-Knopf wieder fortgeführt werden
- Reset-Knopf (DIRT im Betrieb) -> Steuerung des DIRT wird zurückgesetzt, neuer Start vom Anfang aus notwendig



Abb. 64: Schalterbox DIRT-Controller

5.3 Aufbau Mechanik

Um den Platzverbrauch und die Anordnung der mechanischen Komponente abschätzen zu können, wurden im CAD alle Komponenten gezeichnet. Dieses CAD wurde zur Ansicht zudem noch gerendert, siehe Abb. 65.

Zusätzlich zum Rahmen, dokumentiert in Kapitel 4.10, wurden sämtliche Baugruppen aus Kapitel 4 darin verbaut. Leichte Komplikationen gab es beim zweiten Förderband, da dies noch einmal ausgebaut wurde, um den Getriebemotor auszutauschen. Das kostete viel Zeit, denn es waren praktisch alle anderen Komponenten im Weg.

Die Stabilität des Rahmens wurde durch Einbauen von Baugruppen stetig erhöht, jedoch gab es noch unkontrollierte seitliche Bewegungen. Um diese zu verringern, wurden auf der Rückseite des DIRT noch zwei Drahtseile übers Kreuz gespannt. Der Effekt davon war sogar besser als erwartet und löste die Instabilität.

Die finale Version der Sortieranlage wird in Abb. 66 dargestellt: Nachdem die Gegenstände vom Kiesbett mithilfe des SCARA-Armes durch die Borsten und dem Schlauch transportiert wurden, kommen sie zum Punkt 1 an. Hier wird der erste Servo betätigt und die Klappe des Saugers geht auf. Die Gegenstände fallen somit in den Vereinzelner, siehe Punkt 2. Dieser Vorgang wird getaktet durchgeführt, damit die Turbine nur bei geschlossener Klappe und beweglichem Arm eingeschaltet ist, um Energie zu sparen. Bevor die Klappe auf geht, wird der Arm angehalten und die Turbine ausgeschaltet. Im Vereinzelner werden die Gegenstände geschüttelt und durch die Verengung geführt. Im Punkt 3 werden die Kronkorken durch den Permanentmagneten (innerhalb des Förderbandes) angezogen und weggeführt. Die restlichen Objekte fallen in das zweite Förderband und werden



Abb. 65: Rendering des CAD-Modells

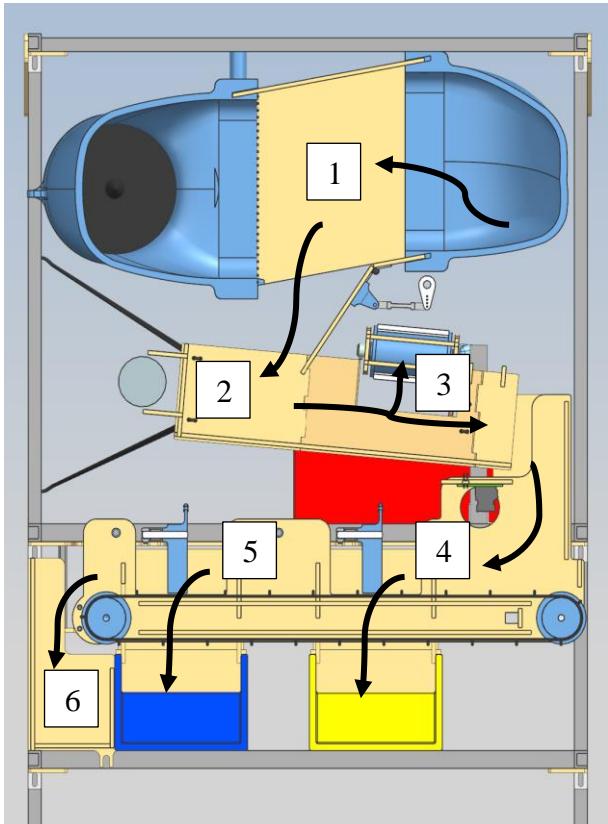


Abb. 66: Teilschnitt der Sortieranlage

von der Kamera erkannt, siehe auch Kapitel 5.5.6 «Bilderkennung». Ab diesem Punkt werden die Gegenstände erkannt und gezielt in die Boxen «gekickt». Im Punkt 4 werden die PET-Deckel in die dazugehörige Abfallbox gekickt und in Punkt 5 die Zigarettenstummel. Für das Kicken werden Servos eingesetzt. Die auf dem Förderband gebliebenen Objekte (voraussichtlich Wertgegenstände und Kies) fallen in die letzte MDF-Box, siehe Punkt 6.

5.4 Aufbau Elektrotechnik

Für den elektrischen Aufbau wurde ein Funktionsdiagramm erstellt, siehe Abb. 67. Das Funktionsdiagramm beinhaltet die Stromversorgung in Grau, Aktoren in Grün, Sensoren in Gelb, Netzteile in Blau, Regelungsorgane in Violett und die Steuerung in Rot. Das Funktionsdiagramm hat sich im Gegensatz zum PREN 1 etwas angepasst. Die Schrittmotoren wurden durch Servos ersetzt, das Gebläse wie auch der Lautsprecher und das Drehlicht wurden entfernt und die Sensoren den neuen Begebenheiten angepasst. Elementare Dinge wie die Steuerung oder die Stromversorgung blieben jedoch bestehen.

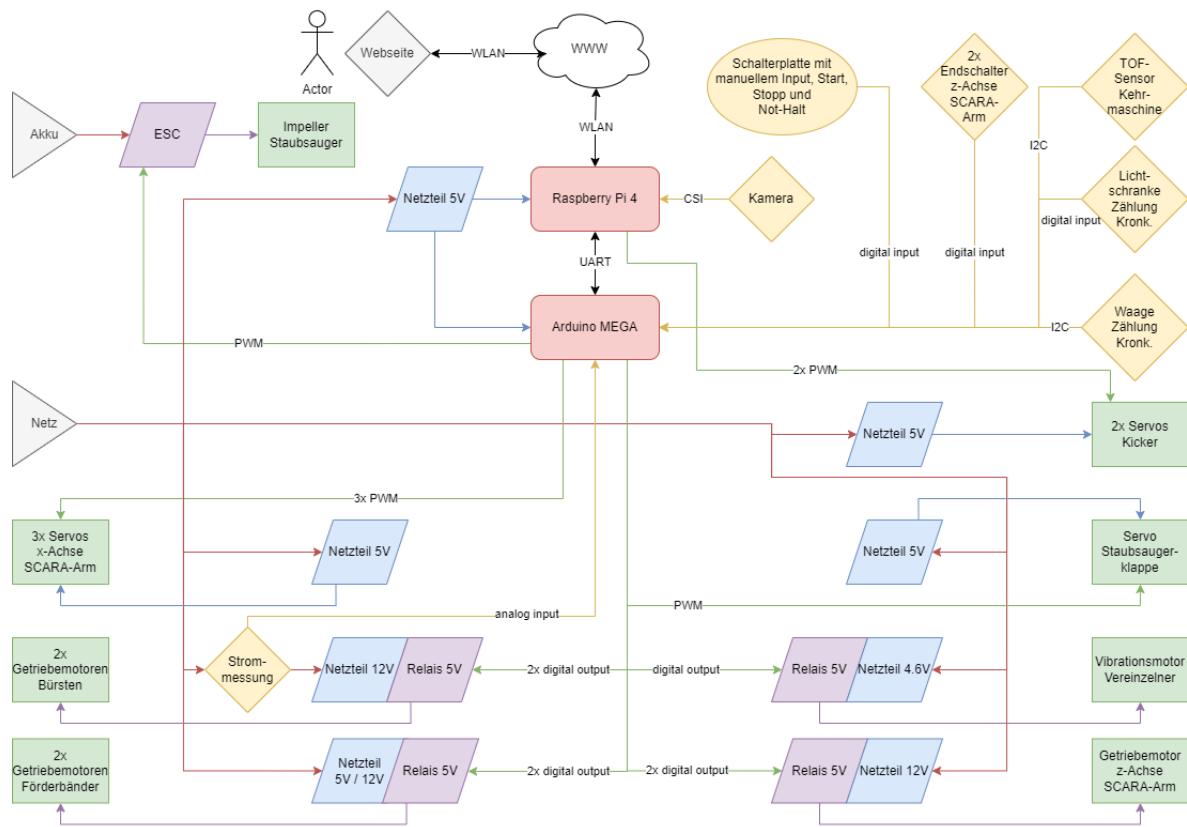


Abb. 67: Funktionsdiagramm Elektrotechnik

In den folgenden Kapiteln der Elektrotechnik werden Anpassungen zum PREN 1 beschrieben und etwas auf die Programmierung des Arduino MEGA eingegangen.

5.4.1 Steuerung

Die Steuerung des DIRT wird hauptsächlich durch ein Arduino MEGA realisiert. Mit der Ausnahme der Bilderkennung und der Ansteuerung der beiden Kicker-Servos, welches beides durch das Raspberry Pi 4 gemacht wird, da es über mehr Hardwareressourcen verfügt und dadurch die Bilderkennung gewährleisten kann. Die Pinbelegung des Arduino wurde in einem separaten Excel organisiert, damit es nicht zu Überschneidungen kommt und zudem die Programmierung vereinfacht. In der Abb. 68 ist ein Ausschnitt dieser Pinbelegung zu erkennen. Zu Beginn des Projektes waren die Pins sehr ausgelastet und es gab nur 10 Reserve Pins. Da jedoch im Verlaufe des Projekts anstelle der Schrittmotoren für den SCARA-Arm auf Servos umgestiegen wurde, wurden 16 Pins frei. Demzufolge gibt es nun diverse freie Pins und kein Risiko einer Überladung mehr.

| | | |
|--|-----------|--|
| | SCL - 21 | I2C für TOF-Sensor |
| | SDA - 20 | |
| | AREF | |
| | IREF | GND |
| Reset-Verbindung zum Rasp | RESET | PWM - 13 |
| 3V3 | PWM - 12 | |
| 5V | PWM - 11 | SCARA-Arm Z-Achse |
| GND | PWM - 10 | |
| Externe Speisung Arduino 5V | GND | PWM - 9 Servo SCARA-Arm hinten (2) |
| VIN | PWM - 8 | Servo SCARA-Arm mitte (3) |
| SCARA Kontroller Potenti Arm Hinten | A0 | PWM - 7 Servo SCARA-Arm vorne (4) |
| SCARA Kontroller Potenti Arm Mitte | A1 | PWM - 6 |
| SCARA Kontroller Potenti Arm Vorne | A2 | PWM - 5 ESC für Staubsauger |
| SCARA Kontroller Z-Achse UP | A3 | PWM - 4 Servo für Staubsaugerklappe |
| SCARA Kontroller Z-Achse DOWN | A4 | PWM - 3 |
| Reset | A5 | PWM - 2 STOPP |
| | A6 | TX0 - 1 Kommunikation, Rasp mit Arduino |
| | A7 | RX0 - 0 |
| | A8 | TX3 - 14 START |
| | A9 | RX3 - 15 |
| Input, Strommessung AC-Seitig | A10 | TX2 - 16 |
| Input, Strommessung der Bürstenmotoren | A11 | RX2 - 17 |
| | A12 | TX1 - 18 Input mit Interrupt, Lichtschranke Abfallboxen Kronkorken |
| | A13 | RX1 - 19 |
| Input, Potentiometer für Winkelerkennung SCARA-Arm | A14 | SDA - 20 I2C für Wägezelle |
| | A15 | SCL - 21 |
| 5V | 5V | |
| 22 | 23 | |
| 24 | 25 | |
| 26 | 27 | |
| 28 | 29 | |
| 30 | 31 | |
| 32 | 33 | |
| 34 | 35 | |
| 36 | 37 | |
| Output, Getriebemotoren Förderbänder mit Relais | 38 | 39 Output, Bürstenmotoren SCARA-Arm |
| | 40 | 41 Output, Bürstenmotoren SCARA-Arm |
| | 42 | 43 Output, Reserve Relais Board 4x |
| Output, Motor Vereinzelner mit Relais | 44-PWM | PWM - 45 Output, Reserve Relais Board 4x |
| 5V, Endschalter SCARA-Arm für vertikale Bewegung | 46-PWM | 47 Input, Endschalter SCARA-Arm für vertikale Bewegung |
| | 48 | 49 |
| 50 - MISO | CE - 51 | |
| 52 - SCLK | MOSI - 53 | |
| GND | GND | |

Abb. 68: Pinbelegung Arduino MEGA

5.4.1.1 Programmierung Arduino

Die Programmierung des Arduino wurde im Programm Visual Studio Code umgesetzt, da dieses Tool von Microsoft übersichtlicher für grosse Projekte ist, im Gegensatz zur Entwicklungsumgebung von Arduino selbst.

Viele elektrische Komponenten, wie das Wägezellen Modul oder der TOF-Sensor, haben vom Hersteller vorgegebene Bibliotheken, welche in diesem Projekt zum Einsatz gekommen sind. Zudem gibt es öffentliche Bibliotheken, wie «Arduino.h» oder «Servo.h» welche die Programmierung einzelner Technologien vereinfachen. In der Abb. 69 sind die eingesetzten Bibliotheken zu erkennen.

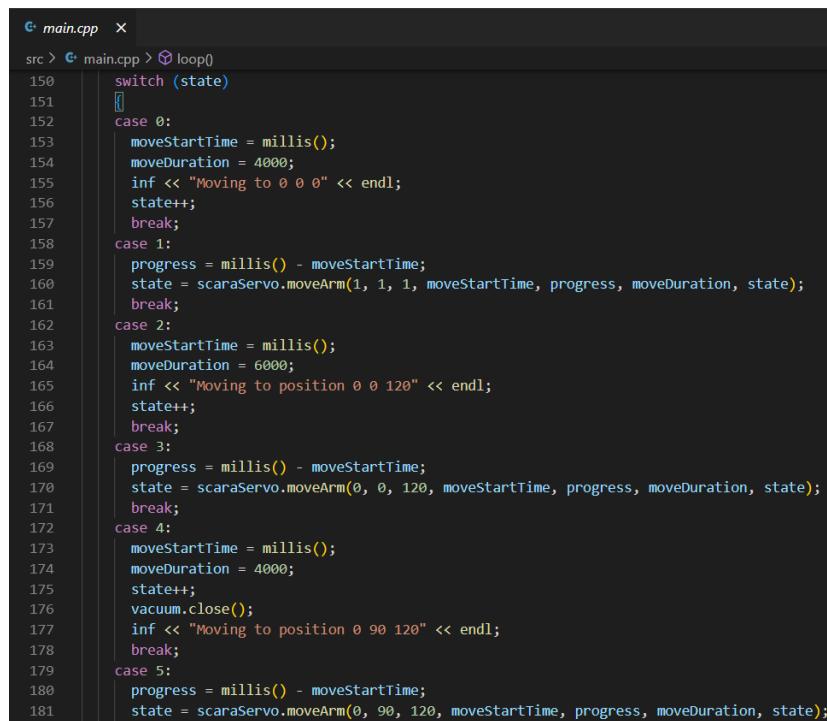
Nebst den vorgegebenen Bibliotheken wurden auch diverse eigene Bibliotheken geschrieben. Diese sind auf der folgenden Seite in der Abb. 70 zu erkennen.

```
src > main.cpp > loop()
1 #include "Arduino.h"
2 #include "scara_servo.cpp"
3 #include "scara.cpp"
4 #include "vacuum.cpp"
5 #include "ArduinoLogger.h"
6 #include "pins.h"
7 #include "conveyor.h"
8 #include "separator.h"
9 #include "counter.cpp"
10 #include "ArduinoJson.h"
11 #include <Wire.h>
12 #include <Servo.h>
13 #include "VL53L4CD_Satellite.h"
14 #include "positions.h"
15 #include "ESC.h"
16 #include "BTS7960.h"
```

Abb. 69: Inkludierte Bibliotheken

Die Bibliothek «pins.h» definiert dabei alle Pins des Arduinos mit Makros, damit man auf diese im Programm einfach zugreifen kann und diese im Falle von Anpassungen nur einmal und nicht im ganzen Code angepasst werden müssen. Ein Ausschnitt dieser Bibliothek ist in der Abb. 71 zu sehen.

Da der SCARA-Arm mehrere Winkel hat, welche simultan angesteuert werden müssen, wurde bei der Programmierung des DIRT auf eine sogenannte «State machine» zurückgegriffen. Dies wurde mittels einer grossen Switch-Case Bedingung realisiert. Zudem wurde die Funktion «moveArm» so geschrieben, dass mittels der Funktion «moveDuration» die Zeit angegeben werden kann, wie lange die folgende Bewegung des SCARA-Armes gehen soll. In der Abb. 72 ist ein Ausschnitt der State machine in Form einer Switch-Case-Schleife zu erkennen.



```

src > main.cpp > loop()
150   switch (state)
151   {
152     case 0:
153       moveStartTime = millis();
154       moveDuration = 4000;
155       inf << "Moving to 0 0 0" << endl;
156       state++;
157       break;
158     case 1:
159       progress = millis() - moveStartTime;
160       state = scaraServo.moveArm(1, 1, 1, moveStartTime, progress, moveDuration, state);
161       break;
162     case 2:
163       moveStartTime = millis();
164       moveDuration = 6000;
165       inf << "Moving to position 0 0 120" << endl;
166       state++;
167       break;
168     case 3:
169       progress = millis() - moveStartTime;
170       state = scaraServo.moveArm(0, 0, 120, moveStartTime, progress, moveDuration, state);
171       break;
172     case 4:
173       moveStartTime = millis();
174       moveDuration = 4000;
175       state++;
176       vacuum.close();
177       inf << "Moving to position 0 90 120" << endl;
178       break;
179     case 5:
180       progress = millis() - moveStartTime;
181       state = scaraServo.moveArm(0, 90, 120, moveStartTime, progress, moveDuration, state);

```

Abb. 72: State machine als switch-case-Schleife

Der verwendete Code für den Arduino MEGA wurde in einem Git-Repository gespeichert. Der Link des Speicherortes steht im Kapitel 6.2.3.2 «Datenablage» zur Verfügung.

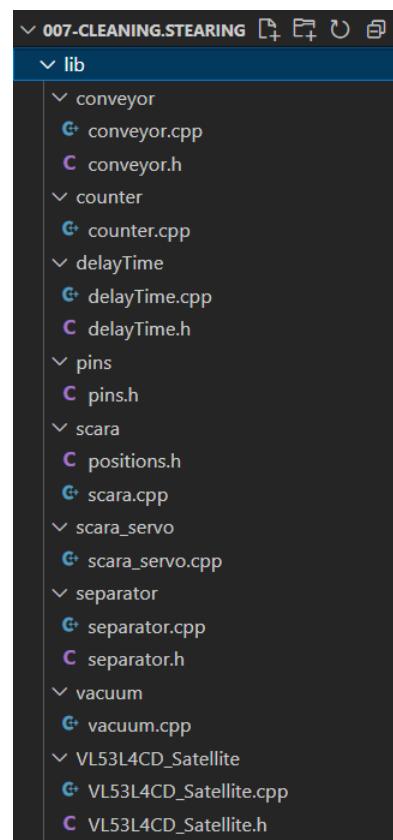


Abb. 70: Eigene Bibliotheken

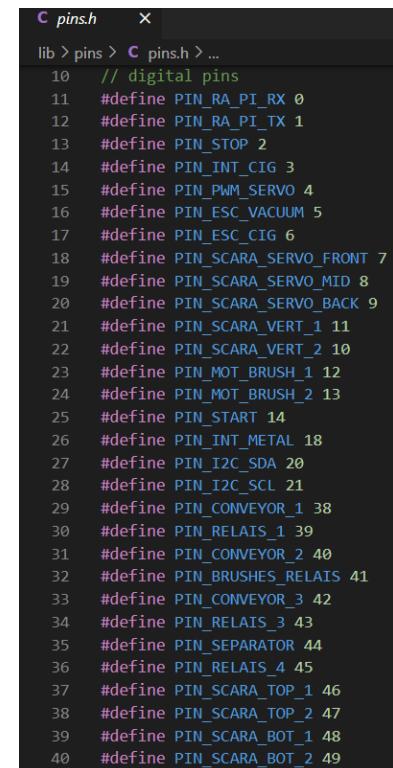


Abb. 71: Bibliothek «pins.h» mit Makros

5.4.1.2 Simulation Steuerung, Elektronik

Um den Code für den Arduino testen zu können, ohne mit dem Gerät interagieren zu müssen, hat das Team einen Simulator genutzt. Mit «Wokwi» wurde ein intuitiv bedienbares Tool gefunden, das keine zu komplexe Installation und Konfiguration voraussetzt.⁶

Das Schema der Simulation ist unter der folgenden URL «<https://wokwi.com/projects/363163001455179777>» jederzeit erreichbar, siehe auch folgende Abb. 73. Die komplexen Bauteile wurden für die Simulation durch简plere Bauteile ersetzt.

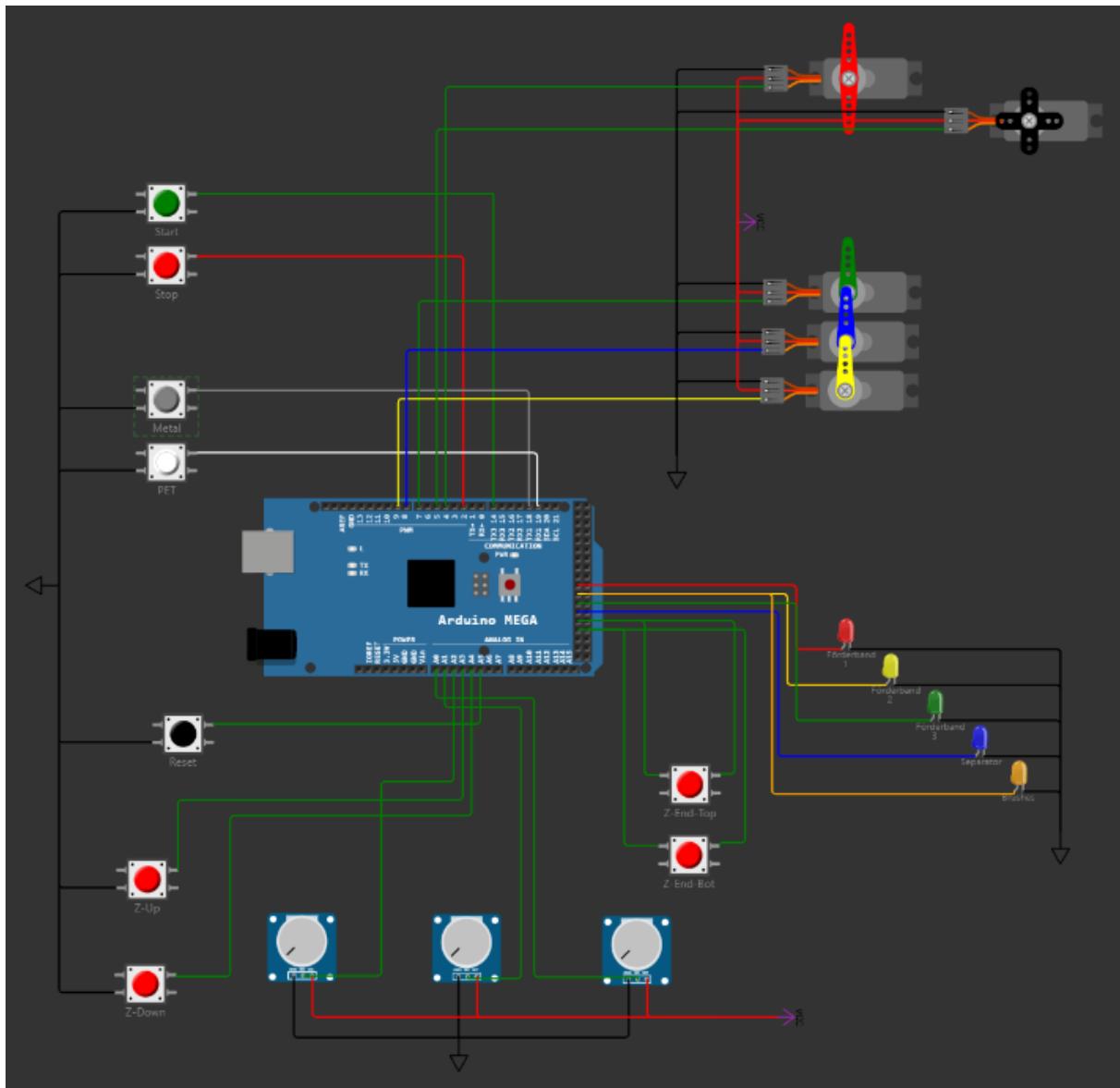


Abb. 73: Simulation mittels Wokwi

⁶ (wokwi.com, 2023)

5.4.2 Aktoren

Neu werden im DIRT Servos anstelle von Schrittmotoren für den SCARA-Arm eingesetzt. Dies hat der Grund, dass die Schrittmotoren einiges zu schwach waren, um den SCARA-Arm bewegen zu können. Da im PREN 1 auf Schrittmotoren zurückgegriffen worden ist, welche in der PREN-Kiste vorhanden waren, wurde nicht näher auf die technischen Daten eingegangen. Als Ersatz dafür wurden Graupener DS 8911 Servos eingesetzt, siehe Abb. 74. Die technischen Daten des Servos können der folgenden Tabelle 2 entnommen werden.



Abb. 74: Neue Servos für den SCARA-Arm

| | |
|-------------------------------|-----------------|
| Abmessungen (LxBxH) | 40 x 21 x 40 mm |
| Gewicht | 69 g |
| Haltemoment | 328 Ncm |
| Stellmoment | 248 Ncm |
| Drehbereich | 2 x 45° |
| Stellzeit | 0,1 Sek/40° |
| Betriebsspannung | 4.8 ... 6 V |
| Leerstromaufnahme | 14 mA |
| Maximale Stromaufnahme | 2.3 A |
| Maximale Ansteuerungsfrequenz | 3 bis 333 Hz |

Tabelle 2: Technische Daten Graupener Servo DS 8911

Wie zu erkennen ist, hat der Servo ein Drehmoment (Stellmoment) von 248 Ncm. Der alte Schrittmotor hatte nur ein Drehmoment von 17 Ncm, was 14-mal weniger ist. Mit den neuen Servos lässt sich der SCARA-Arm ohne Probleme ansteuern.

Nebst dem SCARA-Arm wurde auch der Motor des grossen Förderbands mit Bilderkennung angepasst. Der Grund ist derselbe wie beim Servo, ergo ein zu schwacher Motor aus der PREN-Kiste. Zudem ist es bei der Bilderkennung und dem gezielten, mit Zeit berechneten Kicken der Gegenstände von grösster Bedeutung, dass das Förderband gleichmässig läuft und es keine Ruckler gibt. Deswegen wurde für das grosse Förderband der gleiche Motor gewählt, wie für den Antrieb der Bürsten für die Kehrmaschine, jedoch mit einem anderen Getriebe, welches eine geringere Drehzahl aufweist.

5.4.3 Sensoren

Bei den Sensoren waren hauptsächlich die Lichtschranke und die DC-seitige Strommessung aufwendig. Die Lichtschranke wurde bereits im Kapitel 4.6 «Laser-Lichtschranke» intensiv behandelt. Auf die DC-Strommessung wird folgend näher eingegangen.

Um eine Verstopfung der Kehrmaschine zu erkennen, wurde eine DC-Strommessungsschaltung designet, welche mittels eines Operationsverstärkers den Stromanstieg über einem kleinen Shunt-Widerstand von 0.1 Ohm messen kann. Bei Verstopfung steigt der Stromverbrauch von 0.6 A auf 3.5 A an. Dieser Stromanstieg wurde mit einem Multimeter gemessen. Der Strom fliesst durch den Shunt-Widerstand, bei höherem Strom steigt auch die Spannung an und diese wird mit dem Operationsverstärker so weit verstärkt, dass die Spannung mit einem analogen Input-Pin vom Arduino gemessen werden kann. In der Abb. 75 ist die simulierte Schaltung im normalen Betrieb zu erkennen und in der Abb. 76 die simulierte Schaltung, falls die Motoren verstopfen. Es ist gut zu erkennen, dass die Spannung «U_aus» von 1.92 V auf 5.04 V ansteigt. Ein Spannungsdelta, welches mit dem Arduino gut zu erkennen ist.

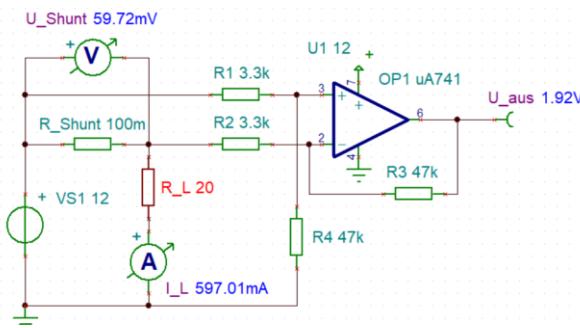


Abb. 75: Simulation Schaltung im normal Betrieb

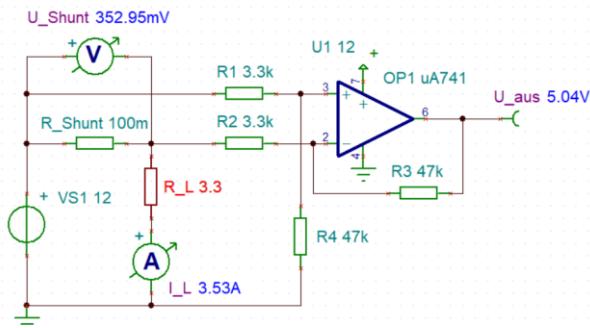


Abb. 76: Simulation Schaltung bei Blockierung der Motoren

Die Abb. 77 zeigt die gelötete Strommessung. Links sind zwei Klemmen, oben für die Quelle, also 5 V und GND und unten für den Motor. Rechts ist eine Klemme für den Ausgang, also «U_aus», welches mit dem Arduino Analog-Input verbunden wird. Der grosse rote Zylinder ist der 0.1 Ohm Shunt-Widerstand und das schwarze viereckige Objekt in der Mitte der IC des Operationsverstärkers.

Beim Testen der Schaltung konnten ähnliche Werte wie in der Simulation festgestellt werden, somit lässt sich eine allfällige Verstopfung der Bürsten optimal erkennen.

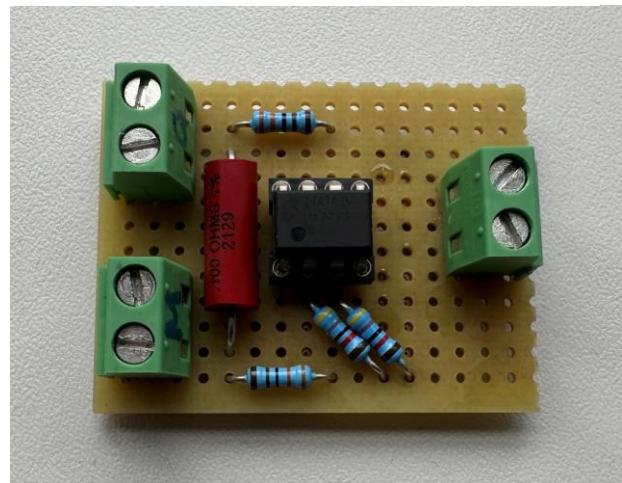


Abb. 77: Finale DC-Strommessung

5.4.4 Stromversorgung

Als Netzteil wird ein Computer-Netzteil eingesetzt, da dieses direkt 3.3V, 5V und 12V erzeugt und zusätzlich grosse Ströme liefern kann. In der Abb. 78 ist ein solches Computer-Netzteil zu erkennen.

Der Stromverbrauch des DIRT wurde zu Testzwecken mit einem Stromkostenzähler bzw. einem Steckdosen-Wattmeter getestet. In der Abb. 79 ist solch einen Stromkostenzähler zu sehen. Das Gerät ist dafür konzipiert, bei einer Steckdose eingesteckt zu werden, worauf das zu messende Gerät in die Zähler eigene Steckdose gesteckt wird. Dadurch kann der Stromverbrauch des Geräts gemessen werden.

Der DIRT hat im Ruhebetrieb eine Leistungsaufnahme von 28 W (21 W Arduino und die restliche Hardware, 7 W Raspberry Pi). Im Betrieb verbraucht das Gerät eine Leistung von ca. 50 W bis 62 W (40 W bis 52 W Arduino und restliche Hardware, 10 W Raspberry Pi).

Dies ist jedoch nur die Leistungsaufnahme des DIRT ohne den Impeller des Staubsaugers.

Der Elektro-Impeller wird mit 60 % PWM betrieben, was einer Leistungsaufnahme von etwa 800 W entspricht, siehe auch folgende Formel. Näheres dazu (inkl. Graph) wurde bereits im PREN 1 ausgiebig erläutert.

$$P = U * I = 22.2 V * 36 A = 800 W$$



Abb. 78: Computer-Netzteil



Abb. 79: Stromkostenzähler

Nebst diesem einmaligen Messergebnis wird der Strom fortlaufend mit einer sogenannten Wandler Messung gemessen und auf der Webseite aktualisiert. In der Abb. 80 ist die genannte Wandler Messung zu erkennen. Der Außenleiter der AC-Seitigen Stromversorgung wird dabei durch das Loch der schwarzen Spule durchgeführt, wodurch bei einem Stromfluss im Leiter eine Spannung in der Spule induziert wird. Diese wird dann gemessen, verstärkt und an den Arduino gesendet.



Abb. 80: Wandler Messung

5.5 Aufbau Informatik

Beim Informatikteil wurden die in PREN 1 ausgearbeiteten Konzepte umgesetzt und es wurden neue und geänderte Anforderungen berücksichtigt.

5.5.1 Webseite

Auf der Webseite wurde ein neues Diagramm hinzugefügt, welches den Energieverbrauch des DIRTs während einer Durchführung anzeigt. Dabei wird der Zeitpunkt der Messung und der Energieverbrauch in Watt angezeigt.

Energy Consumption

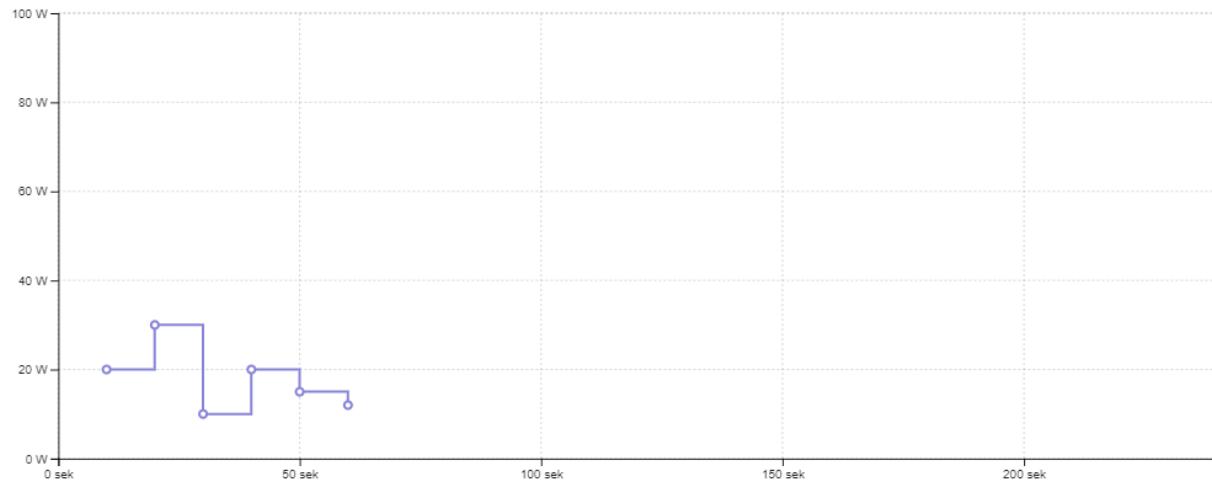


Abb. 81: Diagramm Energieverbrauch

Neu gibt es den Developer Modus auf der Webseite. In diesem Modus kann die Durchführung des DIRTs manuell gestartet werden. Es werden noch zusätzliche Informationen der Durchführung, wie die Start- und Endzeit angezeigt.

Countdown

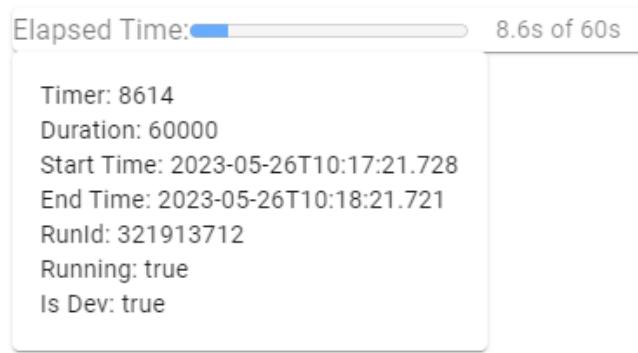


Abb. 82: Developer Modus

5.5.2 API

Die API wurde anhand der Schnittstellendefinition aus PREN 1 umgesetzt. Es wurde eine Architektur aus mehreren Schichten implementiert, um die Zugriffe auf die Datenbank sauber von der Logik zu trennen. Der Aufbau ist auf der Abb. 83 zu sehen. Der Data Access Layer ist für die Datenbankzugriffe verantwortlich. Diese werden mithilfe des Entity Framework durchgeführt. Der Business Layer enthält die Logik für die Datenbankabfragen und leitet diese zur Ausführung an den Data Access Layer weiter. In der API-Implementation sind die Controller enthalten, die die Kommunikation mit den Clients handhaben. Während des Semesters kam die Anforderung dazu, dass die Webseite aus dem Internet verfügbar sein muss. Darum wurde eine Authentifizierung in der API implementiert und obwohl die Anforderungen an die Erreichbarkeit der Webseite wieder geändert hat, bleibt die Authentifizierung bestehen.

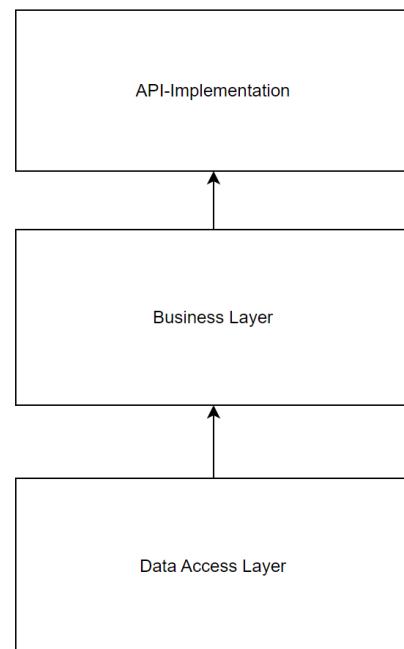


Abb. 83: API-Aufbau

5.5.3 Schnittstellendefinition API

Das Mapping der Datenbank mit der API wurde mit Entity Framework gelöst. Dabei wurden die einzelnen Datenbanktabellen als Klassen erstellt. In der Business Logik werden diese Klassen gebraucht, um in der Datenbank die Tabellen anzupassen oder Daten abzufragen. Die Methoden in der Abb. 84 rechts können aufgerufen werden.

Aufgrund von neuen Anforderungen wurde die Methode «/Chart/AddChartEntry» erstellt, welche in PREN 1 noch nicht geplant war. Diese Methode fügt den Energieverbrauch in das Diagramm ein, welches auf der Webseite angezeigt wird.

Damit nicht alle auf die API zugreifen können, wurde die Authentifizierung hinzugefügt. So kann mit der Methode «/Authenticate/Register» neue Benutzer und mit der Methode «/Authenticate/RegisterAdmin» neue Admins registriert werden. Das Login kann mit der Methode «/Authenticate/Login» durchgeführt werden.

| | |
|---|--------------------------------|
| 📦 | /Animation/GetCurrentState |
| 📦 | /Animation/SetCurrentState |
| 📦 | /Authenticate/Login |
| 📦 | /Authenticate/Register |
| 📦 | /Authenticate/RegisterAdmin |
| 📦 | /Chart/AddChartEntry |
| 📦 | /secret |
| 📦 | /Control/StartNewRun |
| 📦 | /Countdown/GetCurrentTime |
| 📦 | /Countdown/GetCountdownUpdates |
| 📦 | /Log/SaveLogs |
| 📦 | /Log/AddLogMessage |
| 📦 | /Log/GetLogMessages |
| 📦 | /ObjectCount/IncrementCounter |
| 📦 | /ObjectCount/GetCounter |

Abb. 84: API-Schnittstelle

5.5.4 SQL-Datenbank

Die Datenbank hat einige neue Tabellen erhalten. Dazu gehören die zwei Tabellen «WorkStep» und «EnergyConsumption», wie auch die ASP.NET Identity Tabellen.

Die Tabelle «WorkStep» wurde hinzugefügt, damit auf der Webseite der aktuelle Arbeitsschritt angezeigt werden kann. In die Tabelle «EnergyConsumption» wird der Energieverbrauch des aktuellen DIRT-Ablaufs geschrieben. Diese Information wird ebenfalls auf der Webseite angezeigt.

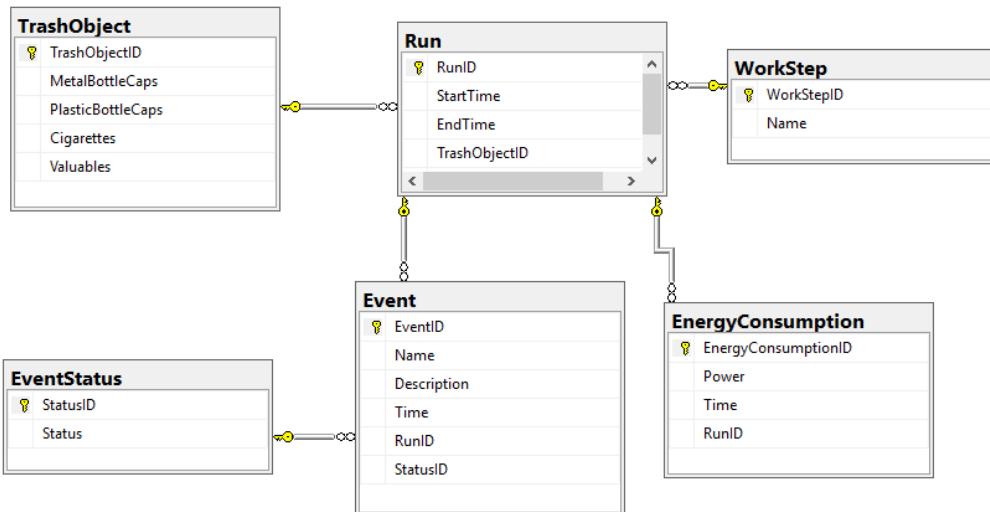


Abb. 85: Datenbankschema

Damit die Authentifizierung auf der Webseite funktioniert, wurden ASP.NET Identity Tabellen generiert. Diese Tabellen beinhalten die verschiedenen Benutzer, Benutzerrollen, Anmeldungen usw.

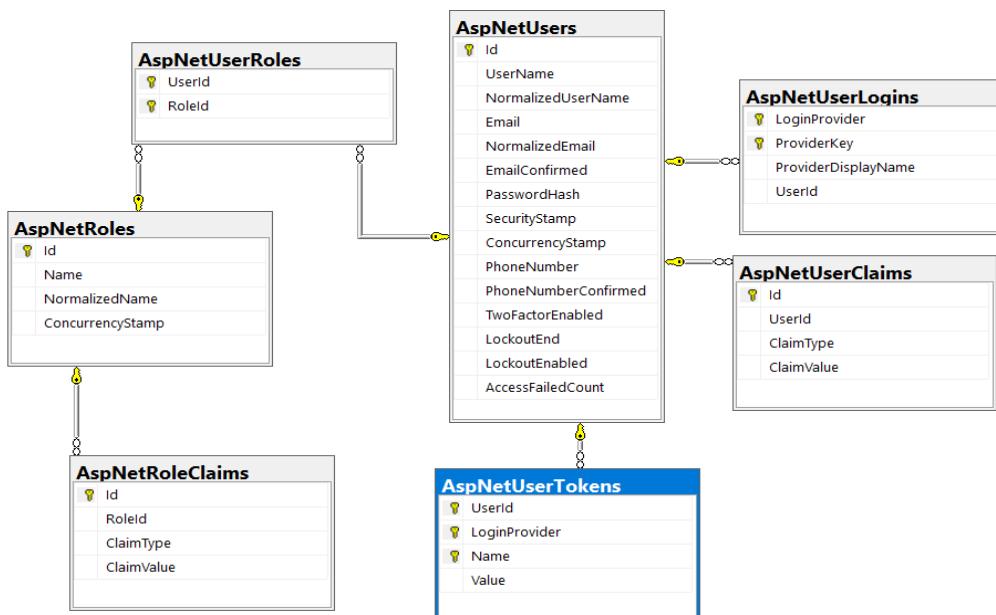


Abb. 86: Datenbankschema - ASP.NET Identity Tabellen

5.5.5 Lasttest

Der Lasttest wurde mit der Applikation «JMeter» durchgeführt. Hierfür wurde ein Test erstellt, welcher 200 Benutzer simuliert. Die 200 Benutzer greifen auf die Webseite zu. Bevor der Test durchgeführt wurde, wurde auf der Webseite der Ablauf des DIRTs gestartet. Somit wird auch die API aufgerufen und die Last besser getestet werden.

Während der Test lief, wurde die Auslastung des Servers überwacht. Dabei blieb die Prozessorauslastung immer bei etwa 10 %. Der Test wurde auch mit 500 Benutzer durchgeführt und es konnte keine grösseren Veränderungen bei der Auslastung erkannt werden.

| Name | Status | 9% CPU | 56% Memory |
|-------------------------------------|--------|--------|------------|
| IIS Worker Process | | 3.3% | 69.1 MB |
| Task Manager | | 1.8% | 22.0 MB |
| Microsoft Edge (13) | | 1.8% | 250.3 MB |
| Local Security Authority Process... | | 0.9% | 12.7 MB |
| System | | 0.4% | 0.1 MB |
| gitlab-runner | | 0.4% | 16.9 MB |
| System interrupts | | 0.3% | 0 MB |
| RDP Clipboard Monitor | | 0.2% | 2.4 MB |

Abb. 87: Serverauslastung während dem Test

5.5.6 Bilderkennung

Aus PREN 1 hatte das Team bereits ein zuverlässiges Modell, um Abfallobjekte zu erkennen entwickelt. Als Erstes wurde eine Applikation entwickelt, die mit der Raspberry Pi Kamera Bilder aufnimmt, über die PyTorch-Library das neuronale Netzwerk aufruft und das Resultat auswertet. In den ersten Versuchen auf dem Förderband des DIRT wurden nur wenige Objekte erkannt. Auf den Bildern war ersichtlich, dass die Kamera zu nahe am Förderband ist. Aus Platzgründen kann die Kamera aber nicht verschoben werden. In der Abb. 88 sieht man, dass alle Objekte eine kleinere Box erhalten als ihre eigentliche Grösse auf dem Bild.

Als erster Lösungsversuch wurde der Trainings-Datensatz mit Bildern des Förderbands erweitert und das Modell neu trainiert. Das war jedoch immer noch nicht ausreichend. Als Nächstes wurde in der Applikation ein Preprocessing auf die Bilder angewendet, es wurde ein Padding (ein schwarzer Rand um das Bild) von 300 Pixeln hinzugefügt und die Bilder werden in dieser Form an das Modell weitergegeben. Damit konnte die Confidence (wie sicher sich das Modell ist, dass es sich um dieses Objekt handelt) um ungefähr 20 % erhöht werden, wie in der Abb. 89 zu sehen ist.

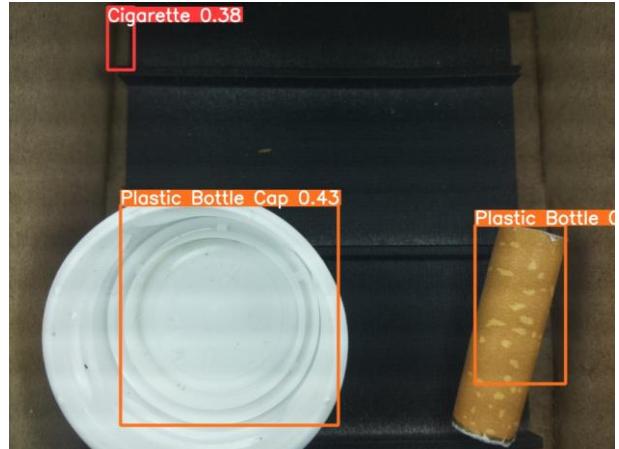


Abb. 88: Bilderkennung vor Anpassungen



Abb. 89: Bilderkennung nach Anpassungen

5.6 Schnittstellen

In diesem Kapitel wird auf die Zusammenarbeiten zwischen den Departements eingegangen. Einer der grössten Herausforderungen war der Zusammenbau des DIRT. Dies aus dem Grund, dass in vielen Situationen die MT-Studierende und ET-Studierende gleichzeitig am DIRT arbeiten wollten. Die MT-Studierende waren dabei beschäftigt den DIRT zusammenzubauen und die ET-Studierende (welche zu Beginn natürlich noch warten mussten, jedoch in dieser Zeit auch mitgeholfen haben im Zusammenbau) waren damit beschäftigt, die Verkabelung durchzuführen. Dies sorgte z.T. zu eingeschränkten Platzverhältnissen in der ET-Werkstatt. Trotzdem konnte man sich optimal untereinander organisieren und dementsprechend gab es keine grossen Probleme.

Ein weiterer Punkt war die Bilderkennung, welche zu Beginn mit besten Lichtverhältnissen trainiert wurde. Als die Kamera jedoch beim Förderband installiert wurde, realisierte man zügig, dass das Förderband beleuchtet werden muss. Aus diesem Grund mussten die ET-Studierende nachträglich noch eine möglichst diffuse Beleuchtung einbauen. Dies hat jedoch schnell funktioniert und die Beleuchtung konnte auch, zur Befriedigung der Informatik-Studierende, realisiert werden.

Beim Ansteuern des SCARA-Arms wurde weiter festgestellt, dass die Verkabelung zu eng anliegend umgesetzt wurde. Folglich schränkten die Kabel viele Bewegungen ein und erzeugten einen unnötig grossen Widerstand. Deswegen wurden die Kabel nochmals gelöst und lockerer montiert, sodass sich der SCARA-Arm freier und mit weniger Reibung bewegen kann.

5.7 Gewichtersparnis

Nachdem der ganze DIRT zusammengebaut wurde, wurden auch die Wettkampfbedingungen erneut geprüft. Die Dimensionen wurden wie gewünscht eingehalten (Es war notwendig einige Schrauben, um wenige Millimeter abzutrennen). Das gemessene Gewicht in Abb. 90, wurde aber um fast 800 g überschritten. Falls dies nicht korrigiert wird, droht gemäss FAQ14 und FAQ17 eine Strafe beim Wettbewerb.

Als Lösungsansatz wurden nicht verwendete Schraubklemmen, siehe Abb. 91, abgetrennt. Zudem wurden weitere Optionen im Team besprochen, welche Gewichtsreduktion versprechen. Die vielversprechendste Idee beinhaltet, die Wischer auf andere Objekte zu trainieren (anstelle Wertgegenstände werden nun Zigarettenstummel gewischt), die Wertgegenstände zu ignorieren, das Kies, falls aufgenommen, im DIRT selbst zu deponieren (Gemäss aktueller Lage mit vorgaben ist dies eine nicht definierte Grauzone), das unterste Förderband zu entfernen, den Teil 4.9 Gebläse, zu entfernen sowie die Zählung der Zigarettenstummel über die Bilderkennung zu erledigen. Mit dieser Option sowie den Anschlusskabeln für die Komponenten, zu sehen in Abb. 93, ergaben sich, 839 g Einsparung. Zusammen mit den Klemmen sogar 910 g. Dies reicht aus, um den Anforderungen treu zu sein. DIRT sieht jetzt in Abb. 92 etwas leerer aus. Das finale Gesamtgewicht beträgt nun 14.56 kg.

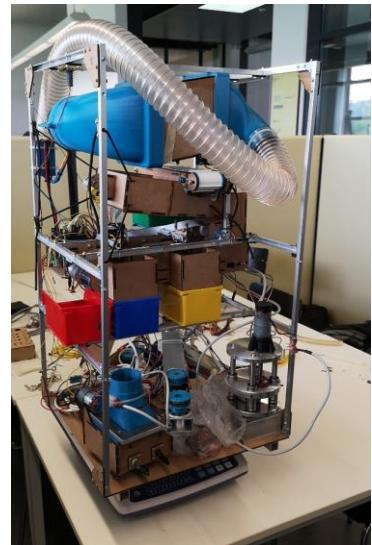


Abb. 90: DIRT auf der Wage



Abb. 91: Nicht verwendete Klemmen

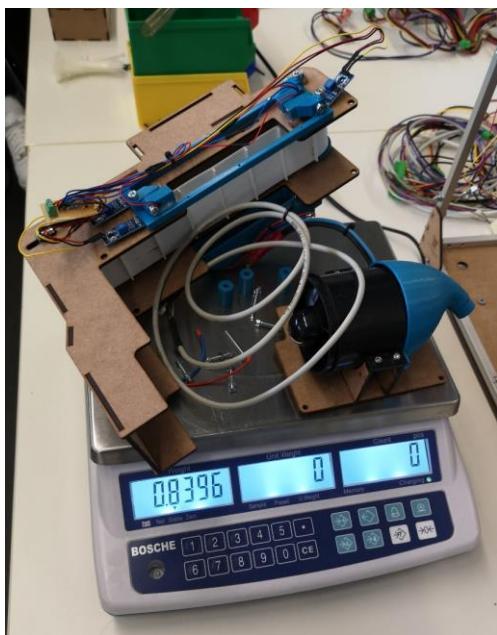


Abb. 93: Gewichtersparnis

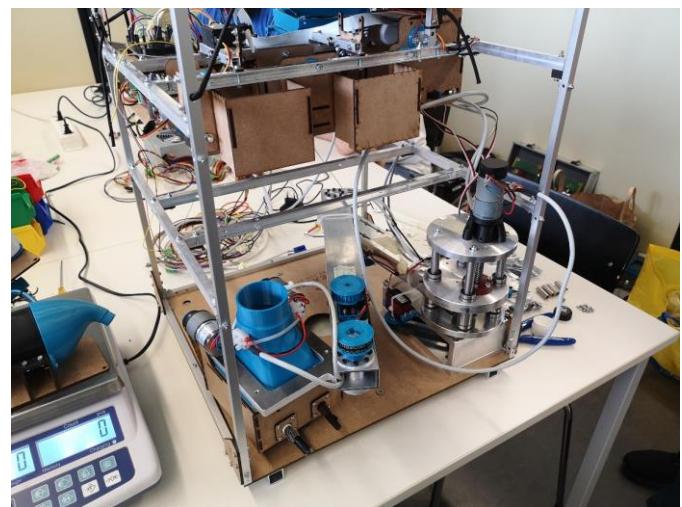


Abb. 92: DIRT ohne Förderband und Impeller

5.8 Strategie Wettbewerb

Limitiert durch die Fähigkeit, leichtere Objekte mit grosser Oberfläche aus einem Kiesbett zu sammeln, ist DIRT nicht in der Lage, Wertgegenstände zuverlässig aufzusammeln. In der Kehrmaschine rutschen die Borsten über die meist metallenen Flächen und im Staubsauger werden diese Gegenstände oft nicht befördert. Zudem sind Wertgegenstände in der Aufgabenstellung nicht spezifiziert, was es der Bilderkennung nur schwer ermöglicht, das Aussehen dessen zu lernen. Deswegen wurden Wertgegenstände weitestgehend ignoriert.

Für den Wettkampf wird der SCARA-Arm zu Beginn einmal komplett ausgefahren und anschliessend mit hin und her Bewegungen zurückbewegt. Bei diesem Prozess wird der Sauger des Öfteren gestoppt, um die Fundgegenstände vom Staubsauger in den Vereinzelner zu befördern. Nach beenden der SCARA-Arm-Bewegungen werden die letzten Objekte eingeordnet, bevor die Kronkorken final gewogen werden (durch Erschütterungen des Vereinzelners werden die Messwerte verfälscht).

Die Zähl- und Messwerte werden von einem Arduino über ein Raspberry Pi an den Webserver weitergegeben, welcher diese Daten in Echtzeit anzeigt.

6 Projektmanagement

Im Kapitel Projektmanagement wird erläutert, wie das Team den Ablauf des Projektes strukturiert hat, damit das Projekt erfolgreich verläuft. Dazu gehört der Projektplan, das Organigramm und die Rollenverteilung. Der Umgang mit den Risiken wird ebenfalls erläutert, sowie die Kostenkontrolle.

6.1 Organisation

Die Projektplanung wird mit einer Tabelle gehandhabt, in der alle Teilaufgaben aufgelistet sind. Um den Fortschritt zu kontrollieren, ist die Soll-Dauer sowie die Ist-Dauer festgehalten. Der Projektplan wird im folgenden Kapitel genauer erläutert. Als Meilensteine dienen die drei Testate, während dem Semester. Für die Aufgabenverteilung wird ein «Kanban-Board» über das Online-Tool «Trello» verwendet. Dort sind die Teilaufgaben aus der Projektplanung erneut aufgeführt und an die Teammitglieder verteilt. Jede Teilaufgabe hat ein Fälligkeitsdatum und einen Status «Arbeitsvorrat», «In Arbeit» oder «Erledigt». Die Aufgaben werden, in Absprache mit den Teammitgliedern, vom Verantwortlichen der Planung verteilt.

6.1.1 Projektplanung

Die Projektplanung ist eines der wichtigsten Werkzeuge eines solchen Projektes. Sie beinhaltet die wichtigen Meilensteine und gibt dem Team einen gewissen Rhythmus vor. Die Projektplanung hilft, wichtige Termine und Fristen einzuhalten. In der folgenden Abb. 94 ist die Projektplanung eingefügt, im Anhang 10.2 «Projektplanung» ist zudem eine grössere Variante im Querformat beigelegt. Die Testate sind mit kleinen gelben Rauten dargestellt und die Meilensteine mit kleinen grünen Rauten. Die kleinen roten Rauten stellen dabei die IST-Situation der Meilensteine dar. Um die genaue Position der kleinen Rauten besser zu sehen, wurden unter dem Excel grosse blaue Rauten eingefügt.

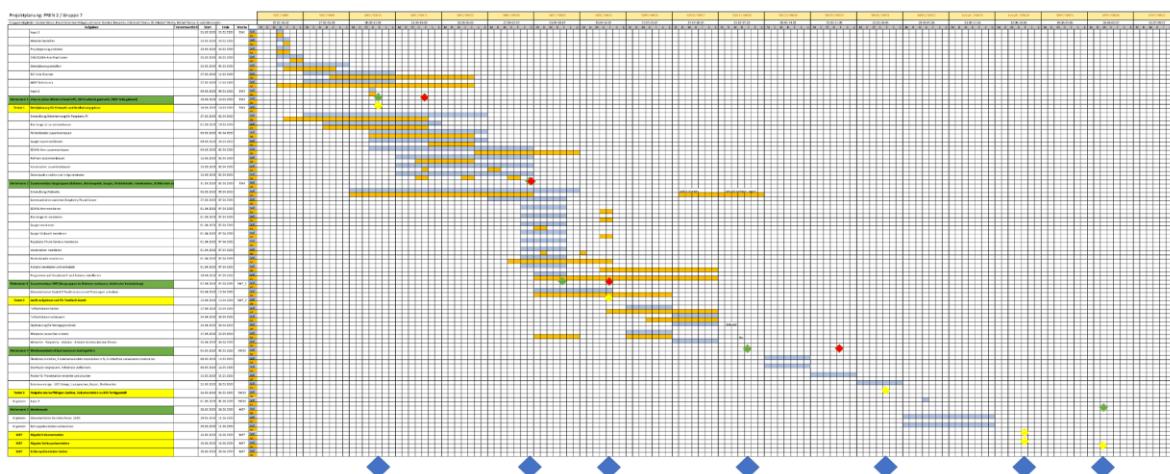


Abb. 94: Projektplanung PREN 2

6.1.2 Organigramm

Das Organigramm zeigt auf, welches Teammitglied welche Rollen und Verantwortungsbereiche übernimmt und ist in der folgenden Abb. 95 abgebildet. Im Organigramm hat es zwei Bereiche. Der obere Bereich zeigt die Rollen der Teammitglieder und im unteren Bereich sieht man die Teammitglieder inkl. Fotos und Studiengang. Da Lukas Schnyder das Projektmodul antizyklisch absolvierte (zuerst PREN 2 dann PREN 1), erhielt das Team 07 im zweiten Semester des Projektmoduls Marco Michel als neues Teammitglied. Dementsprechend wurde das Organigramm angepasst.

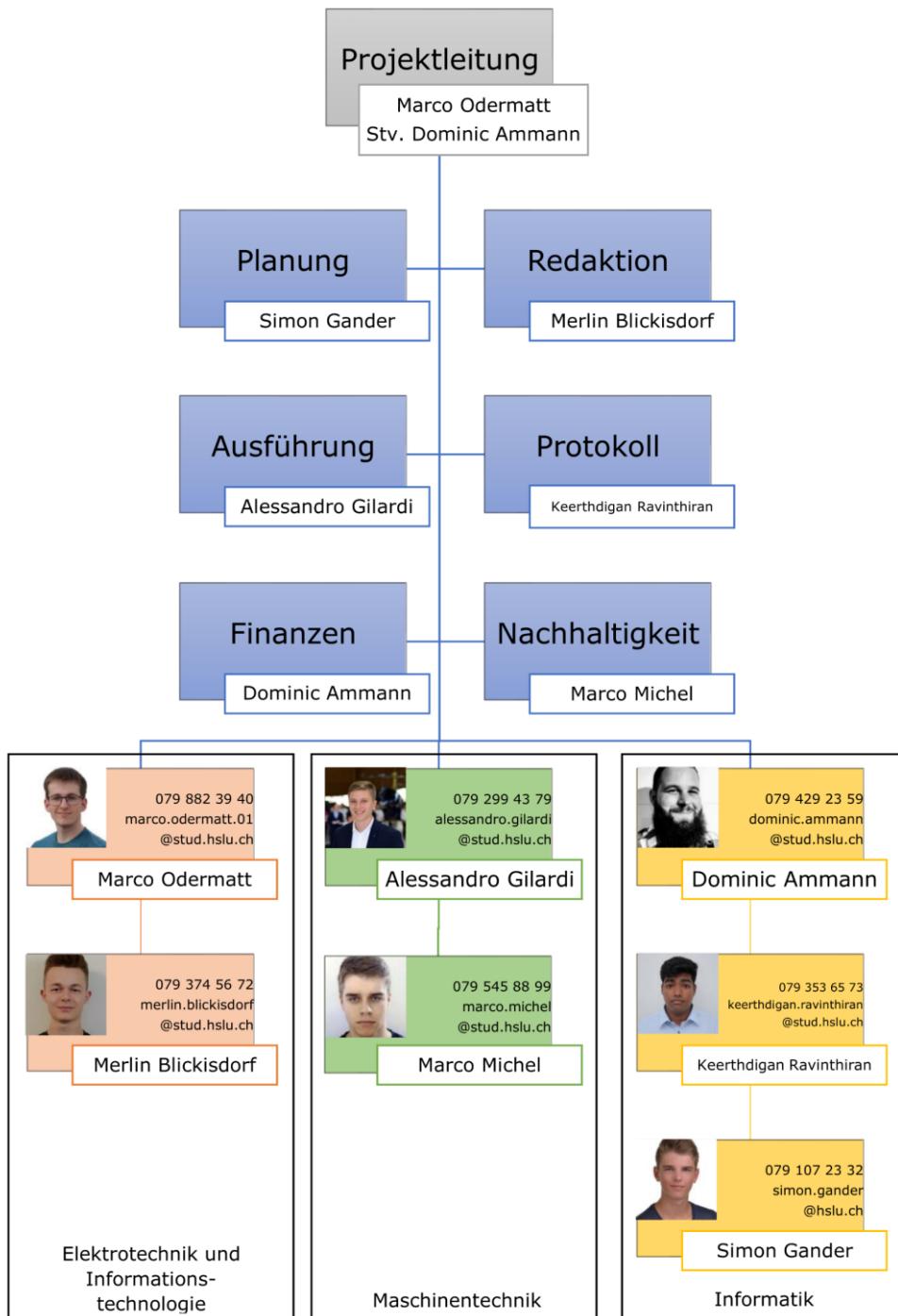


Abb. 95: Organigramm

6.1.3 Rollenverteilung

Die Rollenverteilung vertieft die Angaben des Organigramms und verteilt die einzelnen Rollen der Teammitglieder, siehe Abb. 96. Dafür wurde eine Tabelle geschaffen, mit den Gruppenmitgliedern, Studiengang und deren E-Mail-Adresse. Wie das Organigramm wurde auch die Rollenverteilung bezüglich des personellen Austausches angepasst.

| Mitglied | Rolle / Verantwortung / Aufgaben |
|--|--|
| Marco Odermatt Elektrotechnik & Informationstechnologie marco.odermatt.01@stud.hslu.ch | Projektleitung - Anforderungen analysieren - Koordination des Teams - Kommunikation mit Dozenten |
| Merlin Blickisdorf Elektrotechnik & Informationstechnologie merlin.blickisdorf@stud.hslu.ch | Redaktion - Organigramm & Rollenverteilung - Dokumentation |
| Alessandro Gilardi Maschinentechnik alessandro.gilardi@stud.hslu.ch | Ausführung - CAD - 3D-Druck - Laserteile |
| Marco Michel Maschinentechnik marco.michel@stud.hslu.ch | Ausführung - Nachhaltigkeit - Konstruktionszeichnung |
| Dominic Ammann Informatik dominic.ammann@stud.hslu.ch | Stv. Projektleitung und Finanzen - Excelliste Finanzen und Aufwand - Budgetierung |
| Keerthdigan Ravinthiran Informatik keerthdigan.ravinthiran@stud.hslu.ch | Protokoll - Protokollierung - Anforderungsliste - Recherche (Quellensammlung) |
| Simon Gander Informatik simon.gander@hslu.ch | Planung - Trello - Projektplanung |

Abb. 96: Rollenverteilung

6.2 Durchführung

In diesem Kapitel wird beschrieben, was sich das Team überlegt hat, um die gegebene Aufgabe möglichst effizient, also mit möglichst kleinem Aufwand und effektiv, also zielbezogen, erledigen zu können. Dabei wird die grobe Vorgehensweise und die verwendeten Hilfsmittel kurz erläutert.

6.2.1 Vorgehensweise

Im PREN 1 wurden bereits alle Lösungsvarianten ermittelt und auch Pläne wie CAD-Modelle erstellt. Deswegen musste vor der Umsetzung nur noch ein Projektplan erstellt und die nötigen Teile bestellt, gedruckt oder gelasert werden. Anschliessend konnten die Teilfunktionen zusammengebaut werden. Währenddessen wurde noch Code für die Webseite, für die Ansteuerung des Geräts und für die Kommunikation mit dem Raspberry Pi geschrieben.

6.2.2 Protokoll

| Datum | Tätigkeiten | Bemerkung |
|----------------------|---|---------------------------------------|
| 23./24. Feb. 2023 | Diese Woche fing mit einem Input zur Einführung von PREN 2 an. Bei der Aufgabenstellung gibt es einige Änderungen. Das neue Teammitglied hat sich bei der Gruppe vorgestellt. Anschliessend wurde mit dem Experten die Bewertung von PREN 1 besprochen. Ein Trello Board für PREN 2 wurde mit den nötigen Arbeitspaketen erstellt. Alles, was für die Dokumentation nötig ist, wurde neu erstellt und von PREN 1 übernommen. Es wurde ein neuer Projektplan mit den Meilensteinen ausgearbeitet. | |
| 02./03. Mär. 2023 | Es wurde am Projektplan weitergearbeitet. Alle nötigen Aufgaben wurden gesammelt und im Projektplan eingetragen. Die nötigen Projekte konnten auf GitLab erstellt werden und das bereits vorhandene Projekt auf GitHub nach GitLab übertragen. Die finalen Aufgaben für den SCARA-Arm wurden angefangen. Die benötigten Teile wurden bestellt. Die Laser-Lichtschanke wurde getestet. Bei der Bilderkennung wurde geschaut, wie der Code aussieht, mit dem man die erkannten Objekte auswerten kann. Auf dem Server wurde der SQL-Server installiert und für die Erstellung und Betrieb der Datenbank bereitgestellt. | Nächste Woche ist Abgabe von Testat 1 |
| 09./10. Mär. 2023 | Diese Woche wurden die einzelnen 3D-Teile gedruckt und die MDF-Teile gelasert. Es wurde noch geschaut, wie der Arduino Code für die Steuerung der Maschine | |

| | | |
|----------------------|--|-----------------------------------|
| | <p>aussehen sollte. Die Software der Bilderkennung wurde auf dem Raspberry Pi versucht, zum Laufen zu bringen. Die Detailplanung konnte abgeschlossen und auf ILIAS hochgeladen werden.</p> | |
| 16./17. Mär. 2023 | <p>Die Kommunikation zwischen der Kamera und dem Raspberry Pi konnte nicht hergestellt werden. Dies wurde analysiert und die Verbindung konnte Ende Woche hergestellt werden. Damit konnte die Bilderkennung auf dem Raspberry Pi getestet werden. Für das Speichern der Daten wurde die Datenbank auf dem Server erstellt. Für die Steuerung der einzelnen Teile im Gerät wurde geschaut, wie der Arduino Code erstellt werden muss. Dafür wurde noch ein Ablaufdiagramm entworfen. Das Bürstengerät konnte fertig gebaut werden.</p> | |
| 23./24. Mär. 2023 | <p>Sauger zusammengebaut. Rahmen zusammengebaut. Rahmen wiegt nun 2,5 kg. Datenbank. Förderband zusammengebaut. Datenbank in API einbinden.</p> | |
| 30./31. Mär. 2023 | <p>Die Datenbank konnte erfolgreich ins API eingebunden werden. SCARA-Arm wurde fertig gebaut. Bilderkennung auf Raspberry Pi weitergetestet (PET-Deckel in Behälter wegwischen). Es ist geplant, dass bis nächste Woche alle Teilfunktionen zusammengebaut werden.</p> | Nächste Woche ist Osterunterbruch |
| 13./14. Apr. 2023 | <p>Die einzelnen Teilfunktionen wurden ins Gerüst des Geräts eingebaut. Es konnte mit dem Arduino Code für die Steuerung angefangen werden. Auf der Webseite wurde ein Graph hinzugefügt, welches anzeigen sollte, wie viel Strom der DIRT verbraucht. Hier wurde noch weitergeschaut, welche Informationen mit diesem Graphen angezeigt werden können.</p> | |
| | <p>Der DIRT ist ganz aufgebaut und es konnte mit der Verkabelung angefangen werden. Die Bilderkennung konnte jetzt auch im Gerät getestet werden, um zu schauen, ob die Belichtung passt und die Distanz der Kamera zum Förderband korrekt ist. Die API und der Arduino Code konnten weiter mit neuen Funktionen ergänzt werden. Im Team Coaching konnte das Gerät den Experten vorgestellt und allfällige Fragen beantwortet werden.</p> | |
| 28./29. Apr. 2023 | <p>Der DIRT wurde diese Woche weiter verkabelt und die Stromversorgung angeschaut. Dabei wurde geschaut,</p> | |

| | | |
|----------------------|---|-------------------------------------|
| | ob die einzelnen Funktionen des Gerätes funktionieren. Am Arduino Code und an der API konnte noch weitergearbeitet werden. Die Logging-Funktion wurde hinzugefügt, um auf der Webseite eine Konsole darzustellen. | |
| 04./05. Mai 2023 | Die Aufgabe mit der Verkabelung des Gerätes konnte fortgesetzt werden. Anschliessend wurden die Teile einzeln getestet. Der Test konnte noch nicht autonom durchgeführt werden, dafür aber manuell. Mit dem Arduino Code konnte getestet werden, ob sich z.B. der SCARA-Arm auf Befehl bewegen kann. Die API-Calls wurden getestet und geschaut, ob alles korrekt in die Datenbank geschrieben wird. Die Kamera für den Raspberry Pi wurde oberhalb des Förderbands befestigt, sodass die Bilderkennung getestet werden konnte. | |
| 11./12. Mai 2023 | Es wurde weiter an den Einzelteilen gearbeitet. Es wurde weitergeschaut, wie mit dem Arduino die Teilfunktionen angesteuert werden können. Auch die Bilderkennung wurde auf dem Förderband weitergetestet. Der Lasttest wurde vorbereitet. Webseite angepasst, bis die API-Calls funktioniert haben. | |
| 19. Mai 2023 | Aufgaben der letzten Woche weitergeführt. Der Lasttest konnte ausgeführt und anschliessend dokumentiert werden. An der Dokumentation weitergearbeitet. | Abgabe des Testats nächste Woche |
| 25./26. Mai 2023 | Der DIRT wurde für den Testlauf bereitgestellt. Die Dokumentation wurde auf einen aktuelleren Stand gebracht. An der Bilderkennung und der Ansteuerung der Teilgeräte wurde weitergearbeitet und getestet. | |
| 01./02. Juni 2023 | Die Aufgaben der letzten Woche wurden weiterbearbeitet. Der Testlauf konnte durchgeführt werden, aber noch nicht auf dem Test-Kiesbett. An der Dokumentation konnte noch gearbeitet werden, damit alles für die Abgabe bereit ist. | |

6.2.3 Hilfsmittel

Im Projekt wurden mehrere Hilfsmittel verwendet, um die verschiedenen Aufgaben zu erleichtern. Diese werden hier erläutert.

6.2.3.1 *Trello*

Die verschiedenen Aufgaben des Teams konnte mit «Trello» verwaltet werden. Hier konnten die pendenten Aufgaben erfasst und den einzelnen Teammitgliedern vergeben werden. Dies führte dazu, dass die Aufgaben termingerecht erledigt werden konnten.

6.2.3.2 *Datenablage*

Für die Ablage von Daten wurde ein OneDrive Verzeichnis erstellt. Hier befinden sich alle Dateien für das Projekt, wie die Dokumentation, CAD-Modelle, Bilder usw. Der Code für die Webseite, Arduino und den Raspberry Pi befindet sich allerdings nicht im OneDrive Verzeichnis. Dafür wurde für die einzelnen Code-Projekte GitLab Repositories erstellt. Damit können verschiedene Teammitglieder am gleichen Code arbeiten und der Code wird versioniert im Repository gelagert. Die URL der Repositories sind:

- <https://gitlab.enterpriselab.ch/prengroup7/007-cleaning.systems> (Code für Webseite)
- <https://gitlab.enterpriselab.ch/prengroup7/007-cleaning.steering> (Arduino-Code)
- <https://gitlab.enterpriselab.ch/prengroup7/007-cleaning.control> (Raspberry Pi)

Weiter wurden alle paar Wochen eine externe Sicherung des OneDrive erstellt, um technische Probleme seitens Microsoft vorbeugen zu können. Diese Sicherungen wurden in einer anderen Cloud gespeichert, um jederzeit darauf Zugriff zu haben.

6.2.3.3 *Eigenes Mini-Labornetzteil*

Wie auch im PREN 1 wurde im PREN 2 auf das Mini-Labornetzteil zurückgegriffen. Da im PREN 2 alle elektrischen Komponenten zusammengebaut wurden, musste man in vielen Situationen diese kurz mit Strom versorgen, um dessen Funktion zu testen. Da das richtige Netzteil des DIRT erst gegen Ende des Semesters fertig war, wurde das Labornetzteil extensiv für diese Aufgaben eingesetzt, siehe Abb. 97.



Abb. 97: Eigenes Mini-Labornetzteil

6.3 Risikomanagement

Die Risikoanalyse in der Abb. 98 aus dem PREN 1 beschreibt die drei übergeordneten Kategorien, aus denen die Risiken bestehen. Diese sind die Umsetzungs-, Management- und die sozialen Risiken. Im PREN 2 sind die Umsetzungsrisiken von grosser Bedeutung, da sich das zweite Projektmodul hauptsächlich auf die physische Realisierung des Konzeptes aus dem ersten Projektmodul befasst. Jedoch gibt es auch andere Risiken, wie die Zeit, welche eine wichtige Rolle spielen. Folgend wird somit näher auf die Rot umkreisten Risiken in der Risikoanalyse rechts eingegangen.

6.3.1 Technische Probleme

Bei den technischen Problemen sind hauptsächlich unvorhergesehene technische Hürden gemeint, welche z.B. im CAD nicht erkannt werden konnten und zu einer Verzögerung der Ausführung führen könnten.

Dementsprechend wurde das Ziel gesetzt, mit einem Baugruppen-Ansatz an das Projekt anzugehen. Das heisst es wurden Funktionsgruppen gebildet, wie der Staubsauger oder die Kehrmaschine, siehe Kapitel 4 «Baugruppen», welche fortlaufend getestet werden müssen, damit man sich auf diese Funktionsgruppen verlassen kann und nur noch die Synchronisation zwischen den Baugruppen, am Ende des Projektes, zur Herausforderung wird.

Dies konnte bei der Ausführung zweckmässig eingehalten werden und erzielte das gewünschte Resultat. Die Baugruppe, welche das Team am meisten versäumt hat, ist der SCARA-Arm, bei welchem die NEMA-Schrittmotoren viel zu schwach waren, um den SCARA-Arm bewegen zu können, weshalb auf Servomotoren zurückgegriffen wurde. Weiteres dazu siehe Kapitel 4.2 «SCARA-Arm».

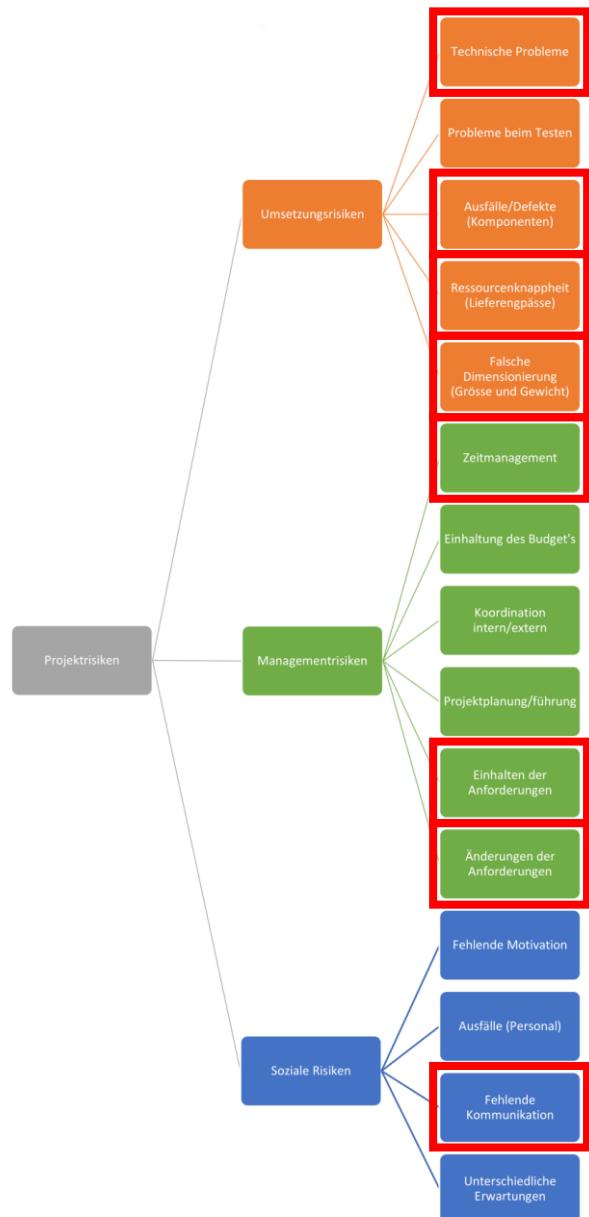


Abb. 98: Risikoanalyse

6.3.2 Ausfälle und Defekte

Ausfälle und Defekte sind ein alltägliches Problem, welchem nur sehr schwierig entgegengewirkt werden kann. Sie sorgen dafür, dass eine Baugruppe erst zu einem späteren Zeitpunkt, zu spät oder unter Umständen gar nicht fertiggestellt werden kann.

Die Überlegungen, welche sich das Team 7 dazu gemacht hat, sind, bei Komponenten welche bekannt dafür sind defekt zu gehen, wie ein Motoren-Treiber oder eine H-Brücke, jeweils eine Reserve zu haben. Oder falls dies finanziell nicht möglich ist, eine alternative bereitzustellen. Jedoch ist dies nicht mit allen Komponenten realisierbar, weshalb im Falle eines unvorhergesehenen Defekts das Bauteil nachbestellt werden muss, was schlussendlich das Risiko der Zeit beeinflusst, mehr dazu später.

Zum Glück gab es nicht übermäßig viele Defekte. Zwei H-Brücken sind plötzlich beim Einschalten des DIRT einmal kaputtgegangen, dabei ist man auf Relais zurückgewichen und auf eine Reserve H-Brücke. Andere Defekte waren marginal und sind dementsprechend nicht erwähnenswert, da sie ohne Probleme ersetzt werden konnten.

6.3.3 Ressourcenknappheit

Bei der Ressourcenknappheit handelt sich hauptsächlich um das Risiko der zeitlichen Materialbeschaffung. Bei einer Ressourcenknappheit kann es sein, dass ganze Baugruppen nicht realisiert werden können. Dementsprechend ist dieses Risiko von hoher Bedeutung.

Um dieses Risiko zu minimieren, wurden im PREN 1 alle zu bestellenden Waren zusammengetragen und noch vor Semesterbeginn des PREN 2 bestellt. Zudem wurden einzelne Bauteile wie der Arduino MEGA bereits im PREN 1 besorgt. Der Raspberry Pi konnte man von einem Teammitglied übernehmen, welche einen solchen Einplatinencomputer in einem bereits besuchten Modul erhielt. Dies war besonders wichtig, denn speziell der Raspberry Pi 4 ist, wegen der anhaltenden Chip-Krise, praktisch nicht lieferbar in einem vernünftigen Preis.

Diese Massnahmen haben dazu geführt, dass man praktisch keine Wartezeiten bezüglich Lieferengpässe hatte. Das Einzige war eine Wägezelle, welche bei Einbau defekt ging. Die neue Zelle konnte jedoch rechtzeitig nachbestellt werden, siehe Kapitel 4.7 «Waage».

6.3.4 Inkorrekte Dimensionen

Dieses Risiko befasst sich mit den von der Anforderungsliste geforderten äusseren Masse und dem Gewicht des DIRT. Ein Überschreiten der Anforderungen galt zu Beginn als Ausschlusskriterium. Dies änderte sich jedoch zu einem späteren Zeitpunkt zu Punktabzug. Da es jedoch zu Beginn ein Ausschlusskriterium war, wurde viel Aufmerksamkeit auf dieses Risiko gesetzt. Ende PREN 1 war bereits klar, dass das Gewicht eines der grösseren Risiken im PREN 2 sein wird. Ebendarum wurde das Ziel gesetzt, den DIRT und dessen Baugruppen fortlaufend auf die Waage zu stellen, um diesem Risiko entgegenwirken zu können.

Dieses Ziel wurde auch eingehalten und trotzdem war das Gewicht am Ende zu hoch, weshalb auf ein paar Funktionen verzichtet werden musste, mehr dazu im Kapitel 5.1 «Übersicht».

6.3.5 Zeitmanagement

Die Zeit ist eine der wichtigsten Risikofaktoren in einem Projekt. Sie entscheidet, ob eine Funktion bei überschüssiger Zeit verfeinert oder im Gegenzug bei unzureichender Zeit ganz weggelassen wird.

Demzufolge wurde das Ziel gesetzt, viel Aufmerksamkeit auf die Projektplanung und derer Einhaltung zu setzen. Dabei wurde eine Person im Team für die Projektplanung und derer Einhaltung verantwortliche gemacht, mit der Unterstützung des Projektleiters. Mehr dazu ist im Kapitel 6.1 «Organisation» beschrieben.

Die Realität ist jedoch bekanntlich fern der Planung und so gab es auch in diesem Projekt an manchen Stellen zeitliche Probleme. Wie bereits im Kapitel 6.3.1 «Technische Probleme» geschrieben, war der SCARA-Arm eines der wesentlichen Gründe für den Aufschub. Vor allem gegen Ende des Projektes musste in der Lernphase nach dem Semester etwas Zeit geschaffen werden, um das Projekt zu einem akzeptablen Stand abschliessen zu können.

6.3.6 Einhalten der Anforderungen und allfällige Änderungen

Das Projektmodul basiert auf eine Aufgabenstellung mit diversen Anforderungen. Diese wären z.B. die Arbeitszone, welche nicht überschritten werden darf, die maximale Spannung von 50 V, die auf dem DIRT erlaubt ist, die Dimensionen, welche bereits in Kapitel 6.3.4 «Inkorrekte Dimensionen» erläutert wurden, das begrenzte Budget oder die Nachhaltigkeit, welche neu auch beachtet werden muss. Diese Anforderungen gilt es zu beachten, da ansonsten Punktverlust oder einen Ausschluss aus dem Wettbewerb zu erwarten ist. Zudem ist es auch möglich, dass die Anforderungen mit der Zeit ändern, da es neue Bedingungen gibt.

Um auf diesen Punkt eingehen zu können, hat sich das Team entschieden, diese Anforderungen möglichst genau zu befolgen, damit keine Punkte verschenkt werden. Zudem werden Anforderungen wie der Ausschluss, im Fall, wenn der eigene Roboter ins Feld des anderen Teams gerät, mit besonderer Aufmerksamkeit verfolgt.

6.3.7 Fehlende Kommunikation

Ein weiteres Risiko ist die interne Kommunikation zwischen den Departements. Misskommunikation oder gar fehlende Kommunikation kann zu Zeitversäumnis und zu unnötigen Aufwänden führen.

Daher hat sich das Team entschieden, sich jeden Donnerstag zu treffen, um den aktuellen Stand zu besprechen und weiteres Vorgehen zu koordinieren. Zudem wurde entschieden wie im PREN 1 weiterhin mit dem Projektmanagementtool Trello zu arbeiten, mehr dazu im Kapitel 6.2.3.1 «Trello».

Dies hat sich als sehr effizient erwiesen und wurde auch so vom Team umgesetzt. Gegen Ende des Semesters wurde diese Regel zudem auf den Freitag erweitert, um mehr Arbeit erledigen zu können. Das Trello wurde fortlaufend gepflegt und zumeist eingehalten.

6.4 Kostenkontrolle

In der Aufgabenstellung ist vorgegeben, dass über beide PREN-Semester ein Budget von 500 CHF zur Verfügung gestellt wird. Im ersten Semester sollen dabei nicht mehr als 200 CHF davon verwendet werden und im zweiten Semester steht dem Team das restliche Budget zur Verfügung. Das Budget wird bereitgestellt, um sämtliche Bauteile oder falls nötig auch Software zu bezahlen. Gesponserte oder private Bauteile sind zulässig, müssen jedoch im Budget mit eingerechnet werden. Notebooks, Smartphones und Tablets gehören nicht in das Budget, da dies die Grundausstattung jedes Studierenden ist.

6.4.1 Budget

Um das gegebene Budget der Aufgabenstellung nicht zu überschreiten, wurde eine Tabelle erstellt, siehe Abb. 99. Diese Tabelle enthält alle Ausgaben, die vom Team getätigt wurden und wurde fortlaufend durch das Team ergänzt. Dabei wurden auch Online-Recherchen und private 3D-Drucke in das Budget übernommen. Dasselbe Dokument konnte auch für die Erfassung der geleisteten Arbeitszeit genutzt werden.

| Datum Bestellt | Liefertermin | Bemerkung/Shippin Kosten | Name | Produkt/Was | Baugruppe (Wofür) | Zeit [h] | Zeitkategorie | Quelle |
|----------------|--------------|--------------------------|-----------------|--|------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| | | | 21.5 Alessandro | ESC 130A (Alessandro) | Saugen | | | Link |
| | | | 23.95 Merlin | 1x Gleared DC motor | Bürsten | | | |
| 24.02.2023 | 02.03.2023 | | 20.4 Marco O. | 3D print Filament 1kg ReForm RePET | Saugen | | | |
| 24.02.2023 | | | 10 Alessandro | 3mm MDF 2x platten Fablab | Grundgerüst | | | |
| | | | 20 Marco O. | Förderband 3x TPU 0.5kg | Transportieren | 28.5 | Private 3D Drucker | |
| | | | 17 Alessandro | Vierkant Alu Profil 10x10mm 4m | Grundgerüst | | | |
| | | | 9.18 Alle | Winkel RSOnline 10mm 34stk | Grundgerüst | | | |
| | | | 10 Merlin | Elektronik Sensoren, budget | Steuern | | | |
| | | | 2.58 Alle | Motor für Förderband 3x | Transportieren | | | Link |
| | | | 26.5 Alessandro | EDF Turbine 90 mm | Saugen | | | Link |
| | | | 0 Alessandro | Akku 5000mAh (Vergleichsartikel) | Saugen | | | Link |
| | | Stromversorgung | | | | | | |
| | | | Dominic | | | 1 | Dokumentation | |
| | | | Keerthidigan | | | 1 | Dokumentation | |
| | | | Marco O. | | | 1 | Dokumentation | |
| | | | Merlin | | | 1 | Dokumentation | |
| | | | Alessandro | | | 4 | Dokumentation | |
| | | | Marco M. | | | 1 | Dokumentation | |
| | | | Simon | | | 1 | Dokumentation | |
| | | | Marco O. | | | 2 | Recherche | |
| 24.02.2023 | 01.03.2023 | | 5.59 Marco O. | Conrad 2xZahnflachriemen 20xstelling | | | | |
| 24.02.2023 | 24.02.2023 | | 22.5 Alessandro | Hornbach Vierkantrohrprofile | | | | |
| 09.03.2023 | | | Marco O. | Lichtschranke, zählmechanismen | Zählen | 1 | Recherche | |
| 09.03.2023 | | | 4.3 Marco O. | Jumbo Polystyrolspiegel | Zählen | | | Link |
| 17.03.2023 | 19.04.2023 | | 56.5 Marco M. | Igus/Mädlér Gleitlager und Zahnrämer SCARA-Arm | | | | |
| | | | 21 Merlin | 1x rPET Filament Rollen | | | | |
| | | | | rPET Benchy (Testdruck) | Test | 4.5 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Schlauch-Anschlussstück Staubsauger | Saugen | 62 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Impeller-Anschlussstück Staubsauger | Saugen | 56 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Schlauch-Anschlussstück Kehrmaschine | Saugen | 18 | Private 3D Drucker | |
| | | | | 4x Zahnräder Kehrmaschine | Bürsten | 2.5 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Halterung TOF-Sensor der Kehrmaschine | Bürsten | 1 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Impeller-Anschlussteil Gebläse | Saugen | 5.5 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Schlauch-Anschlussteil Gebläse | Saugen | 5.5 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Rollen für Förderbänder | Transportieren | 18 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Zahnräder SCARA-Arm | Grundgerüst | 9 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Halterungen Servos SCARA-Arm | Grundgerüst | 9 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Bauteile für die Waage | Zählen | 4.5 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Bauteile für die Lichtschranke | Zählen | 9 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Diverse Kleinteile | Grundgerüst | 5 | Private 3D Drucker | |
| | | | | Weitere Test- oder Fehldrucke | Test | 10 | Private 3D Drucker | |
| 08.05.2023 | 13.05.2023 | | 39.8 Alessandro | Neue Führungen | | | | |
| | | | | Förderband 1(Magnet) | Transportieren | 0.05 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Förderband 2(Wischer) | Transportieren | 0.16667 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Förderband 3(Zigi) | Transportieren | 0.11667 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Lüfter Saugen | Saugen | 0.03333 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Vereinzelner | Vereinzelner | 0.1 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Ziggi-Anlage (Turbine-halter) | Bilderkennung | 0.01667 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Bürstengerät | Bürsten | 0.05 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Rahmen (Winkel, Grundplatte, Verbinc Rahmen) | | 0.36667 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Test- oder Fehlschnitte | Test | 0.2 | Private Lasergeräte | |
| | | | | Entfernt | -6.37 Alessandro | Impeller 35A | Trennen | 4 Fertigung |
| | | | | Entfernt | -0.972 Marco | ESC 30A | Trennen | 6 Fertigung |
| | | | | Entfernt | -6.66666667 Marco O. | Förderband 3x TPU 0.5kg 1x entfernt | Transportieren | -9.5 Private 3D Drucker |
| 05.06.2023 | | | | Dominic | | | | Dokumentation |
| 05.06.2023 | | | | Keerthidigan | | | | 4 Dokumentation |
| 05.06.2023 | | | | Marco O. | | | | 6 Dokumentation |
| 05.06.2023 | | | | Merlin | | | | Dokumentation |
| 05.06.2023 | | | | Alessandro | | | | Dokumentation |
| 05.06.2023 | | | | Marco M. | | | | 5 Dokumentation |
| 05.06.2023 | | | | Simon | | | | Dokumentation |
| 06.06.2023 | | | | Simon | Training Bilderkennung | Trennen | | 3 Private Rechenleistung |

Abb. 99: Tabelle der Kostenkontrolle

Wie in der Abb. 100 ersichtlich, befindet sich das Team auch für den zweiten Teil des Moduls PREN innerhalb des budgetierten Bereichs.

Einige Bauteile, wie der Elektro-Impeller, konnten aus dem PREN 1 übernommen werden. Dies hat das Budget nachhaltig geschont. Zudem wurden viele Bauteile aus der PREN-Kiste von den Projekten vorheriger Semester für den Zusammenbau des DIRT eingesetzt.

Durch die gut eingerichteten privaten Werkstätten und Kontakte musste das Team die Arbeitsleistung, der von der HSLU zur Verfügung gestellten Maschinen, nicht in Anspruch nehmen.

| Kategorie | Budget | gebraucht |
|---------------------------------------|--------|-------------|
| Maschinenlaufzeit 3D Drucker | 25h | 0 |
| Maschinenlaufzeit des Lasergeräts | 1h | 0 |
| Werkstattpersonal Elektrotechnik | 10h | 0 |
| Werkstattpersonal Maschinentechnik | 10h | 0 |
| Private Lasergeräte | 2h | 1.1 |
| Private 3D Drucker | 250h | 238.5 |
| Recherche | 80h | 78 |
| Implementation IT & ET | 360h | 372 |
| Zusammenbau & Fertigung | 360h | 349 |
| Testing | 200h | 226 |
| Arbeitsaufwand Team | 1260h | 1197 |
| Einkäufe | 300 | 297.7633333 |

Abb. 100: Budgetübersicht

6.4.2 Zeiterfassung

Die in der Abb. 99 eingetragene Arbeitsleistung errechnet sich aus den Einträgen der Teammitglieder in dem Excel Dokument. Die Einträge beinhalten eine gewisse Unschärfe, da nicht minutiös eingetragen und somit eine Schätzung der geleisteten Arbeit jedes Teammitgliedes abgegeben wurde.

Zu den aufgeführten Kategorien kommt noch ein sehr grosser Punkt hinzu, die Arbeit an dieser Dokumentation, diese wurde Nebenläufig zu allen anderen Arbeiten erstellt und macht einen geschätzten Zeitaufwand von 40 % aller Arbeiten aus.

7 Nachhaltigkeit

Bis 2030 soll die Welt ökologischer und nachhaltiger werden. Um dieses Ziel zu erreichen, haben sich die UNO-Mitgliederstaaten zusammengetan und 17 Ziele mit insgesamt 169 Unterzielen erarbeitet. In der Abb. 101 sind diese 17 Ziele, die sogenannten «Sustainable Development Goals» zu sehen. Im PREN werden die zwei Ziele Nummer 12 «Responsible consumption and production» und Nummer 14 «Life below water» näher betrachtet. Diese Ziele müssen in diesem Projekt soweit möglich eingehalten werden.⁷



Abb. 101: Sustainable Development Goals

7.1 Ziel 12 - Responsible consumption and production

Gegenwärtig werden mehr Ressourcen gebraucht, als unsere Umwelt bereitstellen kann. Im Ziel 12 soll das geändert werden. Es geht vor allem um den Konsum und die Produktion von Gütern. Dabei wird gefordert, dass mit allen Abfällen und Chemikalien umweltverträglicher umgegangen werden soll. Weiter soll die Wiederverwertung von Abfällen gefördert werden und die Nahrungsverschwendungen vermindert. Als Nächstes sollen die Unternehmen ermutigt werden, nachhaltiger die Betriebe zu führen und bei öffentlichen Beschaffungen sollte der Fokus auf Nachhaltigkeit liegen. Es werden viele Produkte, welche zu Hause oder in der Schule schon vorhanden sind, genutzt.

Unter anderem Motoren oder Getriebe, welche von alten PREN-Projekten zur Verfügung gestellt werden. Weiter wird viel darauf geachtet, dass an Stelle online zu bestellen, vieles im 3D-Drucker produziert wird oder MDF-Platten direkt in der Schule gelasert werden. Wichtig ist auch, dass die meisten Produkte in der Region gekauft werden. Dies ist jedoch nicht immer so einfach. Die in der Region hergestellten Produkte sind mehrheitlich teurer, als wenn man sie in China bestellt. Trotzdem sollte man den einheimischen Markt unterstützen und daher stärken.

⁷ (eda.admin.ch, 2022)

7.2 Ziel 14 - Life below water

Der Plastikmüll in den Meeren nimmt jeden Tag zu, dabei wird die Artenvielfalt gefährdet. Durch zu grosse Nutzung der Ressourcen von den Meeren, sind die Ozeane nicht mehr im Gleichgewicht. Diese Probleme sollen mit dem Ziel 14 gelöst werden. Dabei soll die Meeresverschmutzung verringert werden, die Versauerung reduziert und mit einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Küsten die Meere geschützt werden. Weiter soll die Fangtätigkeit besser geregelt werden und gewisse Fischereisubventionen untersagen werden, um die Überfischung zu stoppen.⁸

Das Ziel von unserem Projekt ist, Müll am Strand einzusammeln. Sobald dies gelingt, gelangt auch weniger Müll in die Seen, Meere und Ozeane. Weiter sollen Materialien genutzt werden, welche biologisch abbaubar sind. Es gibt zum Beispiel 3D-Druck Filamente, welche abbaubar sind und somit weniger schädlich für die Umwelt sind. Wichtig ist aber vor allem, dass überhaupt kein Müll mehr in die Meere gelangt. Mit unserem DIRT kommt man diesem Ziel einen Schritt näher.

⁸ (eda.admin.ch, 2022)

7.3 Häufigste Materialien im DIRT

Eine Aufgabe in PREN2 ist es, auf die Nachhaltigkeit einzugehen. Um darzustellen, welche Materialien am meisten verwendet wurden, werden diese in Kilogramm und Massenprozent dargestellt. Dabei wird auf die drei grössten Material Positionen näher eingegangen. Es werden die Rezyklierbarkeit, Entsorgung und Abfallbehandlung beschrieben. Um die Masse der einzelnen Material-Positionen zu ermitteln, ist das CAD-Modell eine grosse Hilfe. Bei Materialien wie MDF kann so die Masse relativ genau ermittelt werden. Da das Material MDF nur in gelaserten Werkstücken vorkommt, besitzen wir CAD-Daten aller Positionen. Bei Materialpositionen, wie Stahl mussten auch Schätzungen angebracht werden. Grund dafür ist, dass sehr viele Schrauben verwendet wurden und auch in den Aktoren viel Stahl vorkommt. In der unten aufgeführten Tabelle sind das Gesamtgewicht und die grössten Material-Positionen in Kilogramm und Massenprozent ersichtlich.

| Masse DIRT | Masse [kg] | Massenprozent [%] |
|-------------------|-------------------|--------------------------|
| Gesamtgewicht | 14.56 | 100 |
| Aluminium | 5.12 | 35.2 |
| MDF | 2.31 | 15.8 |
| Stahl | 1.10 | 7.6 |
| PETG | 1.08 | 7.4 |
| Aktoren | 2.27 | 15.6 |
| Ablage-Behälter | 0.48 | 3.3 |
| Kabel | 0.60 | 4.1 |
| Sonstiges | 1.60 | 11.0 |

Tabelle 3: Masse DIRT

Die Gesamtmasse des DIRT liegt bei 14,56 kg. Die grössten Materialpositionen sind Aluminium, MDF und Stahl. Zu der Position sonstiges gehören die Elektronik, Schlauch, Schrauben und viele weitere kleine Dinge wie Kabelbinder etc.

7.3.1 Aluminium

Die grösste Materialposition ist klar Aluminium. Die Masseangabe von Aluminium setzt sich zusammen aus dem SCARA-Arm und dem Rahmen. Aus dem CAD-Modell lassen sich die Massen berechnen. Der SCARA-Arm besteht zu 3,42 kg aus Aluminium. Der Rahmen besteht zu 1,7 kg aus Aluminium. Somit sind im DIRT über 5 kg Aluminium verbaut. Dies entspricht über einem Drittel der Gesamtmasse.

Aluminium ist ein Metall und lässt sich daher gut recyceln. Besonders bei Aluminium macht der Recyclingprozess grossen Sinn. Aluminium wird mittels der Schmelzflusselektrolyse hergestellt. Dieses Verfahren verbraucht sehr viel Energie. Um eine Tonne Primäraluminium

herzustellen, sind durchschnittlich 15'700 kWh elektrische Energie erforderlich. Das Recycling benötigt nur etwa 5 % der Energie der Primärgewinnung.⁹

7.3.2 MDF

MDF steht für Mitteldichte Holzfaserplatte. Der Werkstoff MDF wurde im DIRT regelmäßig verwendet, da man schnell und einfach die Werkstücke herstellen kann. Fast jede Baugruppe im DIRT besitzt Werkstücke aus MDF. Baugruppen, wie der Vereinzelner, bestehen fast ausschliesslich aus MDF. Die Baugruppen wurden im CAD aufgebaut, anschliessend als DXF-Dateien exportiert und mittels Laserschneiden hergestellt. Aus diesen CAD-Daten wurde die Masse ermittelt. Im DIRT sind etwa 2,3 kg MDF verbaut.

MDF besteht aus verleimten Holzfasern. Der Leim dient als Bindemittel für die Holzfasern. Es war lange Zeit unmöglich, den Leim im industriellen durchführbaren Massstab zu filtern. Daher ist es schwierig MDF zu recyceln und wird meist bei der Entsorgung verbrannt. Die Firma UNILIN hat ein Verfahren entwickelt, um MDF zu recyceln und in ihren Produkten wiederzuverwenden. Es wird also in diesem Bereich geforscht, aber momentan landet das meiste MDF noch im Verbrennungsofen.¹⁰

7.3.3 Stahl

Das dritt meistverwendete Material ist der Werkstoff Stahl. Laut Tabelle streiten sich Stahl und PETG um den dritten Platz. (Beim PETG handelt es sich um die 3D-gedruckten Werkstücke.) Es versteckt sich aber noch sehr viel Stahl in den Aktoren. Besonders die Getriebemotoren bestehen aus einem sehr grossen Anteil aus Stahl. Der Masseanteil von Stahl in den Aktoren wird auf 50 % geschätzt und somit ca. 1,1 kg. Weiter wurde im SCARA-Arm 0,5 kg Stahl verbaut. Im DIRT lassen sich auch sehr viele Schraubverbindungen finden. Es befinden sich ca. 300 Schraubverbindungen. Eine Schraubverbindung wiegt im Durchschnitt etwa 2 g. Es wurden ausser 600 g Schrauben verbaut. Leider konnte die genaue Masseangabe nur geschätzt werden, es befinden sich aber ca. 2,2 kg Stahl im DIRT und somit etwa 15 % der Gesamtmasse.

Stahl ist wie Aluminium ein Metall und lässt sich daher gut recyceln. Roheisen wird aus Eisen-erz mithilfe von Koks im Hochofen hergestellt. Der hohe Kohlenstoffgehalt des Roheisens wird mit Sauerstoff gesenkt und so der Stahl hergestellt. Dieser Herstellungsprozess stossst sehr viel CO₂ aus. Mit dem Einsatz einer Tonne Stahlschrott können je nach Stahlsorte 1.67-4.3 Tonnen CO₂ gespart werden.¹¹

⁹ (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2020) (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2020)

¹⁰ (UNILIN, 2021)

¹¹ (Frauenhofer IMWS, 2019)

7.4 Umwelt schädlichste Materialien im DIRT

Eine weitere Aufgabe in PREN2 ist es, auf mindestens drei nachhaltig kritische Materialien einzugehen. Es können sehr verschiedene Kriterien festgelegt werden, warum ein Material nicht nachhaltig ist. Die Gründe, weshalb sich das Team für die jeweiligen Materialien entschieden haben, werden bei den Materialien direkt erläutert.

7.4.1 Tantal

Tantal wird häufig in der Elektronik-Kommunikationsindustrie eingesetzt. Man findet Tantal häufig in Kondensatoren. Im DIRT findet man nur kleine Mengen an Tantal, das Metall kann jedoch als nachhaltig kritisch betrachtet werden.

Tantal ist ein Metall und somit recyclebar. Es tragen auch ca. 25–30 % der Versorgung aus dem Recycling bei. Es stammen jedoch 72 % des recycelten Tantals aus dem betriebsinternen Recycling von Prozessrückständen. Besonders in Elektronikprodukten ist das Recycling am Ende des Produktlebenszyklus sehr gering. Dort beträgt die recyceln Quote weniger als 1 %. Ein weiterer kritischer Punkt bezüglich Nachhaltigkeit ist die Radioaktivität. Tantal-Konzentrate sind durch Uran- und Thorium-Gehalte natürlich radioaktiv. Die Verschiffung und Weiterverarbeitung sind somit problematisch.¹²

7.4.2 Permanentmagnete

Im DIRT sind viele Aktoren verbaut, somit auch Elektromotoren. Elektromotoren benötigen in der Regel Dauermagnete. Für die Herstellung solcher Magnete sind seltene Erden notwendig. Dazu gehören Neodym oder auch Dysprosium. Da Vorkommen für seltene Erden begrenzt sind, sind diese aus ökologischer Sicht kritisch. Aber auch aus versorgungstechnischer Sicht, denn in Zukunft werden immer mehr solche Permanentmagnete benötigt.¹³

7.4.3 Aluminium

Aluminium ist ein Leichtmetall und eignet sich deshalb hervorragend für den Einsatz im DIRT: Aluminium lässt sich auch gut recyceln, rund 30–40 % der Gesamtverwendung besteht aus recyceltem Aluminium. Da die primäre Aluminiumherstellung sehr viel Energie benötigt, wurde das Material als nachhaltig kritisch gewählt. Das Recycling benötigt nur etwa 5 % der Energie der Primärproduktion. Der Grund, wieso die Primärproduktion so viel Energie benötigt, ist hauptsächlich die Schmelzflusselektrolyse. Dabei wird Aluminiumoxid mit Kohlenstoff zu reinem Aluminium und Kohlenstoffdioxid reduziert. Man spricht hier von einer Redoxreaktion. Zum einen wird durch diese Reaktion sehr viel CO₂ produziert, aber auch durch den Stromverbrauch wird die Umwelt belastet. Die Produktion von Primäraluminium stößt somit ca. 13.5 t CO₂-Äquivalente pro Tonne Primäraluminium frei.¹⁴

¹² (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021)

¹³ (UmweltCluster Bayern, o.J.)

¹⁴ (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2020) (Quarks, o.J.)

7.5 CO₂-Bilanz

Um eine Aussage über Umweltwirkungen und Energiebilanz zu machen, wird eine Lebenszyklusanalyse durchgeführt. Zu der Lebenszyklusanalyse (auch bekannt als Umweltbilanz oder Ökobilanz) gehört die Analyse des gesamten Lebensweges. Dabei wird die Produktion, die Nutzungsphase und die Entsorgung analysiert. Dazu gehört auch die Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe. Im folgenden Abschnitt wird diese Analyse durchgeführt.

7.5.1 Produktion

In einem ersten Schritt wird die Produktion analysiert. Die Herstellung des DIRTs kann grob in den 3D Druck, Laserschneiden und mechanische Fertigung unterteilt werden. Auch zur Produktion gehören die Rohrmaterialien.

In der folgenden Tabelle sind alle 3D-Drucke aufgeführt. Um den Energiebedarf der gedruckten Teile zu ermitteln, wurde in der Tabelle die Stückzahlen und Zeit pro Stück aufgeführt. So kann die gesamte Druckzeit errechnet werden. Da es sich beim 3D-Druck um ein konstantes Fertigungsverfahren handelt, wurde mittels eines repräsentativen Druckes die durchschnittliche Leistung errechnet. Bei einem 3D-Druck, der 7 h 49 Min. dauerte, wurde ein Energieverbrauch von 600 Wh gemessen. Rechnet man dies in SI-Einheiten um erhält man 2.16×10^6 Ws und 28'140 s. Dividiert man diese Werte, erhält man die durchschnittliche Leistung. Somit ist klar, dass die 3D-Drucke 76.76 W an Leistung benötigen. Verrechnet man die aufgenommene Leistung mit dem Strommix der Schweiz, erhält man die Menge des produzierten CO₂ für die 3D-Drucke.

In der Tabelle 4 auf der nächsten Seite sind alle Zeiten des 3D-Drucks im PREN2 aufgeführt. Die Zeiten wurden jeweils auf die nächste halbe Stunde aufgerundet, somit handelt es sich um die folgenden Daten um eine Überschätzung des wahren Wertes. Mit den Stunden, welche der 3D Drucker lief und der errechneten Leistung kann so der Stromverbrauch berechnet werden. 76.76 W multipliziert mit 248 Stunden ergeben 19 kWh. Mithilfe des Strommix der Schweiz, welcher 128 g CO₂/kWh beträgt, kann das produzierte CO₂ berechnet werden¹⁵. 128 g CO₂/kWh multipliziert mit 19 kWh ergeben 2,43 kg CO₂.

Zusätzlich wird in einer weiteren Spalte die Menge an gedrucktem Filament aufgelistet. Total ergibt dies bei TPU 0,23 kg und bei rPET 1,76 kg. Mit den gewählten Druckeinstellungen kann man von etwa 8 g/h ausgehen, was natürlich einem höheren totalen Gewicht entspricht, als das CAD vorgibt (1,1 kg). Dies hat jedoch damit zu tun, dass es für viele 3D-Drucke Stützmaterial benötigt, damit der Druck überhaupt realisiert werden kann. Somit sind 0,66 kg Filament für Stützmaterial verbraucht worden, welche anschliessend entsorgt wurden.

¹⁵ (bafu.admin.ch, 2023)

| 3D-Druck | Stückzahl | Zeit pro Stück | Zeit total | Menge Filament |
|---------------------------------------|------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| <i>TPU: (nicht nachhaltig)</i> | | | | |
| Band für Förderband klein | 1 | 7 h | 7 h | 56 g |
| Band für Förderband mittel | 1 | 9.5 h | 9.5 h | 76 g |
| Band für Förderband gross | 1 | 12 h | 12 h | 96 g |
| <i>rPET: (nachhaltig)</i> | | | | |
| Benchy (Testdruck) | 3 | 1.5 h | 4.5 h | 36 g |
| Schlauch-Anschlussteil Staubsauger | 1 | 62 h | 62 h | 496 g |
| Impeller-Anschlussteil Staubsauger | 1 | 56 h | 56 h | 448 g |
| Schlauch-Anschlussteil Kehrmaschine | 1 | 18 h | 18 h | 144 g |
| 4x Zahnräder Kehrmaschine | 1 | 2.5 h | 2.5 h | 20 g |
| Halterung TOF-Sensor der Kehrmaschine | 1 | 1 h | 1 h | 8 g |
| Impeller-Anschlussteil Gebläse | 1 | 5.5 h | 5.5 h | 44 g |
| Schlauch-Anschlussteil Gebläse | 1 | 5.5 h | 5.5 h | 44 g |
| Rollen für Förderbänder | 6 | 3 h | 18 h | 144 g |
| Zahnräder SCARA-Arm | 3x2 | 1.5 h | 9 h | 72 g |
| Halterungen Servos SCARA-Arm | 3 | 3 h | 9 h | 72 g |
| Bauteile für die Waage | 1 | 4.5 h | 4.5 h | 36 g |
| Bauteile für die Lichtschranke | 2 | 4.5 h | 9 h | 72 g |
| Diverse Kleinteile | x | 5 h | 5 h | 40 g |
| Weitere Test- oder Fehldrucke | | 10 h | 10 h | 80 g |
| Total | | | 248 h | 1,98 kg |

Tabelle 4: 3D-Druckzeiten und Menge an gedrucktem Filament

Ähnlich wie beim 3D-Druck sind in der folgenden Tabelle 5 auf der nächsten Seite alle Laserschnitte aufgeführt. So kann wiederum die Gesamtzeit an Laserschneiden ermittelt werden. Gelasert wurde mit einer Leistung von 846 W, wie berechnet in Kapitel 3.1. Die aufgenommene Energiemenge verrechnet mit dem Schweizer Strommix ergibt das produzierte CO₂ durch das Laserschneiden. Der Strommix der Schweiz beträgt 128 g CO₂/kWh¹⁶. Multipliziert mit der Leistung von 846 W und der Betriebszeit der Lasermaschine von einer Stunde, ergibt dies 0,1 kg CO₂, welches durch das Laserschneiden produziert wurde.

¹⁶ (bafu.admin.ch, 2023)

| Laser Cutting mit MDF | Stückzahl | Zeit pro Stück | Zeit total |
|---|-----------|----------------|------------|
| Förderband 1 (Magnet) | 1 | 3 min | 3 min |
| Förderband 2 (Wischer) | 1 | 10 min | 10 min |
| Förderband 3 (Zigarettenstummel) | 1 | 7 min | 7 min |
| Lüfter Saugen | 1 | 2 min | 2 min |
| Vereinzelner | 1 | 6 min | 6 min |
| Zigarettenstummel-Anlage (Turbinenhalter) | 1 | 1 min | 1 min |
| Bürstengerät | 1 | 3 min | 3 min |
| Rahmen (Winkel, Grundplatte, Verbinder) | 1 | 22 min | 22 min |
| Test- oder Fehlschnitte | | 12 min | 12 min |
| Total | | 64 min | 64 min |

Tabelle 5: Zeiten Laser Cutting

Folgende Tabelle 6 zeigt der zeitliche Aufwand der mechanischen Fertigung. Hier kann leider nicht so genau gerechnet werden wie im 3D-Druck oder beim Laserschneiden. Um eine gute Schätzung hinzubekommen, wird die Leistungsaufnahme einer Bohrmaschine angenommen. Es wird von einer Leistung von 1000 W ausgegangen.¹⁷ Der Herstellung des Rahmens besteht sicherlich eine Überschätzung, da der Einsatz der Maschine nur kurzzeitig ist und ein Grossteil der Zeit das Zusammenschrauben war. Bei der mechanischen Fertigung des SCARA-Arms besteht sicherlich eine Unterschätzung. Jedoch laufen auch beim Fräsen und Drehen die Maschinen nicht immer.

Angaben der Arbeit und Leistung, kann so der Stromverbrauch berechnet werden. 19 Stunden mit 1000 W Leistung ergeben 19 kWh. Gemäss dem Bundesamt für Umwelt beträgt der Verbraucher Strommix 128 g CO₂/kWh.¹⁸ Verrechnet mit unseren 19 kWh ergibt das 2,43 kg CO₂.

| Mechanische Fertigung | Stückzahl | Zeit pro Stück | Zeit total |
|--------------------------|-----------|----------------|------------|
| <i>Rahmen:</i> | | | |
| Profil zuschneiden | 1 | 1 h | 1 h |
| Profil bohren | 1 | 3 h | 3 h |
| Profil zusammenschrauben | 1 | 2 h | 2 h |
| div. Modifikationen | 1 | 1 h | 1 h |
| | | | |

¹⁷ (bauen.de, 2014)¹⁸ (bafu.admin.ch, 2023)

| | | | |
|------------------------|--|------|------|
| SCARA-Arm: | | | |
| Fräsen, Drehen, Bohren | | 12 h | 12 h |
| Total | | | 19 h |

Tabelle 6: Zeiten mechanische Fertigung

In der Tabelle 7 sind die wichtigsten Rohmaterialien aufgeführt. Ebenso ist es, wie viel CO2 pro Kilogramm des jeweiligen Rohmaterials produziert wird. Multipliziert mit der Masse des jeweiligen Rohmaterials, erhält man die tatsächlich produzierte Menge an CO2. Dadurch ergeben sich 72,62 kg an CO2 nur für die Rohmaterialien.

| Rohmaterial | Gewicht [kg] | CO2 pro kg | CO2 |
|-------------------|--------------|------------------------|----------|
| TPU | 0,23 kg | 13.97 kg ¹⁹ | 3,21 kg |
| rPET | 1,76 kg | 3.84 kg ²⁰ | 6,76 kg |
| MDF | 2,31 kg | 0.35 kg ²¹ | 0,81 kg |
| Stahl | 1,10 kg | 2 kg ²² | 2,2 kg |
| <i>Aluminium:</i> | | | |
| SCARA-Arm | 3,42 kg | 13.5 kg ²³ | 46,17 kg |
| Rahmen | 1,7 kg | 13,5 kg | 22,95 kg |
| Total | | | 82,1 kg |

Tabelle 7: Verbrauch Rohmaterialien

Aus allen Produktionsschritten und verwendeten Rohmaterialien kann nun die gesamte Menge an produzierten CO2 berechnet werden. Aufsummiert aus dem 3D-Druck (2,43 kg CO2), Laserschneiden (0,1 kg CO2), mechanische Fertigung (2,43 kg CO2) und dem Rohmaterial (82,1 kg CO2) ergibt eine Menge an produzierten CO2 von 87,06 kg CO2. Betrachtet man die einzelnen Positionen genauer, ist ersichtlich das zu einem grossen Teil das Rohmaterial für das produzierte CO2 verantwortlich ist. Grund dafür ist der sehr hohe Energieverbrauch bei der Aluminiumherstellung.

¹⁹ (digitec.ch, o.J.)

²⁰ (digitec.ch, o.J.)

²¹ (nachhaltiges-bauen.de, 2023)

²² (Energieforschung, 2020)

²³ (Quarks, o.J.)

7.5.2 Nutzungsphase

Der DIRT ist nur ein Funktionsmuster und daher schwierig eine Aussage über die Nutzungsphase zu machen. Um ein Gefühl zu entwickeln, in welcher Relation die Nutzungsphase zur Herstellung stellt, wird diese trotzdem betrachtet.

Im Betrieb benötigt der DIRT, Strom als Energiequelle. In der Entwicklungsphase und am Wettkampf wird die Stromversorgung durch ein Netzteil und einen externen Akku sichergestellt. Später soll der DIRT als Prototyp auf einen mobilen Roboter oder Robo-Dog verbaut werden. Somit ist die Stromversorgung im Betrieb der Akku des mobilen Roboters oder Robo-Dogs. Der Stromverbrauch muss während des Wettkampfs auf der Webseite dargestellt werden. Somit ist klar, wie hoch die Leistungsaufnahme des DIRTs ist. Aus welcher Quelle der Strom stammt und wie viele Betriebsstunden der DIRT in seiner Lebensdauer aufweist, muss abgeschätzt werden. Geht man von einer Lebensdauer von 5-10 Jahren aus, je nachdem wie stark der DIRT eingesetzt wird. Und nimmt einen durchschnittlichen täglichen Einsatz von 2 Stunden an, erhält man ca. 3500–7000 Betriebsstunden in einer Lebensdauer. Für die Berechnungen verwenden wir einen Durchschnitt von 5000 Betriebsstunden.

Geht man von einer durchschnittlichen Leistung des DIRT von 1.5 kW aus und verrechnet man diese Leistung mit den 5000 Betriebsstunden und dem Schweizer Strommix, erhält man eine CO₂ Produktion von 960 kg CO₂²⁴. Diese Abschätzung zeigt, dass die Nutzungsphase gegenüber der Produktion um ein Mehrfaches verantwortlich ist für die CO₂ Produktion.

7.5.3 Entsorgung

Nach der Lebensdauer eines Gerätes ist aus der Sicht Lebenszyklusanalyse die Reise noch nicht vorbei. Das Gerät, in diesem Fall der DIRT, muss entsorgt werden. Wie viel CO₂ tatsächlich in diesem Lebensabschnitt produziert wird, ist schwierig zu ermitteln. Manche Materialien wie Aluminium, Stahl oder manche Kunststoffe können einwandfrei recycelt werden. Andere Materialien wie MDF werden heutzutage leider grösstenteils noch verbrannt. Schwieriger, eine genaue Aussage zu treffen, wird es beim Elektroschrot. Recycling rentiert zum Teil noch nicht. Grund dafür ist häufig, dass die Materialien in der Elektronik nur in geringen Mengen vorkommen und daher das Recycling noch nicht profitabel ist.

Der grösste Teil des DIRT kann recycelt werden. Materialien wie Aluminium, Stahl oder PETG können recycelt werden. Der Elektroschrott wird häufig nicht recycelt und landet auf Deponien. Es ist sehr schwierig zu sagen, wie viel CO₂ dies verursacht. Eine klare Aussage kann jedoch über das MDF getroffen werden. Heutzutage wird dies häufig noch verbrannt. Aus den 2,3 kg MDF im DIRT entstehen so bei der Entsorgung/Verbrennung 3,9 kg CO₂.

²⁴ (bafu.admin.ch, 2023)

8 Fazit

Der Start in das zweite Projektmodul erfolgte mit viel Elan für die Realisierung eines großartigen Konzeptes, welches durch die gute Benotung des ersten Projektmoduls bekräftigt wurde. Mit der Zeit gab es jedoch Höhen und Tiefen, wie es bei solchen Projekten üblich ist. Speziell als dem Team bewusst wurde, dass der SCARA-Arm nicht funktioniert, da die gewählten Schrittmotoren aus der PREN-Kiste viel zu schwach waren, war die Stimmung an einem Tiefpunkt. Dies erholte sich jedoch rasch, als die Schrittmotoren durch Servos ausgetauscht wurden. Ab dann war die Motivation wieder vollumfänglich vorhanden. Die restlichen Zusammenbauarten gingen zumeist ohne Probleme vonstatten. Zum Teil gab es jedoch Aufgaben, die man wiederholen musste, da die erste Ausführung den Erwartungen an das Gerät nicht gerecht wurde.

Das Gewicht war ein weiteres Problem, welches dem Team Schwierigkeiten bereitet hat. In der Semesterwoche 13 war das Gewicht des DIRT etwa 15,8 kg. Deswegen wurde das unterste Förderband mit dem Gebläse entfernt. Dies wäre für das Sortieren der Zigarettenstummel zuständig, was nun durch den einen Kicker auf dem Hauptförderband übernommen wird. Dementsprechend werden jetzt die Wertgegenstände nicht mehr sortiert und zusammen mit den Steinen in eine eigene Ablagebox untergebracht. Durch diese einschneidenden Massnahmen konnte das Gewicht jedoch auf unter 15 kg gebracht werden.

Das Erstellen der Dokumentation ist im Gegensatz zu PREN 1 etwas in den Hintergrund gerückt, da man praktisch immer wichtigere Pendenzen hatte. Daher wurde die Dokumentation zumeist gegen Ende des Semesters geschrieben. Eine Ausnahme sind dabei die Baugruppen, welche bereits nach dem Erstellen dessen dokumentiert wurde.

Das Projektmodul hat jedem Teammitglied viele neue Erfahrungen gebracht. Sei das einerseits der Umgang im Team mit unterschiedlichen Departements oder andererseits die vielen neuen Dinge, die durch das Team realisiert wurden. Das Ausführen eines selbst erstellten Konzeptes sorgte dafür, dass man in kommenden Projekten die Probleme anders angeht und auf neu gesammeltes Wissen zurückgreifen kann. Zudem konnte man aus vielen Fehlern lernen, welche in kommenden Projekten vermieden werden können.

Im weiteren Verlauf dieses Projektes steht nur noch der Wettbewerb vor der Türe. Dabei treten alle Teams des Projektmoduls gegeneinander an, um am meisten Punkte bzw. Abfallgegenstände aufzammlen und richtig Ablegen zu können.

9 Verzeichnisse

Folgend sind die verschiedenen Verzeichnisse, wie Literatur- und Quellenverzeichnis, Abbildungsverzeichnis, Tabellenverzeichnis und Abkürzungsverzeichnis aufgeführt.

9.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

- 1-2-do.com. (2022). Von <https://www.1-2-do.com/projekt/kompost-trommelsieb-mit-separation/bauanleitung-zum-selber-bauen/11891> abgerufen
- 3djake.com. (2023). *ReForm rPET Light Blue*. Von <https://www.3djake.com/formfutura/reform-rpet-light-blue> abgerufen
- 3dtwix.com. (2023). Von <https://3dtwix.com/product/industrial-water-chiller-cw-3000-9-liter/> abgerufen
- adafruit.com. (2022). Von <https://www.adafruit.com/product/3802> abgerufen
- amazon.com. (2023). Von <https://www.amazon.com/Upgrading-Laser-10000-Hours-Supply/dp/B01DP2HLJ2>. abgerufen
- analog.com. (12 2020). Von <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/uart-a-hardware-communication-protocol.html#:~:text=By%20definition%2C%20UART%20is%20a,going%20to%20then%20receiving%20end>. abgerufen
- arduino.cc. (2022). Von <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/external-interrupts/attachinterrupt/> abgerufen
- bafu.admin.ch. (2023). Von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fragen-antworten.html#:~:text=Die%20Kennzahlen%20f%C3%BCr%20die%20verschiedenen,Strommix%3A%2015.7%20g%20CO2eq%2FkWh> abgerufen
- bauen.de. (18. 3 2014). Von <https://www.bauen.de/a/bohrmaschine-und-bohrhammer-was-sie-koennen-und-worauf-man-beim-kauf-achten-sollte.html#:~:text=Leistung%20und%20Drehzahl%20bei%20Bohrmaschinen,mit%20h%C3%A4rer%20Materialien%20besser%20zurecht>. abgerufen
- baumer.com. (2022). Von https://www.baumer.com/de/de/service-support/funktionsweise/funktionsweise-und-technologie-von-hallsensoren/a/Know-how_Function_Hallsensors abgerufen
- baumer.com. (2022). Von https://www.baumer.com/ch/de/service-support/funktionsweise/funktionsweise-und-technologie-von-lichtschrangen-und-lichttastern/a/Know-how_Function_Lichtschrangen-Lichttaster abgerufen
- baumer.com. (2022). Von https://www.baumer.com/ch/de/service-support/funktionsweise/funktionsweise-und-technologie-von-lichtschrangen-und-lichttastern/a/Know-how_Function_Lichtschrangen-Lichttaster abgerufen
- beach-tech.com. (2022). Von <https://www.beach-tech.com/> abgerufen

- beckhoff.com. (2022). Von <https://www.beckhoff.com/de-ch/unternehmen/#:~:text=Beckhoff%20realisiert%20offene%20Automatisierungssysteme%20auf,sowie%20Hardware%20zur%20industriellen%20Bildverarbeitung>. abgerufen
- berrybase.ch. (2022). Von <https://www.berrybase.ch/schiebepotentiometer-mono-1k-937-500mw-tht-20-linear> abgerufen
- berrybase.com. (2022). Von <https://www.berrybase.ch/drehpotentiometer-10k-937-stehend-mono-6mm-printmontage> abgerufen
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. (Juli 2020). Von https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/aluminium.pdf?__blob=publicationFile&v=2#:~:text=Um%20eine%20Tonne%20Pri%2D20m%C3%A4raluminium,15.700%20kWh%20elektrische%20Energie%20erforderlich. abgerufen
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. (März 2021). Von https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/tantal.pdf;jsessionid=EDF94E9BB9AB276D4269605B4353D2B3.internet961?__blob=publicationFile&v=2 abgerufen
- circuitbasics.com. (2022). Von <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/> abgerufen
- computerweekly.com. (2022). Von <https://www.computerweekly.com/de/definition/Bluetooth> abgerufen
- computerweekly.com. (2022). Von <https://www.computerweekly.com/de/definition/Microsoft-Windows-Server> abgerufen
- conrad.ch. (2022). Von <https://www.conrad.ch/de/p/modelcraft-rb350030-0a101r-getriebemotor-12-v-1-30-227544.html> abgerufen
- csselectronics.com. (2022). Von <https://www.csselectronics.com/pages/can-bus-simple-intro-tutorial> abgerufen
- dataunit.ch. (02. 08 2022). Von <https://www.dataunit.ch/was-ist-eine-grafische-benutzeroberflache/> abgerufen
- digikey.ch. (25. 02 2020). Von <https://www.digikey.ch/de/articles/use-the-openmv-camera-to-apply-machine-learning-object-detection> abgerufen
- digitec.ch. (o.J.). Von <https://www.digitec.ch/en/s1/product/purefil-filament-tpu-175-mm-1000-g-black-3d-printer-filament-11443540> abgerufen
- digitec.ch. (o.J.). Von <https://www.digitec.ch/en/s1/product/bASF-bASFU-23514-rPET-filament-natural-blue-175-mm-750-g-PLA-175-mm-750-g-blue-3D-printer-filament-22649198> abgerufen
- docs.roboflow.com. (2022). Von <https://docs.roboflow.com/> abgerufen
- eda.admin.ch. (2022). Von <https://www.eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung/ziel-12-fuer-nachhaltige-konsum-und-produktionsmuster-sorgen.html> abgerufen

eda.admin.ch. (2022). Von <https://www.eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung/ziel-14-ozeane-meere-und-meeresressourcen-im-sinne-nachhaltige.html> abgerufen

eda.admin.ch. (2022). Von <https://www.eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html> abgerufen

elektro.turanis.de. (2022). Von
<https://elektro.turanis.de/html/prj121/index.html#:~:text=mit%20Ultraschall%20erledigen.,Funktionsweise,Entfernung%20zum%20Objekt%20berechnet%20werden>.
abgerufen

elektro.turanis.de. (2022). Von
<https://elektro.turanis.de/html/prj179/index.html#:~:text=Die%20Zeit%20zwischen%20dem%20Aussenden,Datenblatt%20zwischen%2030mm%20und%202000mm>.
abgerufen

elektronik-kompendium.de. (2022). Von <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0610051.htm> abgerufen

Energieforschung. (2020). Von <https://energieforschung.at/projekt/neostahl-neue-energieoptimierungsverfahren-und-modelle-in-der-prozessautomation-zur-co2-reduktion-in-der-stahlindustrie/#:~:text=Bei%20europ%C3%A4ischen%20Stahlherstellern%20fallen%20fast,Tonnen%20Stahl%20erzeugt>. abgerufen

exp-tech.de. (26. 09 2018). Von <https://www.exp-tech.de/blog/wiki-lipo-akkus> abgerufen

festo.com. (2022). Von https://www.festo.com/net/en-us_us/SupportPortal/Files/42086/FinRay_en.pdf abgerufen

fluke.com. (2022). Von <https://www.fluke.com/de-de/mehr-erfahren/blog/thermografie/wie-funktionieren-waermebildkameras#:~:text=Alle%20Gegenst%C3%A4nde%20strahlen%20Infrarote-Energie%20ab,des%20zu%20messenden%20Gegenstands%20darstellt>. abgerufen

Foundation, R. P. (06. 01 2023). Von <https://www.raspberrypi.com/products/camera-module-v2/> abgerufen

Frauenhofer IMWS. (14. November 2019). Von
<https://www.imws.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/stahl-schrott-kreislaufwirtschaft-co2.html> abgerufen

funduino.de. (2022). Von <https://funduino.de/arduino-infrarot-abstandssensor> abgerufen

gruenig.de. (2022). Von <https://www.gruenig.de/de/produkte/radlader-kehrmaschinen/>
abgerufen

hobbydirekt.de. (2022). Von <https://www.hobbydirekt.de/sonstiges/sonstiges/RTR-Impeller-DF69-mit-Himax-A-2825-3600-Multiplex-332570::111345.html> abgerufen

husqvarna.com. (2022). Von <https://www.husqvarna.com/ch-de/schneefraesen/> abgerufen

- IBM. (12. 6 2022). *SQL vs. NoSQL Databases: What's the Difference?* Von SQL vs. NoSQL Databases: What's the Difference?: <https://www.ibm.com/cloud/blog/sql-vs-nosql> abgerufen
- idrobenne.com. (2022). Von <https://www.idrobenne.com/de/mehrschalengreifer> abgerufen
- informationszentrum-mobilfunk.de. (2022). Von <https://www.informationszentrum-mobilfunk.de/technik/funktionsweise/gsm> abgerufen
- ionos.de. (07. 07 2022). Von <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/arduino-vs-raspberry-pi/> abgerufen
- it-business.de. (15. 01 2022). Von <https://www.it-business.de/was-ist-daisy-chain-a-1103031/> abgerufen
- itwissen.info. (2022). Von <https://www.itwissen.info/Kristallmikrofon-piezoelectric-microphone.html> abgerufen
- joy-it.net. (2022). Von <https://joy-it.net/en/products/NEMA17-03> abgerufen
- learn.sparkfun.com. (2022). Von <https://learn.sparkfun.com/tutorials/qwiic-scale-hookup-guide> abgerufen
- learn.sparkfun.com. (2022). Von <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics/all> abgerufen
- leifiphysik.de. (2022). Von <https://www.leifiphysik.de/optik/lichtreflexion/grundwissen/reflexionsgesetz> abgerufen
- linemetrics.com. (2022). Von <https://www.linemetrics.com/de/lora-und-lorawan-einfach-erklaert/> abgerufen
- logistikknowhow.com. (2022). Von <https://logistikknowhow.com/materialfluss-und-transport/foerderschnecke/> abgerufen
- lowellma.gov. (2022). Von <https://www.lowellma.gov/1467/Plastics> abgerufen
- mc.mikrocontroller.com. (2022). Von <https://mc.mikrocontroller.com/de/IR-Protokolle.php> abgerufen
- mcuoneclipse.com. (11 2020). Von <https://mcuoneclipse.com/2020/11/01/tinyk22-board-rev-1-3-released/> abgerufen
- nachhaltiges-bauen.de. (2023). Von <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/MDF-Platten> abgerufen
- Network, M. D. (9. September 2022). *Server Sent Events*. Von Server Sent Events: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Server-sent_events abgerufen
- ntgorilla. (01. 11 2019). *Centrifugal blower fan*. Von Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:3949401> abgerufen
- PET Recycling Team. (21. 4 2017). Von <https://petrecyclingteam.com/de/hervorragende-co2-bilanz#:~:text=Das%20Ergebnis%20der%20Studie%20%C3%BCbertrifft,%C3%84quivalent%20pro%20Kilogramm%20zu%20Buche.> abgerufen
- Polypropylen, A. (2022). Von <https://www.krv.de/wissen/allgemeines-6> abgerufen

- PR_SY_HS22, Z. (2022). *Zugmittelgetriebe*. C.Haack.
- pulspower.com. (2022). Von <https://www.pulspower.com/ch/produkte/product-landingpages/24v-20a-din-rail-power-supplies/> abgerufen
- PyTorch. (16. Dezember 2022). *PyTorch*. Von PyTorch: <https://pytorch.org/> abgerufen
- Quarks. (o.J.). Von <https://www.quarks.de/umwelt/muell/darum-ist-aluminium-nicht-gut-fuer-die-umwelt/#:~:text=Beim%20Recycling%20von%20jeder%20Tonne,%C3%84quivalente%20pro%20Tonne%20Prim%C3%A4raluminium%20freigesetzt.> abgerufen
- rackspace.com. (2022). Von <https://www.rackspace.com/library/what-is-a-linux-server#:~:text=A%20Linux%20server%20is%20a,community%20of%20resources%20and%20advocates.> abgerufen
- rahner-edu.de. (2022). Von <https://www.rahner-edu.de/grundlagen/signale-richtig-verstehen/ir-fernbedienung/> abgerufen
- raspberrypi.com. (2022). Von <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/> abgerufen
- rohm.de. (2022). Von <https://www.rohm.de/electronics-basics/sensor/color-sensor> abgerufen
- sartech.com. (2022). Von <https://www.startech.com/de-ch/computerteile/atx2pw530pro> abgerufen
- stokmanbv.com. (2022). Von <https://www.stokmanbv.com/de/was-ist-eine-foerderbandrolle/#:~:text=F%C3%B6rderbandrollen%20sind%20Teil%20eines%20Bandf%C3%B6rderers,die%20Trommeln%20und%20Rollen%20herum.> abgerufen
- techttarget.com. (2022). Von <https://www.techttarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT> abgerufen
- tor7.de. (2022). Von <https://www.tor7.de/funktechnik-grundlagen> abgerufen
- truckers.at. (10. 08 2018). *Probleme mit feuchtem Filament?!* Von <https://www.truckers.at/blog/3d-druck/tipps/fdm-probleme-mit-feuchtem-filament> abgerufen
- turbines-rc.com. (2022). Von <https://www.turbines-rc.com/en/freewing/1650-edf-ducted-fan-freewing-90mm-6s-motor-1450kv.html> abgerufen
- Ultralytics. (16. Dezember 2022). *yolov5*. Von [yolov5: https://github.com/ultralytics/yolov5](https://github.com/ultralytics/yolov5) abgerufen
- UmweltCluster Bayern. (o.J.). Von <https://www.umweltcluster.net/de/1%C3%B6sungen/ressourceneffizienz,-stoffstrommanagement/694-mehr-nachhaltigkeit-f%C3%BCr-magnetanwendungen-in-der-zukunft.html> abgerufen
- UNILIN. (18. Oktober 2021). Von <https://www.unilinpanels.com/de-de/blog/mdf-hdf-recycling> abgerufen
- Vue. (16. Dezember 2022). *Vue.js Introduction*. Von [Vue.js Introduction: https://vuejs.org/guide/introduction.html](https://vuejs.org/guide/introduction.html) abgerufen

Vuetify. (16. Dezember 2022). *Vuetify Introduction*. Von Vuetify Introduction:

<https://vuetifyjs.com/en/introduction/why-vuetify/> abgerufen

wokwi.com. (2023). Von <https://wokwi.com/> abgerufen

xilinx.com. (2022). Von <https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/fpga/what-is-an-fpga.html> abgerufen

youtube.com. (2022). Von

<https://www.youtube.com/watch?v=yiD5nCfmbV0&feature=youtu.be> abgerufen

9.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: BeachTech Marina | 9 |
| Abb. 2: BeachTech Sweepy Hydro | 9 |
| Abb. 3: BeachTech 2500 | 9 |
| Abb. 4: Detailskizze Aufgabenstellung..... | 10 |
| Abb. 5: Ökobilanz-Anzeige..... | 11 |
| Abb. 6: Laser-Cutter in Aktion | 12 |
| Abb. 7: Gelaserte Bauteile für Förderband und Technikplatte | 12 |
| Abb. 8: Zweiter Druck des Benchy | 13 |
| Abb. 9: Erster Druck des Benchy | 13 |
| Abb. 10: Dritter Druck des Benchy..... | 14 |
| Abb. 11: Testdruck Schlauchaufsatz der Kehrmaschine..... | 14 |
| Abb. 12: Absaug-Vorrichtung der Kehrmaschine..... | 14 |
| Abb. 13: Schlauchaufsatz Staubsauger | 15 |
| Abb. 14: Alte Rollen der Förderbänder..... | 15 |
| Abb. 15: Neue Rollen der Förderbänder | 15 |
| Abb. 16: Zahnräder für Zahnriemen Kehrmaschine | 16 |
| Abb. 17: 3D-Druckteile Waage..... | 16 |
| Abb. 18: Aufsatz Abfallbox für Lichtschanke | 16 |
| Abb. 19: Halterung Laserdiode | 16 |
| Abb. 20: Servo-Halterung SCARA-Arm | 17 |
| Abb. 21: Zahnräder SCARA-Arm | 17 |
| Abb. 22: Diverse Abstandhalter | 17 |
| Abb. 23: Förderband PREN1 | 18 |
| Abb. 24: Erste Version des Bandes mit neuem Filament..... | 18 |
| Abb. 25: Zweite und finale Version des Bandes | 18 |
| Abb. 26: Schieben des SCARA-Armes..... | 19 |
| Abb. 27: Sagen der Scheiben für den SCARA-Arm | 19 |
| Abb. 28: Bauteile des SCARA-Armes | 19 |
| Abb. 29: ALU-Profile für den Rahmen..... | 19 |
| Abb. 30: Erster Zusammenbau -> Spannung zu hoch..... | 20 |
| Abb. 31: Zweiter Zusammenbau -> Verstärkte Konstruktion..... | 20 |
| Abb. 32: SCARA-Arm eingefahren | 21 |
| Abb. 33: SCARA-Arm ausgefahren..... | 21 |
| Abb. 34: neue Servo-Motoren | 21 |
| Abb. 35: neue Führungen SCARA-Arm | 22 |

| | |
|---|----|
| Abb. 36: Skipass Halter..... | 23 |
| Abb. 37: Staubsauger | 23 |
| Abb. 38: Erste Variante des Förderbands..... | 24 |
| Abb. 39: Förderband zur Bilderkennung schwarz gesprayt | 24 |
| Abb. 40: Förderband mit Magnet für die Kronkorken | 24 |
| Abb. 41: Hauptförderband mit Kicker | 25 |
| Abb. 42: Förderband mit Gebläse | 25 |
| Abb. 43: Vibrationserzeuger | 25 |
| Abb. 44: Vereinzelter eingebaut..... | 25 |
| Abb. 45: Laserdiode leuchtet daneben | 26 |
| Abb. 46: Laserdiode leuchtet auf Sensor | 26 |
| Abb. 47: Zick-Zack Spiegelung des Laserstrahls..... | 26 |
| Abb. 48: Finale Variante der Laser-Lichtschanke | 27 |
| Abb. 49: Erste Variante des Zählaufsatzes ohne Abfallbox..... | 27 |
| Abb. 50: Laser-Lichtschanke für Zigarettenstummel | 27 |
| Abb. 51: CAD-Modell Waage | 28 |
| Abb. 52: Waage mit defekter Wägezelle..... | 28 |
| Abb. 53: Finale Waage mit neuer Wägezelle..... | 28 |
| Abb. 54: Finale Waage mit Abfallbox | 28 |
| Abb. 55: Sortier-Kicker über dem Förderband | 29 |
| Abb. 56: Diffuse Beleuchtung für die Bilderkennung | 29 |
| Abb. 57: Kleiner Impeller für das Gebläse..... | 30 |
| Abb. 58: Rahmen in der Montagephase | 30 |
| Abb. 59: Team 007 bei der Arbeit am DIRT | 31 |
| Abb. 60: Ansicht DIRT - vorne..... | 32 |
| Abb. 61: Ansicht DIRT - hinten..... | 32 |
| Abb. 62: Ansicht DIRT - linke Seite..... | 32 |
| Abb. 63: Ansicht DIRT - rechte Seite | 32 |
| Abb. 64: Schalterbox DIRT-Controller..... | 33 |
| Abb. 65: Rendering des CAD-Modells | 34 |
| Abb. 66: Teilschnitt der Sortieranlage | 34 |
| Abb. 67: Funktionsdiagramm Elektrotechnik | 36 |
| Abb. 68: Pinbelegung Arduino MEGA..... | 37 |
| Abb. 69: Inkludierte Bibliotheken..... | 37 |
| Abb. 70: Eigene Bibliotheken | 38 |
| Abb. 71: Bibliothek «pins.h» mit Makros | 38 |

| | |
|--|----|
| Abb. 72: State machine als switch-case-Schleife | 38 |
| Abb. 73: Simulation mittels Wokwi..... | 39 |
| Abb. 74: Neue Servos für den SCARA-Arm | 40 |
| Abb. 75: Simulation Schaltung im normal Betrieb | 41 |
| Abb. 76: Simulation Schaltung bei Blockierung der Motoren..... | 41 |
| Abb. 77: Finale DC-Strommessung | 41 |
| Abb. 78: Computer-Netzteil | 42 |
| Abb. 79: Stromkostenzähler..... | 42 |
| Abb. 80: Wandler Messung..... | 42 |
| Abb. 81: Diagramm Energieverbrauch | 43 |
| Abb. 82: Developer Modus | 43 |
| Abb. 83: API-Aufbau | 44 |
| Abb. 84: API-Schnittstelle | 45 |
| Abb. 85: Datenbankschema..... | 46 |
| Abb. 86: Datenbankschema - ASP.NET Identity Tabellen..... | 46 |
| Abb. 87: Serverauslastung während dem Test | 47 |
| Abb. 88: Bilderkennung vor Anpassungen | 47 |
| Abb. 89: Bilderkennung nach Anpassungen | 47 |
| Abb. 90: DIRT auf der Wage | 49 |
| Abb. 91: Nicht verwendete Klemmen | 49 |
| Abb. 92: DIRT ohne Förderband und Impeller | 49 |
| Abb. 93: Gewichtersparnis | 49 |
| Abb. 94: Projektplanung PREN 2 | 51 |
| Abb. 95: Organigramm | 52 |
| Abb. 96: Rollenverteilung | 53 |
| Abb. 97: Eigenes Mini-Labornetzteil | 57 |
| Abb. 98: Risikoanalyse | 58 |
| Abb. 99: Tabelle der Kostenkontrolle | 61 |
| Abb. 100: Budgetübersicht..... | 62 |
| Abb. 101: Sustainable Development Goals..... | 63 |

9.3 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Unterschied der Druck-Eigenschaften der drei gedruckten Benchy's..... | 14 |
| Tabelle 2: Technische Daten Graupener Servo DS 8911 | 40 |
| Tabelle 3: Masse DIRT | 65 |
| Tabelle 4: 3D-Druckzeiten und Menge an gedrucktem Filament | 69 |
| Tabelle 5: Zeiten Laser Cutting..... | 70 |
| Tabelle 6: Zeiten mechanische Fertigung | 71 |
| Tabelle 7: Verbrauch Rohmaterialien | 71 |

9.4 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|---|
| AC | <i>Alternating Current</i> |
| API | <i>Application Programming Interface</i> |
| BLDC | <i>Brushless DC electric motor</i> |
| CAD | <i>Computer-Aided Design</i> |
| CAN | <i>Controller Area Network</i> |
| CNC | <i>Computerized Numerical Control</i> |
| CSI | <i>Camera Serial Interface</i> |
| DC | <i>Direct Current</i> |
| DNS | <i>Domain Name System</i> |
| DSI | <i>Display Serial Interface</i> |
| ESC | <i>Electronic Speed Controller</i> |
| ET | <i>Elektrotechnik</i> |
| FPGA | <i>Field Programmable Gate Array</i> |
| GND | <i>Ground</i> |
| GPIO | <i>General Purpose Input/Output</i> |
| GSM | <i>Global System for Mobile Communication</i> |
| HDL | <i>Hardware Description Language</i> |
| I2C | <i>Inter-Integrated Circuit</i> |
| IC | <i>Integrated Circuit</i> |
| IIS | <i>Internet Information Services</i> |
| IoT | <i>Internet of Things</i> |
| IR | <i>Infrarot</i> |
| KI | <i>Künstliche Intelligenz</i> |
| LAN | <i>Local Area Network</i> |
| LiPo | <i>Lithium-Polymer-Akkumulator</i> |

| | |
|---------|--|
| LoRaWAN | <i>Long Range Wide Area Network</i> |
| MDF | <i>Medium Density Fiberboard</i> |
| PC | <i>Personal Computer</i> |
| PET | <i>Polyethylenterephthalat</i> |
| PLA | <i>Polylactic Acid</i> |
| PP | <i>Polypropylen</i> |
| PREN | <i>Produktentwicklung</i> |
| RAM | <i>Random Access Memory</i> |
| RC | <i>Radio Controlled</i> |
| rPET | <i>recyceltes Polyethylenterephthalat</i> |
| RS-232 | <i>Recommended Standard 232</i> |
| SCARA | <i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i> |
| SPS | <i>Speicherprogrammierbare Steuerung</i> |
| SQL | <i>Structured Query Language</i> |
| SSL | <i>Secure Sockets Layer</i> |
| TOF | <i>Time Of Flight</i> |
| TPU | <i>Thermoplastic polyurethane</i> |
| URL | <i>Uniform Resource Locator</i> |
| USB | <i>Universal Serial Bus</i> |
| WLAN | <i>Wireless Local Area Network</i> |

10 Anhang

10.1 Aufgabenstellung



Informatik
Technik & Architektur

Projektmodul Produktentwicklung PREN 22 / 23

Aufgabenstellung PREN 2 - Frühjahrssemester 2023 VERSION 1.0

21. Februar 2023
Martin Vogel

Littering-Tool Aufsatz für einen Robo-Dog

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|---|
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 2. Aufgabe..... | 2 |
| 3. Randbedingungen | 2 |
| 4. Kompetenznachweis | 2 |
| 4.1. Abschlusspräsentation und Wettbewerb | 2 |
| 4.2. Wettbewerbskriterien..... | 3 |
| 5. Zulassung zum Kompetenznachweis und Bewertung PREN 2..... | 3 |

Modulverantwortlicher: Carsten Haack

Fachliche Begleitung: Marco De Angelis
 Carsten Haack
 Rolf Kamps
 Pierre Kirchhofer
 Thomas Koller
 Hans Kurmann
 Rolf Mettler
 Adrian Omlin
 Peter Sollberger
 Markus Thalmann
 Martin Vogel

1. Einleitung

Im Projektmodul Produktenwicklung PREN 2 beweisen Sie die Tauglichkeit Ihres in PREN 1 ausgearbeiteten Konzepts, indem Sie das geplante Gerät realisieren und damit erfolgreich am Wettbewerb teilnehmen.

Die für PREN 1 formulierte Aufgabenstellung, sowie das Dokument «FAQ» gelten weiterhin.

2. Aufgabe

Sie bauen gemäss dem Konzept aus PREN 1 Ihre Lösung in der Form eines Roboter-Aufsatzes, welcher vollständig autonom, zuverlässig und schnell verschiedene Litter-Objekte aus einem Kiesbereich entfernt und korrekt ablegt. Genauere Angaben sind in der Aufgabenstellung von PREN 1 (HS2022) zu finden.

Wie im PREN 1 kommuniziert werden in PREN 2 zum Thema Nachhaltigkeit folgende Punkte gefordert:

1. Betrachtung hinsichtlich Ökobilanz: Auflistung des Gesamtgewichtes mit Aufteilung der 3 grössten Material-Positionen in kg und % sowie Beschreibung deren möglichen Rezyklierbarkeit, Entsorgung und / oder Abfallbehandlung.
2. Auflistung von mindestens 3 der nachhaltig-kritischsten Materialien, welche in dem Gerät («irgendwo») verbaut sind und Beschreibung je in einem Satz, weshalb diese nicht nachhaltig sind.
3. Darstellung des Energieverbrauchs auf der Webseite während eines Durchgangs.

Um die Tauglichkeit Ihres Prototyps zu testen, werden an der HSLU, wie in PREN 1 bereits realisiert, Versuchsfelder mit Kies etc. aufgebaut. Es ist zulässig und gewünscht auch an anderen ähnlichen Örtlichkeiten Ihr Gerät oder Teilefunktionen vorgängig zu testen.

Die Arbeit muss dokumentiert werden. Weiter ist ein Poster zu gestalten, welches die Eigenschaften Ihrer Lösung und Ihres Produkts beschreibt und an der MEP sowie am Abschluss-Anlass verwendet wird. Für das Poster wird ein Template abgegeben.

3. Randbedingungen

Die in PREN 1 gesetzten Rahmenbedingungen betreffend Roboter-Aufbauten, Grundflächen, Infrastruktur, Material und Kosten gelten weiterhin.

4. Kompetenznachweis

4.1. Abschlusspräsentation und Wettbewerb

Die Abschlusspräsentation besteht aus zwei Teilen an je einem Tag. Im ersten Teil präsentieren Sie den Experten und Fachdozenten ähnlich wie in PREN 1 Ihre Projektresultate. Anschliessend sind Fragen zu beantworten.

Der zweite Teil ist der Wettbewerb, an welchem Sie die Leistungsfähigkeit Ihres Roboter-Aufsatzes mit denen der anderen Teams messen und Ihren Funktionsnachweis damit erbringen.

Am Wettbewerbstag sind pro Team zwei Durchgänge vorgesehen. Der erfolgreichere der beiden Durchgänge wird gewertet.

Am Wettbewerbstag werden die Geräte der Teams, welche gerade nicht im Einsatz sind, auf Tischen in der Nähe des Austragungsortes zusammen mit dem Poster ausgestellt.

4.2. Wettbewerbskriterien

Der Abfall wird vor dem Start in der Arbeitszone ausgekippt und verteilt. Dabei wird versucht eine gleichmässige Verteilung von Litter-Objekten auf der Kiesfläche zu erreichen. Der Abfall und der Kies dürfen während der Arbeit den Teambereich der Grundfläche nicht verlassen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich ungewollte Fremdpartikel wie z.B. Schmutz und Staub im Abfall befinden.

In der Gesamtbewertung für die Notengebung sind 15 Punkte für den Wettbewerb vorgesehen, was 15 % der im Kompetenznachweis erreichbaren Gesamtpunktzahl entspricht. Die 15 Punkte teilen sich auf in 3 Punkte für das Poster bzw. den Auftritt sowie Informations- und Darstellungsform der Webseite. Die weiteren 12 von den 15 Punkten gibt es für die Platzierung (Rang) im Wettbewerb anhand folgender Tabelle:

| Rang | Noten-Punkte |
|------|--------------|
| 1 | 12 |
| 2 | 11 |
| 3 | 10 |
| 4 | 9 |
| 5 | 9 |
| 6 | 8 |
| 7 | 8 |
| 8 | 7 |
| 9 | 7 |
| 10 | 6 |
| 11 | 6 |
| 12 | 5 |
| 13 | 5 |

| Rang | Noten-Punkte |
|------|--------------|
| 14 | 4 |
| 15 | 4 |
| 16 | 4 |
| 17 | 3 |
| 18 | 3 |
| 19 | 3 |
| 20 | 2 |
| 21 | 2 |
| 22 | 2 |
| 23 | 1 |
| 24 | 1 |
| 25 | 1 |
| 26 | 0 |

Die am Wettbewerb erreichten Wettbewerbspunkte bestimmen die Rangierung. Die Wettbewerbspunkte ergeben sich aus den gesammelten Punkten wie in der Aufgabenstellung PREN 1 Kapitel 4.6 beschrieben. Gleiche Punkte ergeben denselben Rang. Es gibt keine negativen Wettbewerbspunkte.

5. Zulassung zum Kompetenznachweis und Bewertung PREN 2

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

- Detailplanung für die Entwurfs- und Realisierungsphase des Projekts (Testat 1)
Freitag, 10.03.23 (SW3), 12:00 Uhr auf Ilias
- Gerät aufgebaut und für Testläufe bereit (Testat 2): Donnerstag, 13.04.23 (SW8)
Demonstration vor Dozententeam (TeamCoaching): am Donnerstag, 20.04.23 (SW9)
- Freigabe des lauffähigen Geräts, Dokumentation grösstenteils abgeschlossen (Testat 3)
Freitag, 26.05.23 (SW14), 12:00 Uhr auf Ilias

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

- Kontinuierliche Projektplanung mit Vergleich von Planung und Realität
- Risikomanagement
- Übereinstimmung des Geräts mit der Anforderungsliste. Die Übereinstimmung ist zu überprüfen und zu belegen.
- Vollständige, verständliche und nachvollziehbare Dokumentation des realisierten Geräts. Der Aufbau der Dokumentation basiert auf den Inputs aus dem Kontextmodul 1.
- Integration der Disziplinen. Es ist in erster Linie das interdisziplinäre Produkt (Resultat), und nicht die einzelnen Disziplinen zu beschreiben.

Für den Kompetenznachweis werden die folgenden Kriterien mit der entsprechenden Gewichtung bewertet (PREN2):

| Kriterien | Gewichtung |
|--|--|
| Teamarbeit und Arbeitsweise Zusammenarbeit, Interdisziplinarität, Arbeitsteilung, Systematik, Projektmanagement / Zeitplanung, Problemerfassung, Konfliktbewältigung, Einsatz / Initiative / Effizienz / Arbeitsmenge, Umgang mit Risiken | 10 % |
| Resultate und Ergebnisse Konzept / Innovationsgehalt, technische Machbarkeit / technische Richtigkeit / sinnvoller Einsatz von Technologien (Sensoren, Akten, Energieversorgung, Systemsteuerung), Softwarearchitektur/ Softwarestruktur / Schnittstellen, Funktionalität/ Bedienbarkeit, Herstellbarkeit / Wirtschaftlichkeit, Einfachheit / Vollständigkeit, Zusammenspiel über die Grenzen der Disziplinen, Ausführung / Layout / Qualität / Zuverlässigkeit, Übereinstimmung mit den Produktanforderungen, Überzeugungskraft | 50 % |
| Dokumentation Formales/ Gestaltung/ Gliederung, Integration der Disziplinen / Kohärenz, Sprache, Vollständigkeit, Abbildungen / Tabellen / Quellenangaben, Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit | 15 % |
| Präsentation / Wettbewerb Präsentation der Projektresultate vor Experten und Fachdozenten im Gruppenraum: Beginn, Schluss, Sprache, Inhalt, Gewichtung/ Integration der Disziplinen, Verständlichkeit, nonverbale Aspekte, Einsatz visueller Hilfsmittel, Glaubwürdigkeit und Überzeugungskraft, Beantwortung der Fragen Funktionsnachweis vor Publikum, Wettbewerbserfolg Poster / Auftritt sowie Informations- und Darstellungsform der Webseite | 10 % 12% 3% |

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

Alle Mitglieder des Teams erhalten die gleiche Bewertung. In Ausnahmefällen können einzelne Teammitglieder separat bewertet werden und eine individuelle Aufgabe erhalten (Nacharbeit etc.).

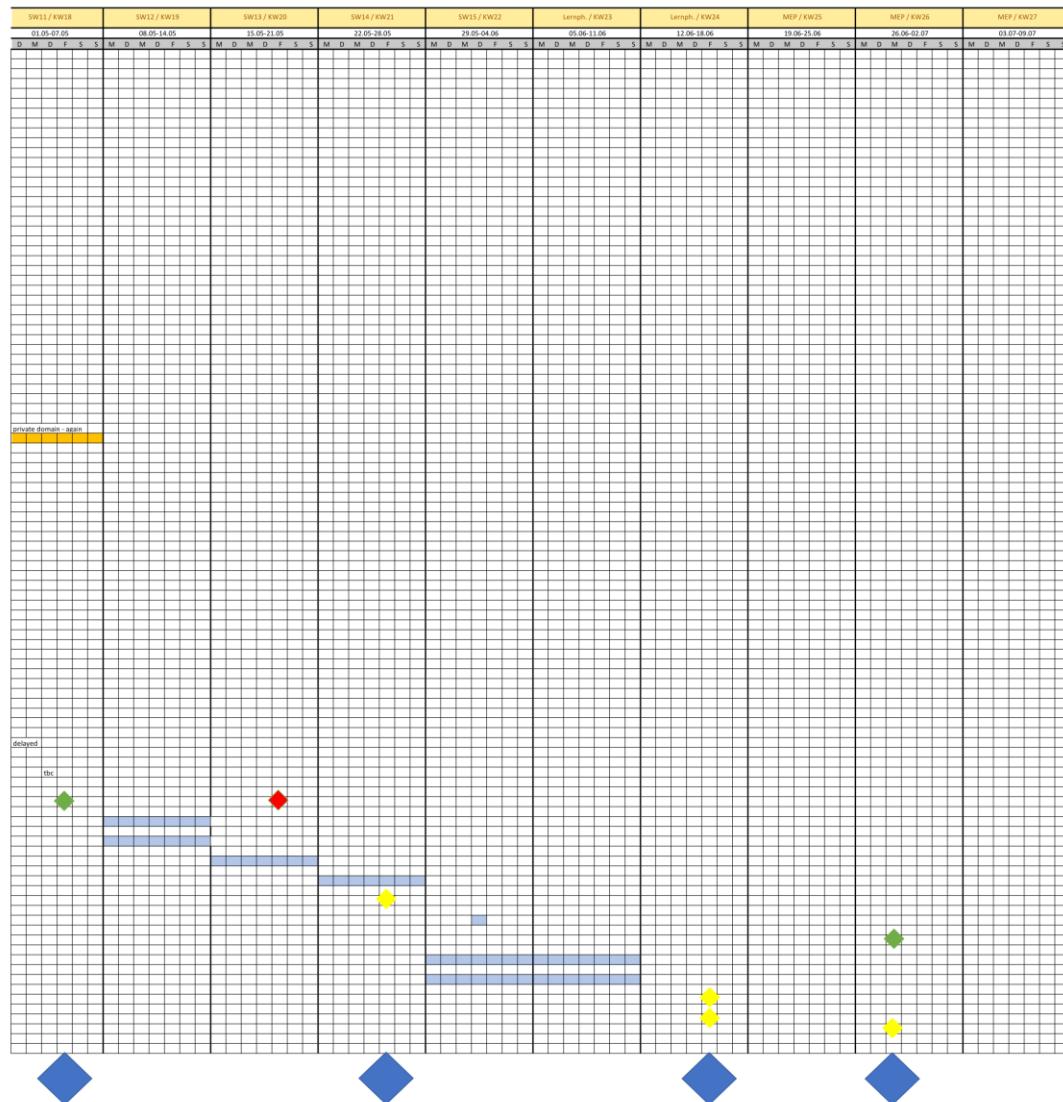
Wir wünschen Ihnen viel Erfolg in diesem Semester!

10.2 Projektplanung

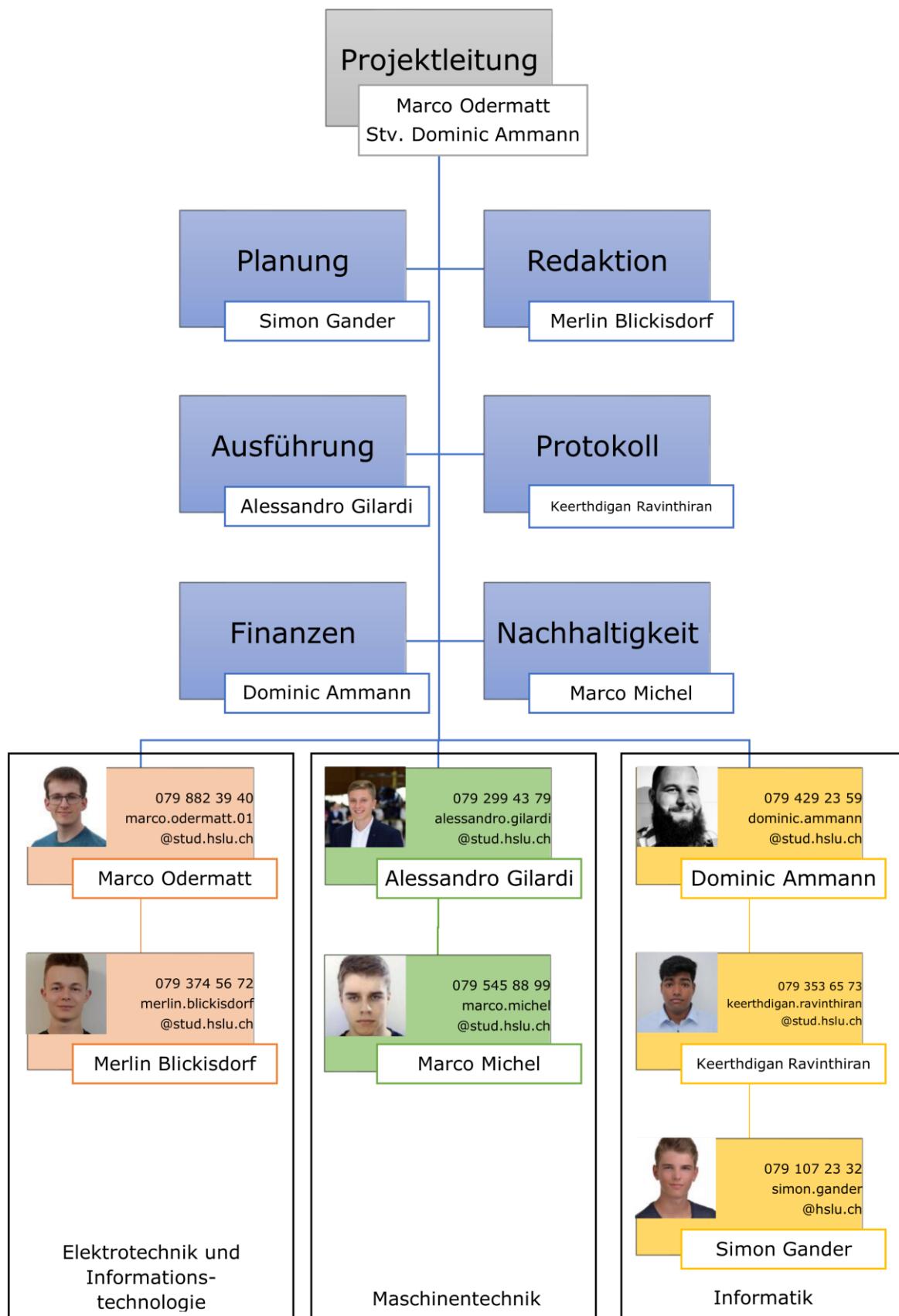
Projektplanung: PREN 2 / Gruppe 7

| Aufgaben | Verantwortlich | Start | Ende | Woche | SW1 / KW8 | SW2 / KW9 | SW3 / KW10 | SW4 / KW11 | SW5 / KW12 | SW6 / KW13 | SW7 / KW14 | SW8 / KW15 | SW9 / KW16 | SW10 / KW17 | |
|--|----------------|------------|------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| | | | | | 20.02-26.02 | 27.02-05.03 | 06.03-12.03 | 13.03-19.03 | 20.03-26.03 | 27.03-02.04 | 03.04-09.04 | 10.04-16.04 | 17.04-23.04 | 24.04-30.04 | |
| Input 1 | | 23.02.2023 | 23.02.2023 | SW1 | M Soll Ist | |
| Material bestellen | | 23.02.2023 | 24.02.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Projektplanung erstellen | | 23.02.2023 | 24.02.2023 | | | | | | | | | | | | |
| CAD SCARA-Arm finalisieren | | 23.02.2023 | 26.02.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Detaileplanung erstellen | | 23.02.2023 | 05.03.2023 | | | | | | | | | | | | |
| 3D-Teile Drucken | | 27.02.2023 | 12.03.2023 | | | | | | | | | | | | |
| MDF-Teile lasern | | 27.02.2023 | 12.03.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Input 2 | | 09.03.2023 | 09.03.2023 | SW3 | | | | | | | | | | | |
| Milestein 1 mise en place (Material beschafft, 3D-Druckteile gedruckt, MDF-Teile gelasert) | | 10.03.2023 | 10.03.2023 | SW3 | M Soll Ist | |
| Testat 1 Detaileplanung für Entwurf und Realisierungsphase | | 10.03.2023 | 10.03.2023 | SW3 | | | | | | | | | | | |
| Entwicklung Bilderkennen für Raspberry Pi | | 27.02.2023 | 02.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Bürstengerät zusammenbauen | | 02.03.2023 | 19.03.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Förderbänder zusammenbauen | | 09.03.2023 | 02.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Sauger zusammenbauen | | 09.03.2023 | 26.03.2023 | | | | | | | | | | | | |
| SCARA-Arm zusammenbauen | | 09.03.2023 | 02.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Rahmen zusammenbauen | | 13.03.2023 | 02.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Vereinzelner zusammenbauen | | 13.03.2023 | 02.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Datenbank erstellen und in API einbinden | | 13.03.2023 | 02.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Milestein 2 Zusammenbau Baugruppen (Rahmen, Bürstengerät, Sauger, Förderbänder, Vereinzelner, SCARA-Arm usw.) | | 31.03.2023 | 02.04.2023 | SW6 | M Soll Ist | |
| Entwicklung Webseite | | 06.03.2023 | 09.04.2023 | | | | | | | | | | | | public domain |
| Kommunikation zwischen Raspberry Pi und Server | | 27.03.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| SCARA-Arm montieren | | 01.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Bürstengerät montieren | | 01.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Sauger montieren | | 01.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Sauger Schlauch montieren | | 01.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Raspberry Pi und Kamera montieren | | 01.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Vereinzelner montieren | | 01.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Förderbänder montieren | | 01.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Arduino montieren und verkabeln | | 01.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Programme auf Raspberry Pi und Arduino installieren | | 10.04.2023 | 07.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Milestein 3 Zusammenbau DIRT (Baugruppen im Rahmen verbauen, elektrische Verkabelung) | | 07.04.2023 | 07.04.2023 | SW7_1 | M Soll Ist | |
| Dokumentation Kapitel 3 Funktions teste und Prototypen schreiben | | 03.04.2023 | 13.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Testat 2 Gerät aufgebaut und für Testläufe bereit | | 13.04.2023 | 13.04.2023 | SW7_2 | M Soll Ist | |
| Teilfunktionen testen | | 17.04.2023 | 23.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Teilfunktionen verbessern | | 24.04.2023 | 30.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Optimierung für Wertgegenstände | | 24.04.2023 | 30.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Webseite testen für clients | | 17.04.2023 | 23.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Webseite - Raspberry - Arduino - Aktores Kommunikation Testen | | 24.04.2023 | 30.04.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Milestein 4 Wettbewerbsdurchlauf autonom durchgeführt | | 05.05.2023 | 05.05.2023 | SW10 | M Soll Ist | |
| Ökobilanz erstellen, 3 meistverwendete materialien in %, 3 kritischste verwendete materialien | | 08.05.2023 | 14.05.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Durchmesser vergrössern, Fehlerrate verklemmen, | | 08.05.2023 | 14.05.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Poster für Präsentation erstellen und drucken | | 15.05.2023 | 21.05.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Exterior design - LED-Strings, Lautsprecher, Buzzer, Dreheleuchte | | 22.05.2023 | 28.05.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Testat 3 Freigabe des lauffähigen Gerätes, Dokumentation zu 80% fertiggestellt | | 26.05.2023 | 26.05.2023 | SW13 | M Soll Ist | |
| Allgemein Input 3 | | 01.06.2023 | 01.06.2023 | SW14 | M Soll Ist | |
| Milestein 5 Wettbewerb | | 28.06.2023 | 28.06.2023 | MEP | M Soll Ist | |
| Allgemein Dokumentation Korrekturlesen, 100% | | 29.05.2023 | 11.06.2023 | | | | | | | | | | | | |
| Allgemein Schlusspräsentation vorbereiten | | 29.05.2023 | 11.06.2023 | | | | | | | | | | | | |
| MEP Abgabe Dokumentation | | 16.06.2023 | 16.06.2023 | MEP | M Soll Ist | |
| MEP Abgabe Schluspräsentation | | 16.06.2023 | 16.06.2023 | MEP | M Soll Ist | |
| MEP Schluspräsentation halten | | 28.06.2023 | 28.06.2023 | MEP | M Soll Ist | |





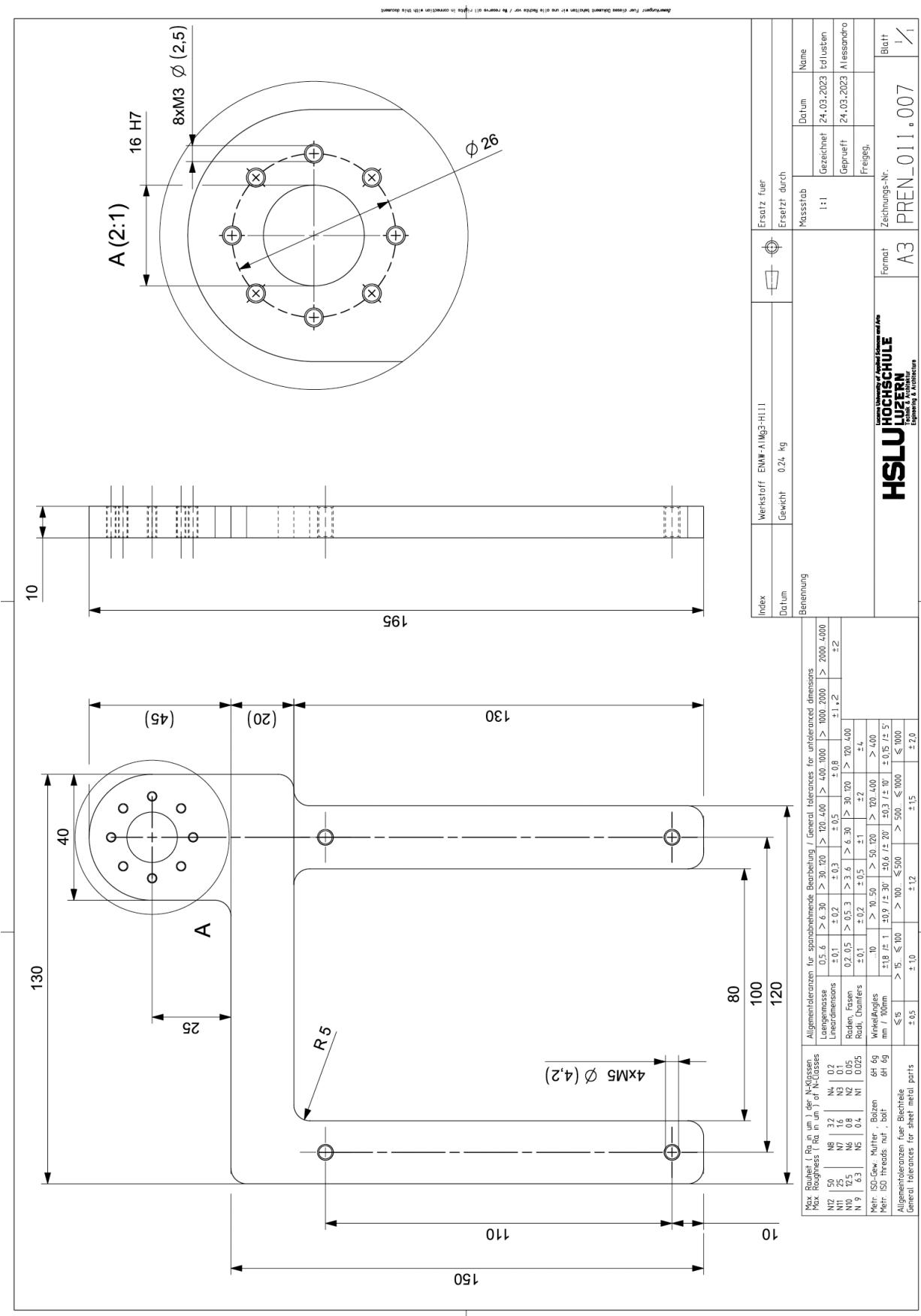
10.3 Organigramm

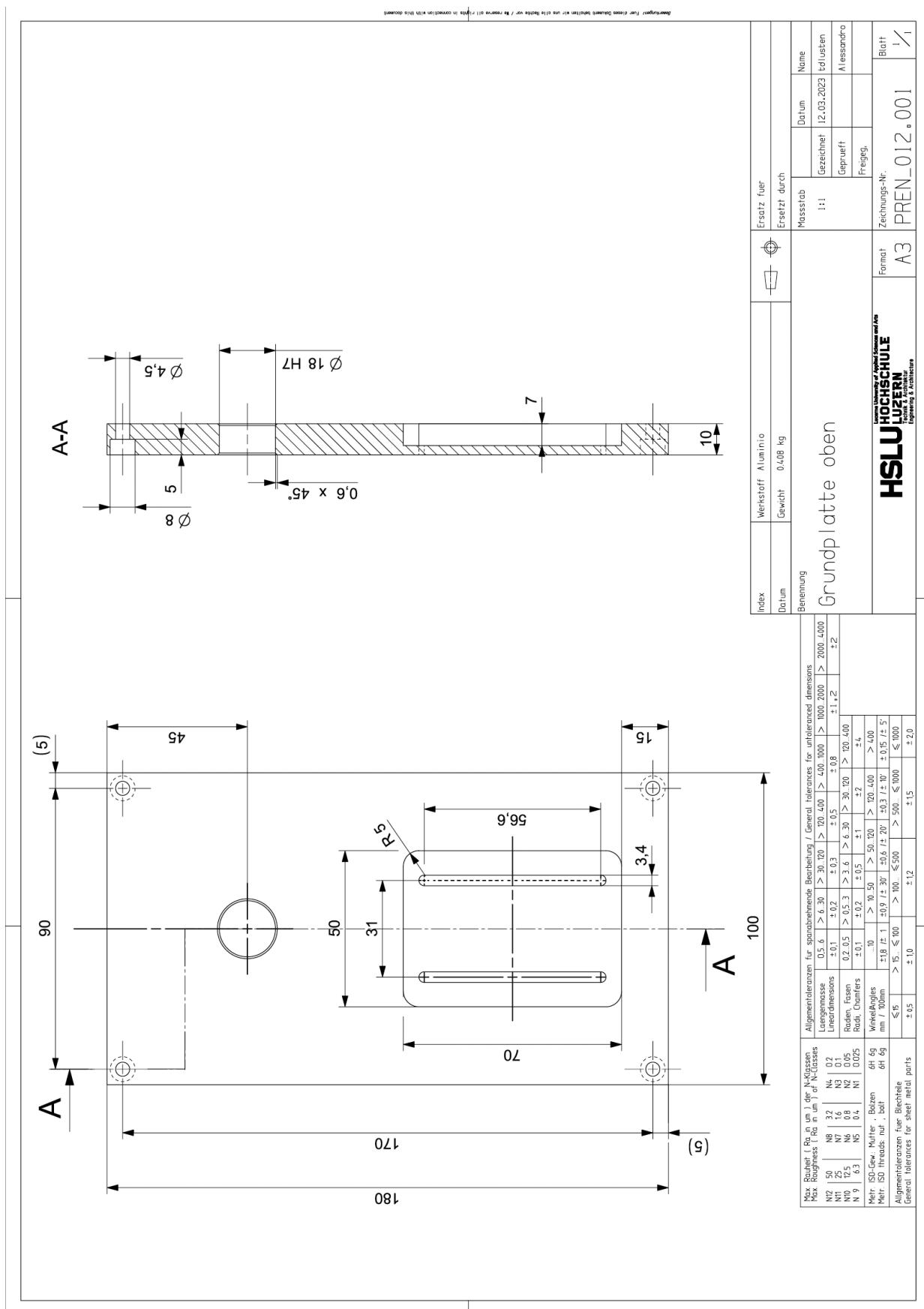


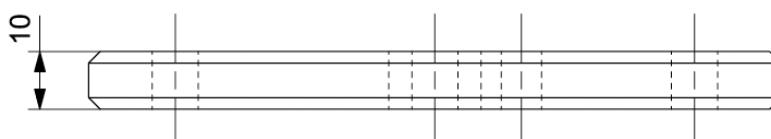
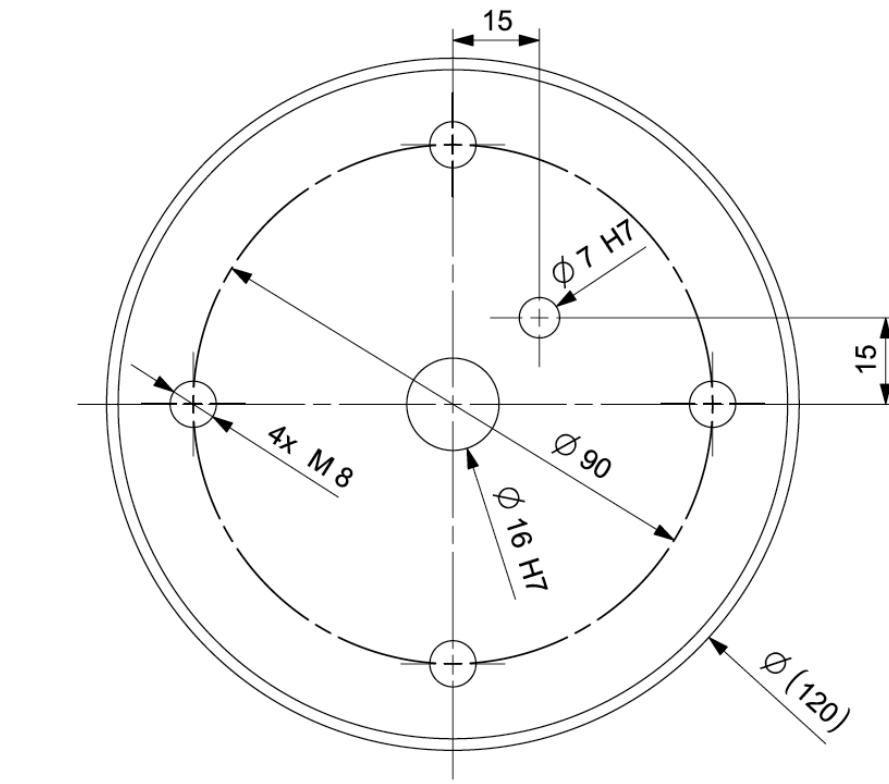
10.4 Rollenverteilung

| Mitglied | Rolle / Verantwortung / Aufgaben |
|--|--|
| Marco Odermatt Elektrotechnik & Informationstechnologie marco.odermatt.01@stud.hslu.ch | Projektleitung - Anforderungen analysieren - Koordination des Teams - Kommunikation mit Dozenten |
| Merlin Blickisdorf Elektrotechnik & Informationstechnologie merlin.blickisdorf@stud.hslu.ch | Redaktion - Organigramm & Rollenverteilung - Dokumentation |
| Alessandro Gilardi Maschinentechnik alessandro.gilardi@stud.hslu.ch | Ausführung - CAD - 3D-Druck - Laserteile |
| Marco Michel Maschinentechnik marco.michel@stud.hslu.ch | Ausführung - Nachhaltigkeit - Konstruktionszeichnung |
| Dominic Ammann Informatik dominic.ammann@stud.hslu.ch | Stv. Projektleitung und Finanzen - Excelliste Finanzen und Aufwand - Budgetierung |
| Keerthdigan Ravinthiran Informatik keerthdigan.ravinthiran@stud.hslu.ch | Protokoll - Protokollierung - Anforderungsliste - Recherche (Quellsammlung) |
| Simon Gander Informatik simon.gander@hslu.ch | Planung - Trello - Projektplanung |

10.5 Technische Zeichnungen

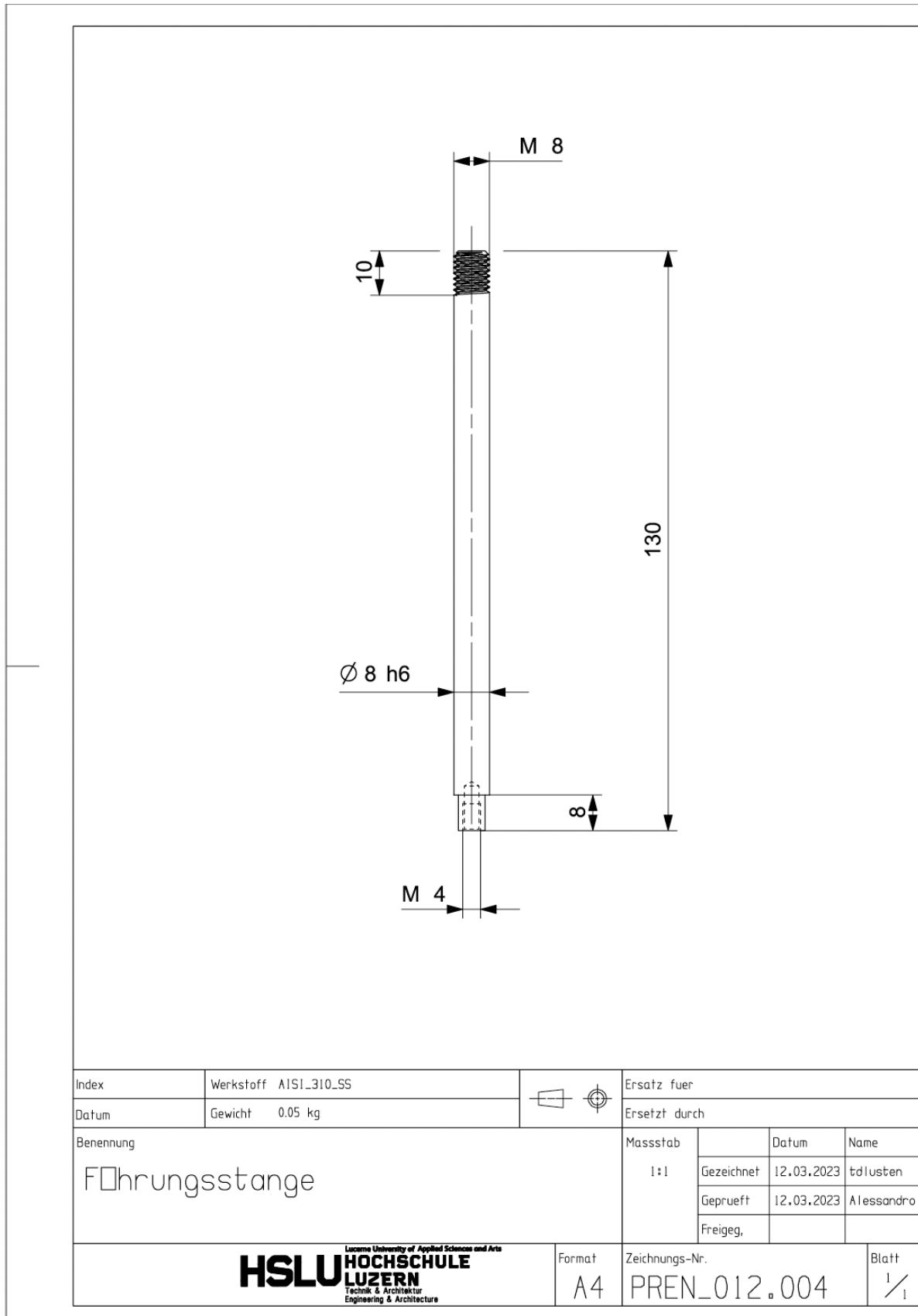




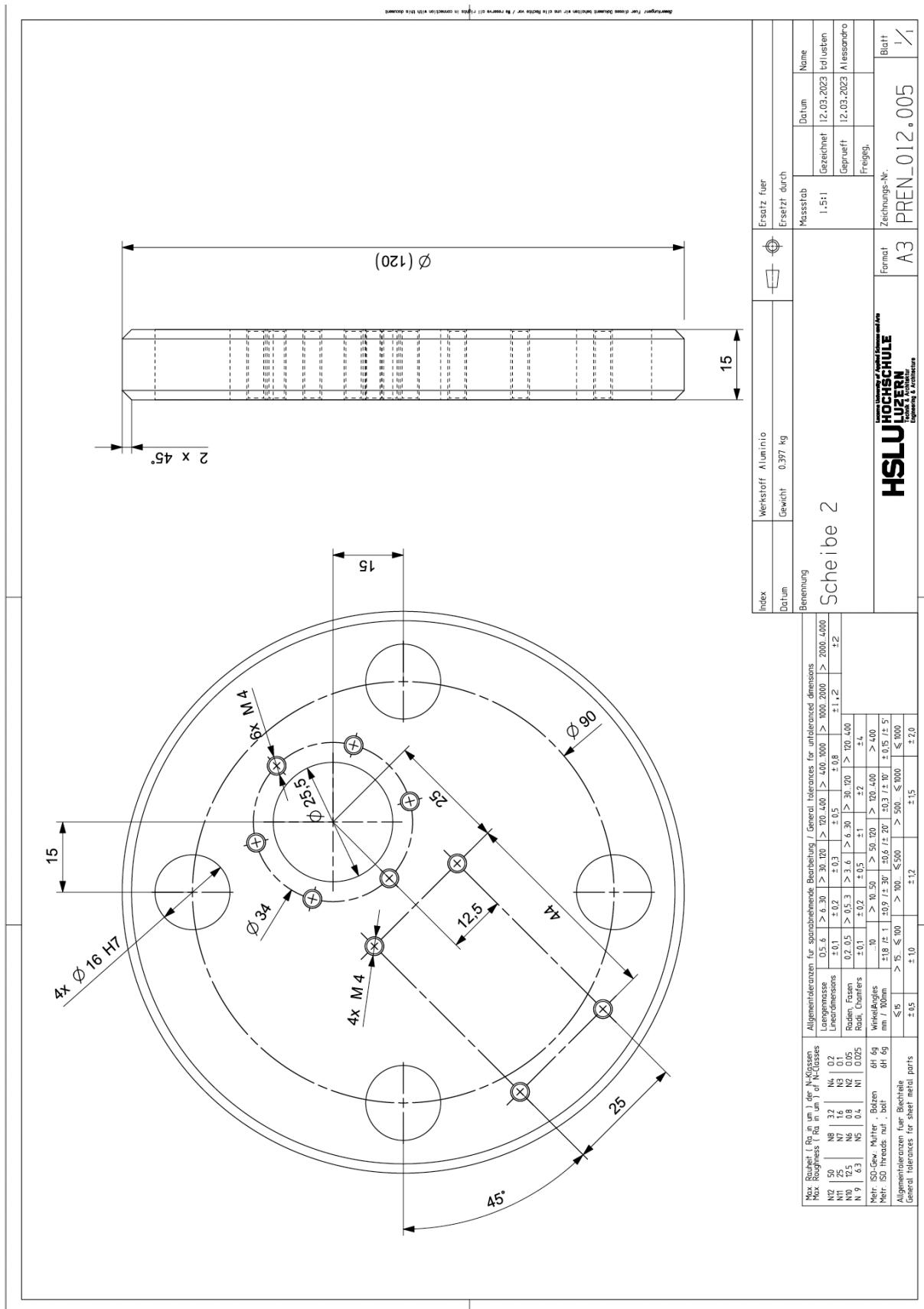


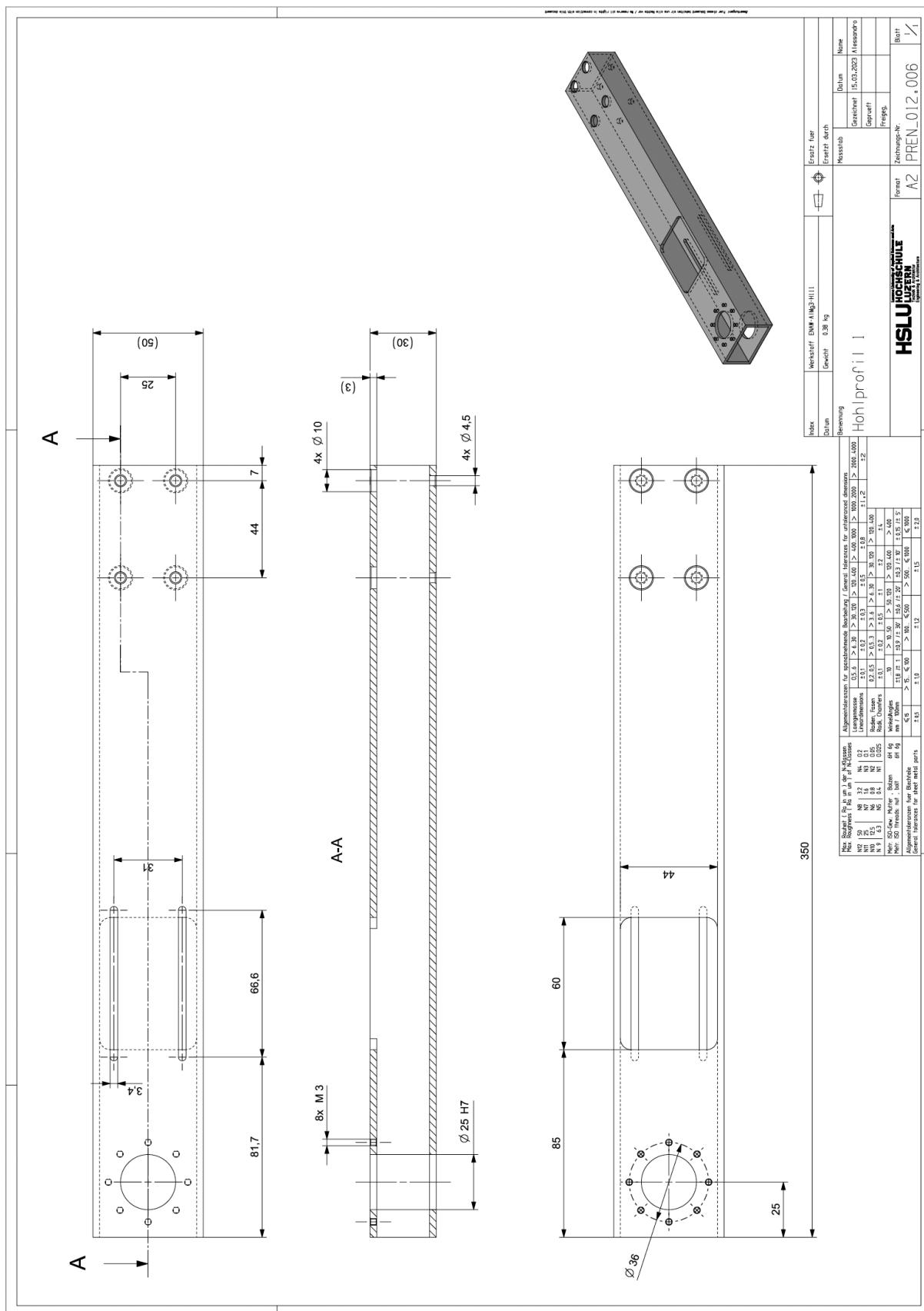
| | | | |
|---|--------------------|------------|----------------|
| Index | Werkstoff Aluminio | | Ersatz fuer |
| Datum | Gewicht 0.290 kg | | Ersetzt durch |
| Benennung | | | |
| Grundscheibe | | Massstab | Datum |
| | | 1:1 | Name |
| | | Gezeichnet | 12.03.2023 |
| | | Geprueft | 12.03.2023 |
| | | Freigeg. | |
| Lucerne University of Applied Sciences and Arts HSLU HOCHSCHULE LUZERN Technik & Architektur Engineering & Architecture | | Format | Zeichnungs-Nr. |
| | | A4 | PREN_012.003 |
| | | | Blatt |
| | | | 1/1 |

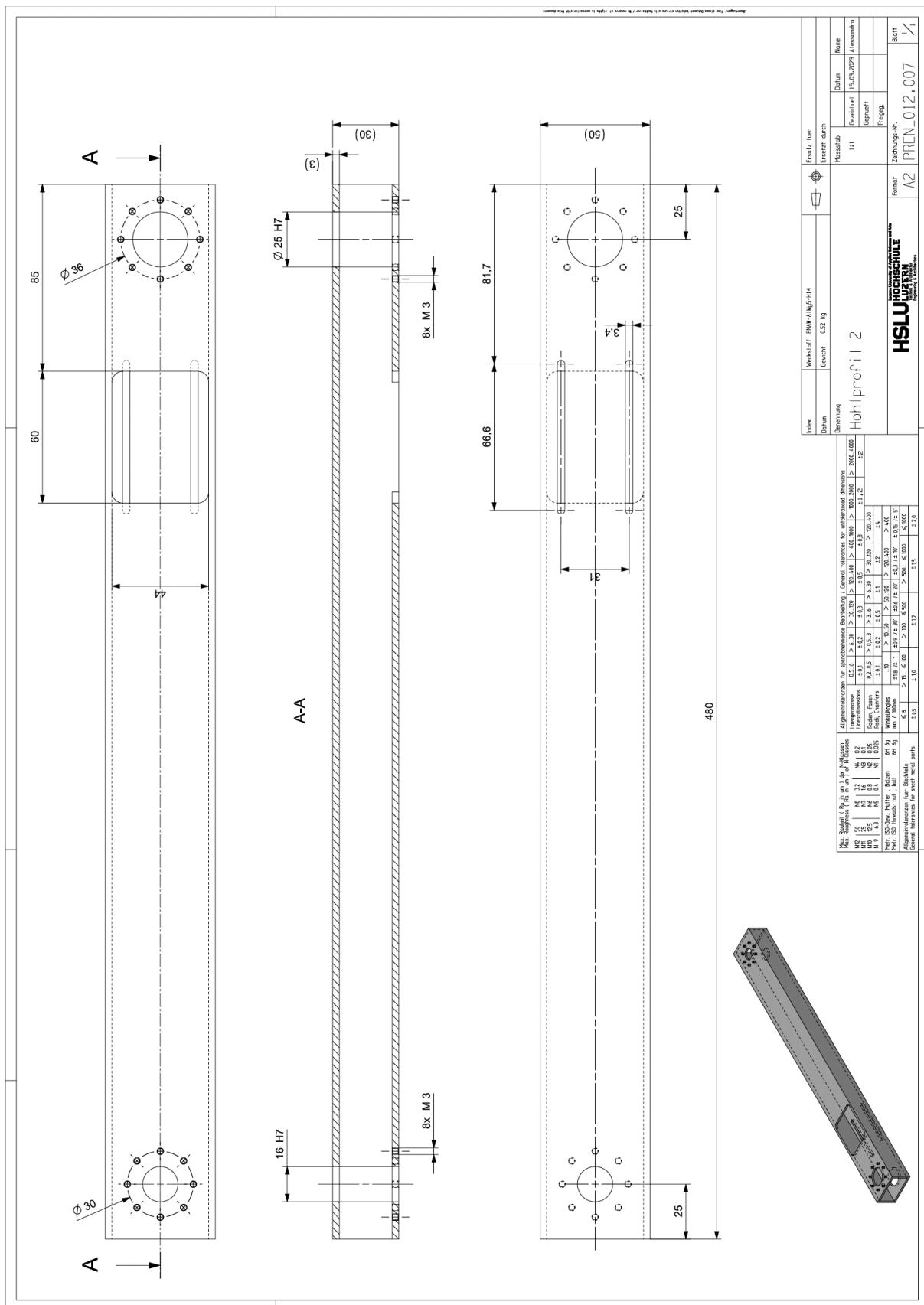
Bewerber/-in darf dieses Dokument bearbeiten wir uns alle Rechte vor / We reserve all rights in connection with this document

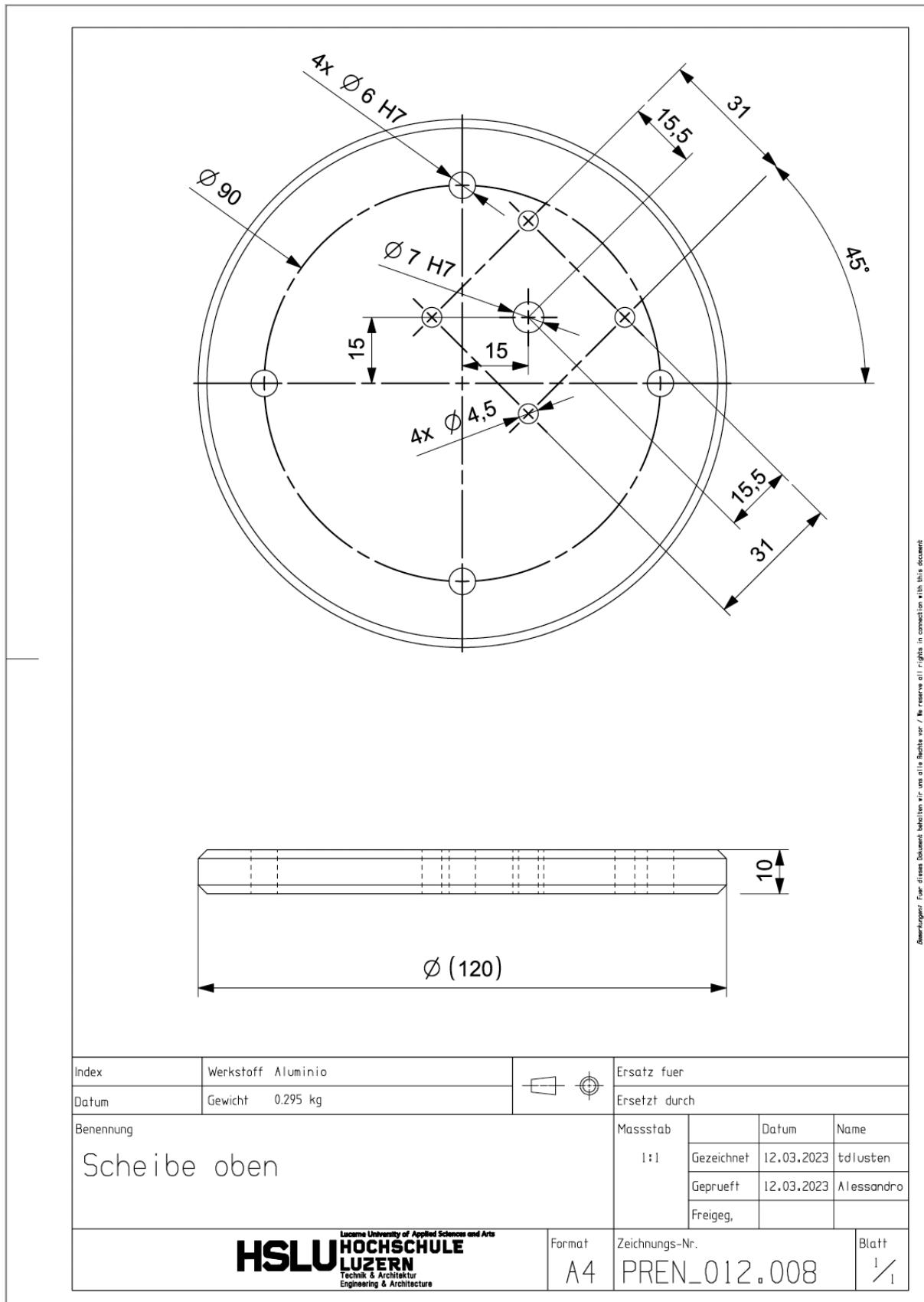


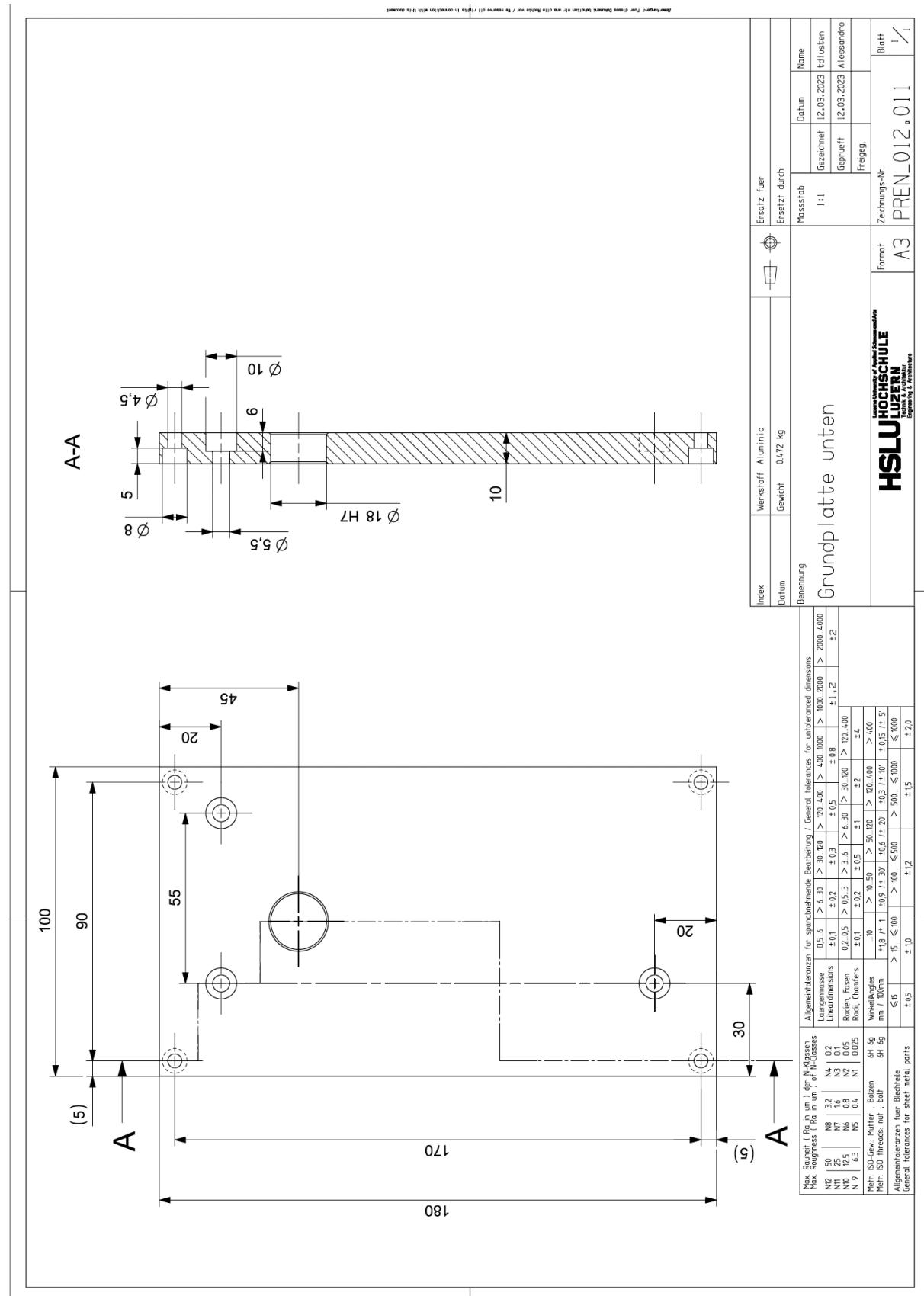
Rechte vorbehalten / All rights reserved. This document may not be reproduced in whole or in part without the express written permission of Hochschule Luzern.

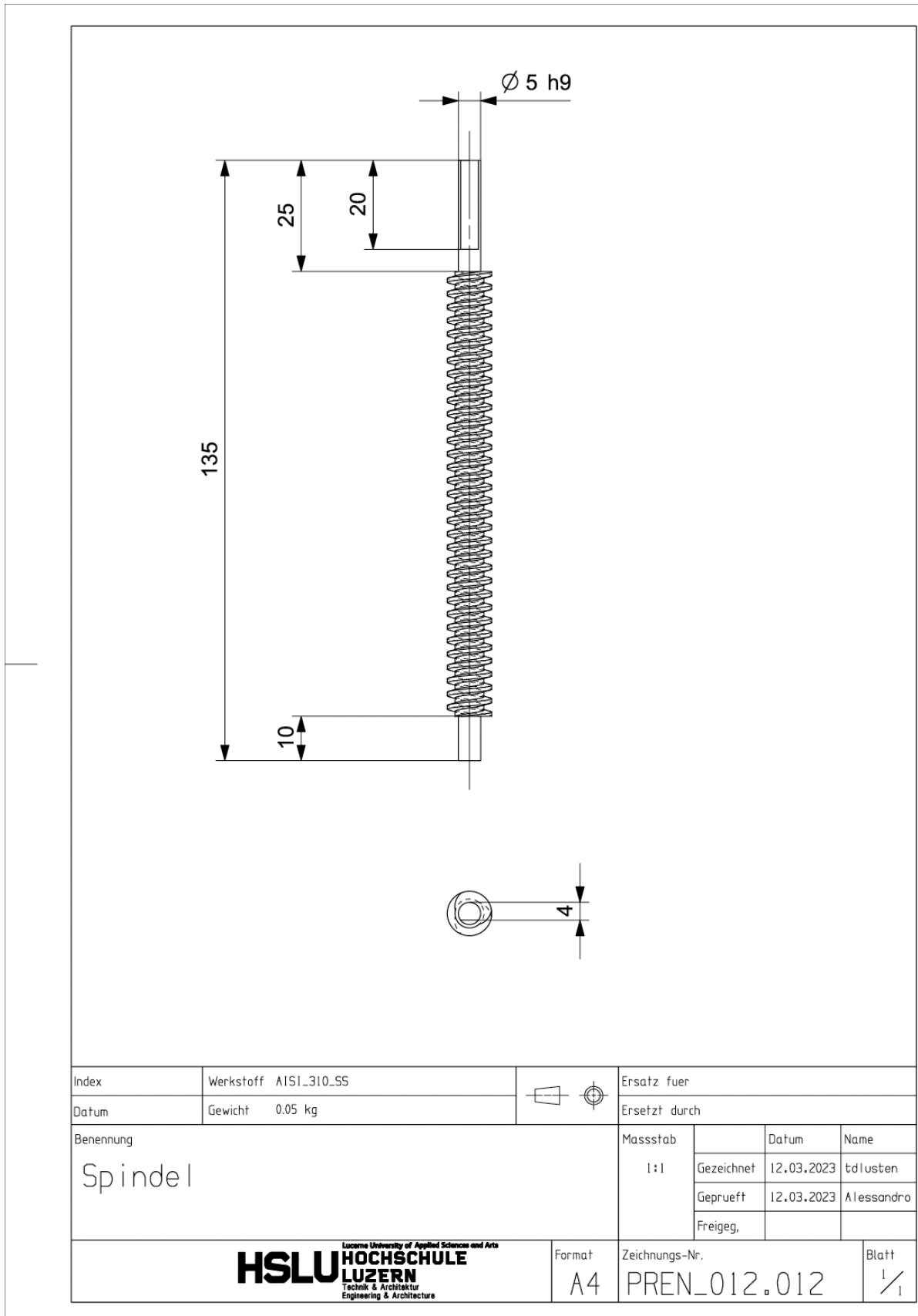


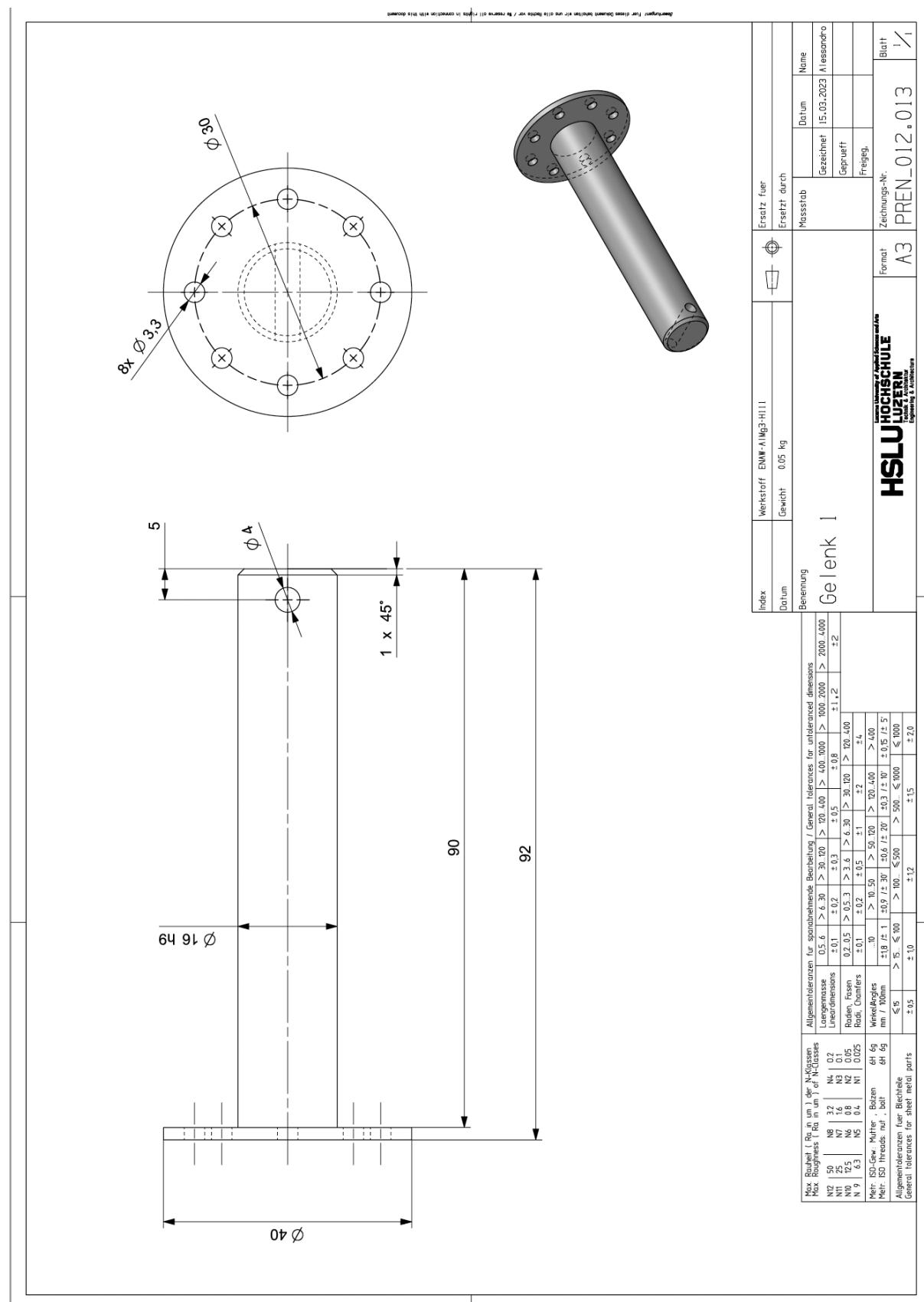


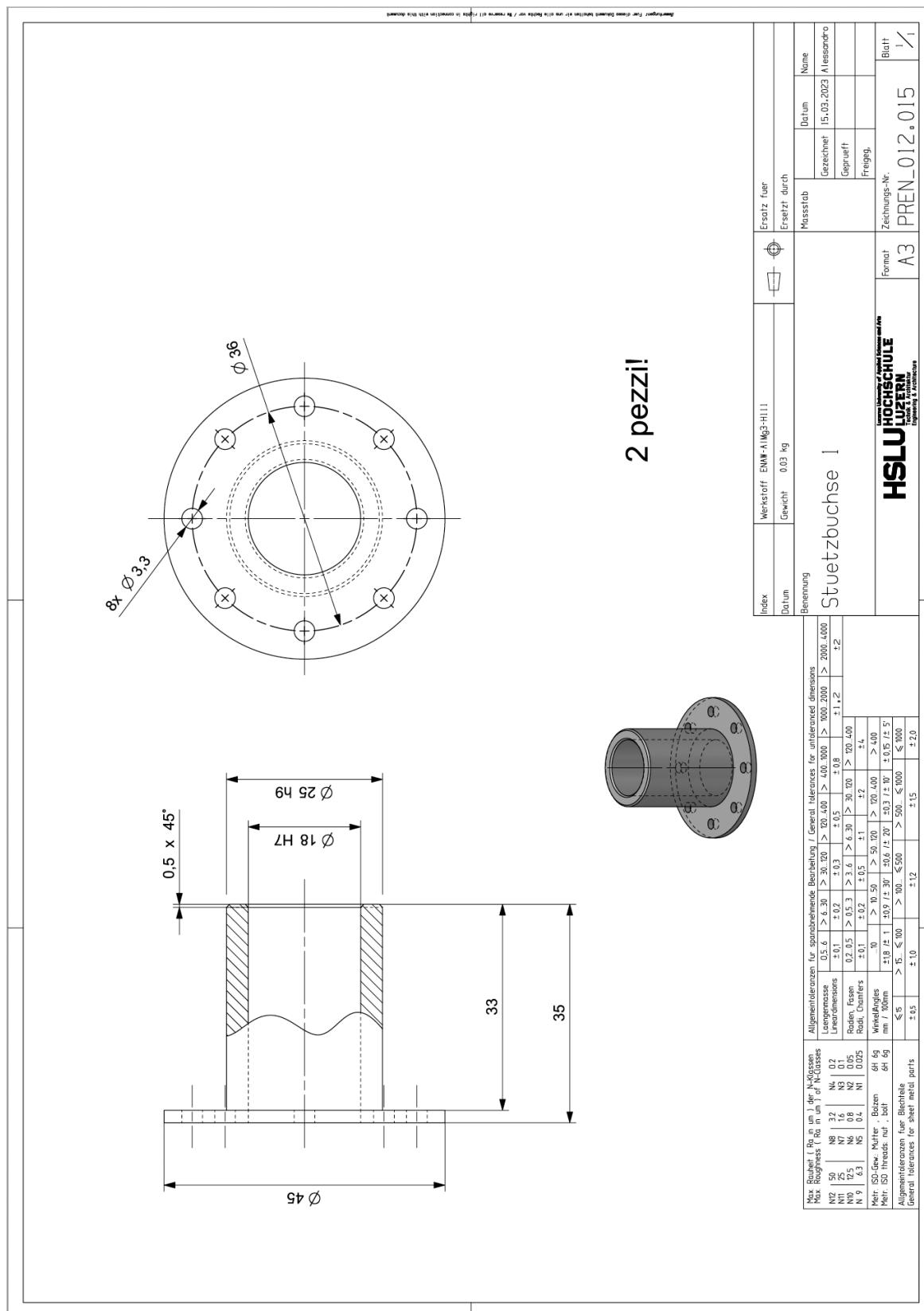


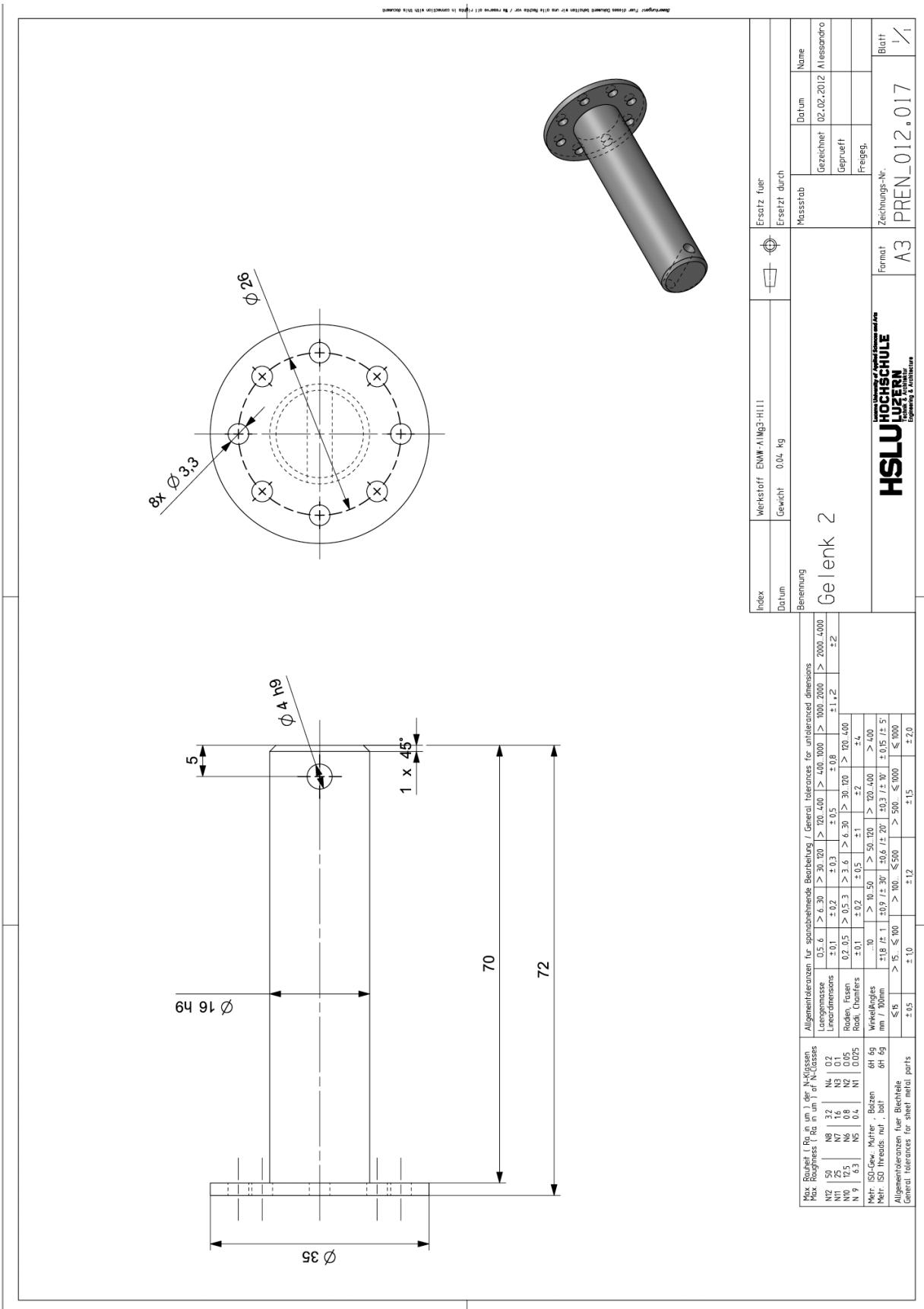


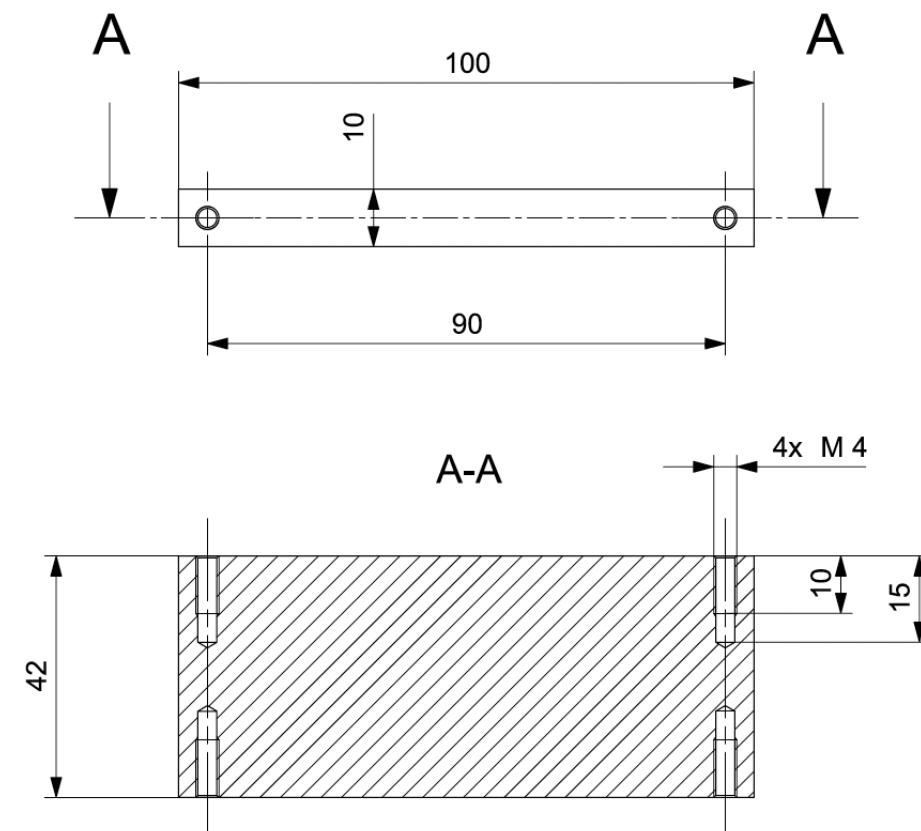








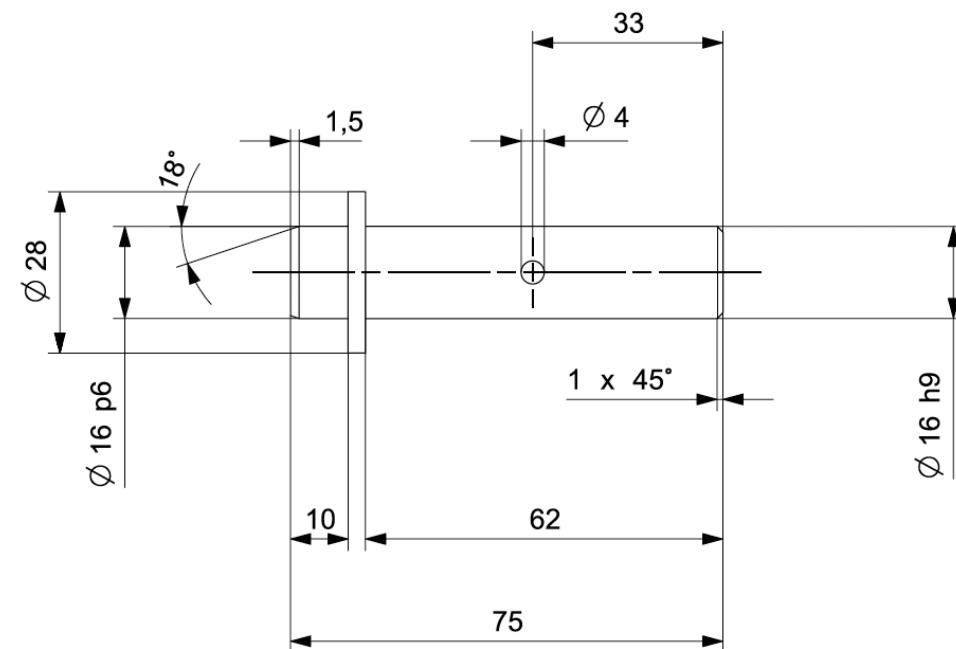




2 Pezzi!

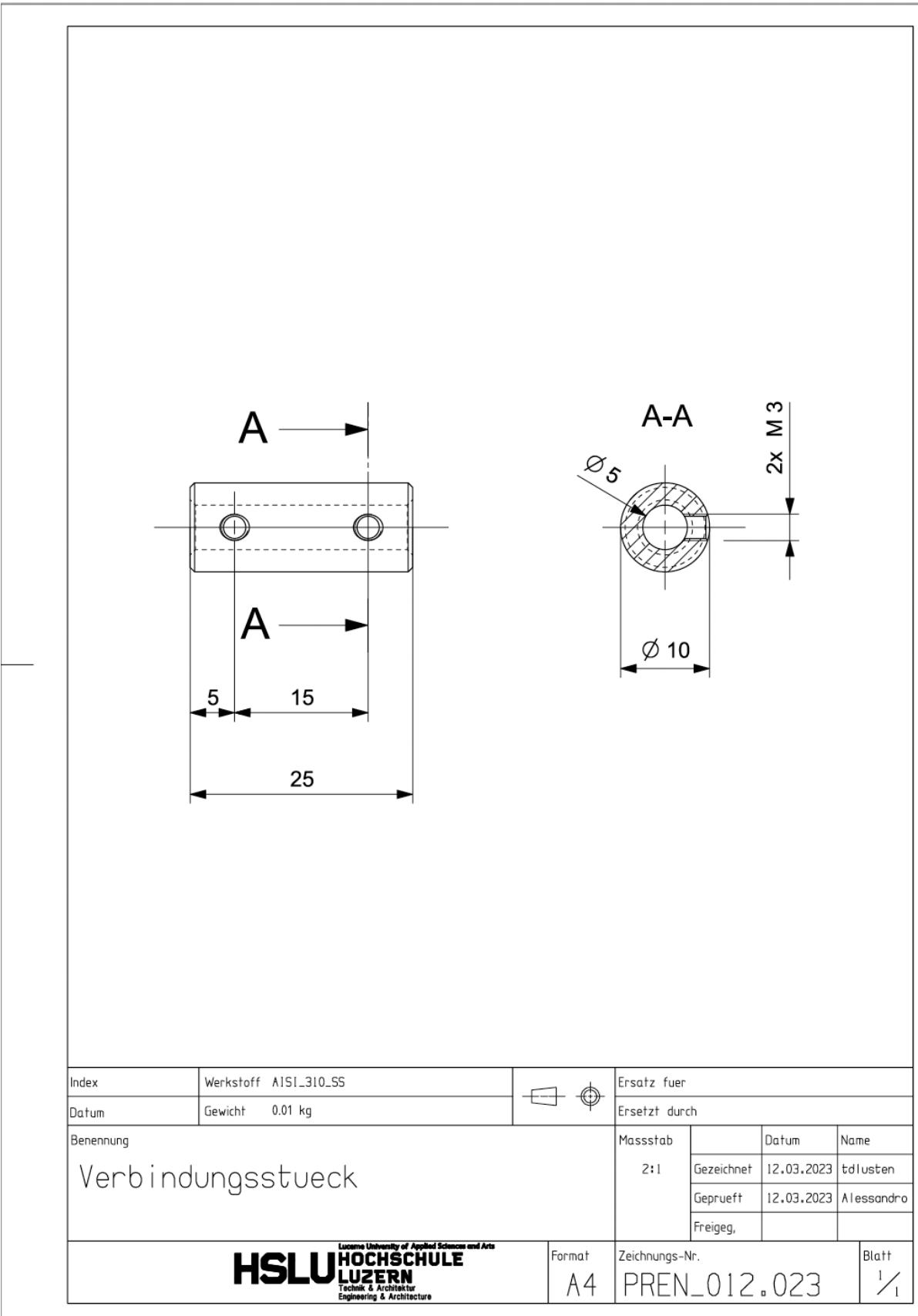
| | | | |
|--|--------------------|-----------|--------------------------------|
| Index | Werkstoff Aluminio | | Ersatz fuer |
| Datum | Gewicht 0.112 kg | | Ersetzt durch |
| Benennung | | Massstab | Datum Name |
| Seitenplatte | | 1:1 | Gezeichnet 12.03.2023 tdlusten |
| | | | Geprueft 12.03.2023 Alessandro |
| | | | Freigeg, |
| HSLU HOCHSCHULE LUZERN <small>Technik & Architektur Engineering & Architecture</small> | | Format A4 | Zeichnungs-Nr. PREN_012.018 |
| | | | Blatt 1/1 |

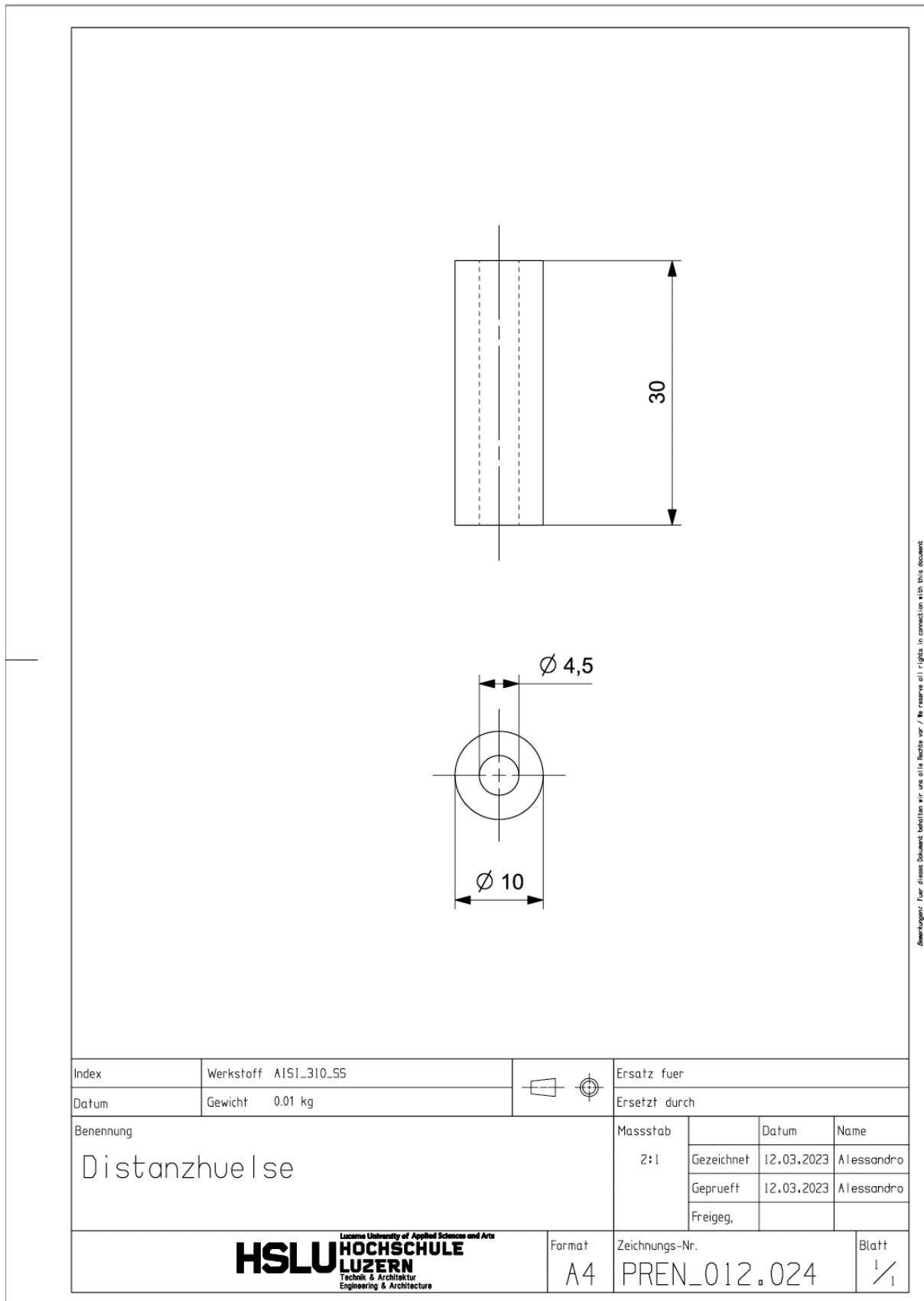
Bearbeitungen: Für dieses Dokument behalten wir uns alle Rechte vor / No reserve all rights in connection with this document



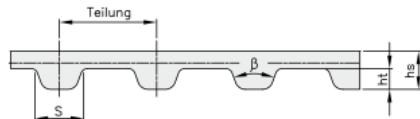
Bewertungen? Für dieses Dokument benötigen wir uns alle Rechte vor / We reserve all rights in connection with this document

| | | | | | | |
|--|---------------------|--|---------------|----------------|-----------------------|--|
| Index | Werkstoff Aluminium | | Ersatz fuer | | | |
| Datum | Gewicht 0.04 kg | | Ersetzt durch | | | |
| Benennung | Welle 1 | | Massstab | | Datum Name | |
| | | | 1:1 | Gezeichnet | 12.03.2023 tdlusten | |
| | | | | Geprueft | 12.03.2023 Alessandro | |
| | | | | Freigegeg, | | |
| HSLU HOCHSCHULE LUZERN <small>Technik & Architektur Engineering & Architecture</small> | | | Format | Zeichnungs-Nr. | Blatt | |
| A4 | | | PREN_012.022 | | 1/1 | |





10.6 Diverse Datenblätter



Werkstoff: Neopren mit Fiberglaseinlagen

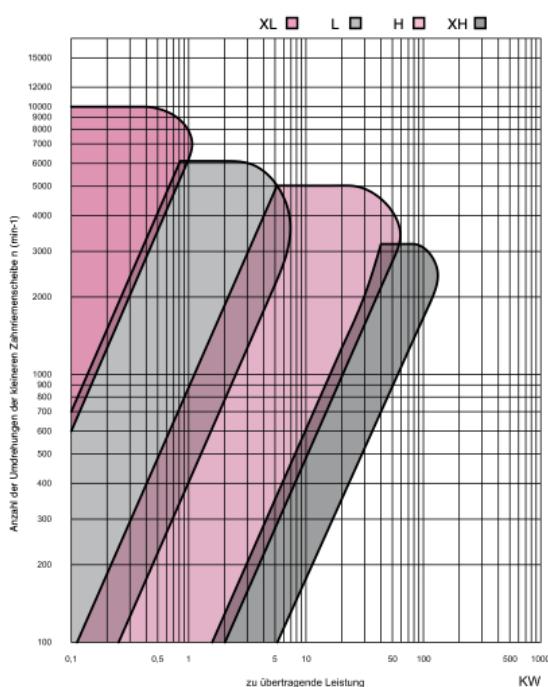
ABMESSUNGEN UND TOLERANZEN DER DICKE

| Typ | Teilung mm | hs mm | Tol. mm | ht mm | S mm | β Grad |
|-----|---------------|----------|------------|----------|---------|-----------|
| XL | 5.080 | 2,3 | $\pm 0,20$ | 1,27 | 2,57 | 50 |
| L | 9.525 | 3,6 | $\pm 0,25$ | 1,91 | 4,65 | 40 |
| H | 12.700 | 4,3 | $\pm 0,25$ | 2,29 | 6,12 | 40 |
| XH | 22.225 | 11,2 | $\pm 0,65$ | 6,35 | 12,57 | 40 |

BREITENTOLERANZEN

| Nennlänge in 1/10 eines Zolls | in mm | Breitentoleranz auf Teilungslänge | | |
|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|
| | | bis 838,2 mm | > 838,2 bis 1676,4 mm | > 1676,4 mm |
| 0,12-0,37 | 3,0-9,5 | +0,5 - 0,8 | - | - |
| > 037-150 | > 9,5-38,1 | +0,8 - 0,8 | +0,8 - 1,3 | +0,8 - 1,3 |
| > 150-200 | > 38,1-50,8 | +0,8 - 1,3 | +1,3 - 1,3 | +1,3 - 1,5 |
| > 200-300 | > 50,8-76,2 | +1,3 - 1,5 | +1,5 - 1,5 | +1,5 - 2,0 |

AUSWAHLTABELLE RIEMENTEILUNG



218

LÄNGENTOLERANZEN

| Wirklänge in 1/10 eines Zolls | in mm | Toleranz mm |
|----------------------------------|-----------------|----------------|
| < 36 | < 91,4 | $\pm 0,15$ |
| > 36-100 | > 91,4-254,0 | $\pm 0,20$ |
| > 100-150 | > 254,0-381,0 | $\pm 0,23$ |
| > 150-200 | > 381,0-508,0 | $\pm 0,25$ |
| > 200-300 | > 508,0-762,0 | $\pm 0,30$ |
| > 300-390 | > 762,0-990,6 | $\pm 0,33$ |
| > 390-480 | > 990,6-1219,2 | $\pm 0,38$ |
| > 480-600 | > 1219,2-1524,0 | $\pm 0,40$ |
| > 600-700 | > 1524,0-1778,0 | $\pm 0,43$ |
| > 700-800 | > 1778,0-2032,0 | $\pm 0,45$ |
| > 800-900 | > 2032,0-2286,0 | $\pm 0,48$ |
| > 900-1000 | > 2286,0-2540,0 | $\pm 0,50$ |
| > 1000-1100 | > 2540,0-2794,0 | $\pm 0,53$ |
| > 1100-1200 | > 2794,0-3048,0 | $\pm 0,55$ |
| > 1200-1260 | > 3048,0-3200,4 | $\pm 0,58$ |
| > 1260-1400 | > 3200,4-3556,0 | $\pm 0,60$ |
| > 1400-1600 | > 3556,0-4064,0 | $\pm 0,65$ |
| > 1600-1700 | > 4064,0-4318,0 | $\pm 0,68$ |
| > 1700-1800 | > 4318,0-4572,0 | $\pm 0,70$ |

**ZAHNRIEMEN – ISO 5296****XL Teilung 1/5" (5,080 mm)**

Werkstoff: Neopren

| code | Zähnezahl | Nennlänge Zoll | Nennlänge mm |
|--------|-----------|-------------------|-----------------|
| 60 XL | 30 | 6,00 | 152,40 |
| 70 XL | 35 | 7,00 | 177,80 |
| 80 XL | 40 | 8,00 | 203,20 |
| 90 XL | 45 | 9,00 | 228,60 |
| 100 XL | 50 | 10,00 | 254,00 |
| 102 XL | 51 | 10,20 | 259,08 |
| 106 XL | 53 | 10,60 | 269,24 |
| 108 XL | 54 | 10,80 | 274,32 |
| 110 XL | 55 | 11,00 | 279,40 |
| 116 XL | 58 | 11,60 | 294,64 |
| 120 XL | 60 | 12,00 | 304,80 |
| 130 XL | 65 | 13,00 | 330,20 |
| 140 XL | 70 | 14,00 | 355,60 |
| 148 XL | 74 | 14,80 | 375,92 |
| 150 XL | 75 | 15,00 | 381,00 |
| 160 XL | 80 | 16,00 | 406,40 |
| 170 XL | 85 | 17,00 | 431,80 |
| 180 XL | 90 | 18,00 | 457,20 |
| 190 XL | 95 | 19,00 | 482,60 |
| 200 XL | 100 | 20,00 | 508,00 |
| 210 XL | 105 | 21,00 | 533,40 |
| 220 XL | 110 | 22,00 | 558,80 |
| 230 XL | 115 | 23,00 | 584,20 |
| 240 XL | 120 | 24,00 | 609,60 |
| 250 XL | 125 | 25,00 | 635,00 |
| 260 XL | 130 | 26,00 | 660,40 |
| 270 XL | 135 | 27,00 | 685,80 |
| 280 XL | 140 | 28,00 | 711,20 |
| 290 XL | 145 | 29,00 | 736,60 |
| 300 XL | 150 | 30,00 | 762,00 |
| 316 XL | 158 | 31,60 | 802,64 |
| 330 XL | 165 | 33,00 | 838,20 |
| 344 XL | 172 | 34,40 | 873,76 |
| 380 XL | 190 | 38,00 | 965,20 |

L Teilung 3/8" (9,525 mm)

Werkstoff: Neopren

| code | Zähnezahl | Nennlänge Zoll | Nennlänge mm |
|-------|-----------|-------------------|-----------------|
| 124 L | 33 | 12,37 | 314,33 |
| 150 L | 40 | 15,00 | 381,00 |
| 187 L | 50 | 18,75 | 476,25 |
| 210 L | 56 | 21,00 | 533,40 |
| 225 L | 60 | 22,50 | 571,50 |
| 240 L | 64 | 24,00 | 609,60 |
| 255 L | 68 | 25,50 | 647,70 |
| 270 L | 72 | 27,00 | 685,80 |
| 285 L | 76 | 28,50 | 723,90 |
| 300 L | 80 | 30,00 | 762,00 |
| 322 L | 86 | 32,25 | 819,15 |
| 345 L | 92 | 34,50 | 876,20 |
| 367 L | 98 | 36,75 | 933,45 |
| 390 L | 104 | 39,00 | 990,60 |
| 420 L | 112 | 42,00 | 1066,80 |
| 450 L | 120 | 45,00 | 1143,00 |
| 480 L | 128 | 48,00 | 1219,20 |
| 510 L | 136 | 51,00 | 1295,40 |
| 540 L | 144 | 54,00 | 1371,60 |
| 600 L | 160 | 60,00 | 1524,00 |

| code | Riemenbreite | |
|--------|--------------|------|
| | Zoll | mm |
| XL 025 | 1/4" | 6,35 |
| XL 031 | 5/16" | 7,94 |
| XL 037 | 3/8" | 9,52 |

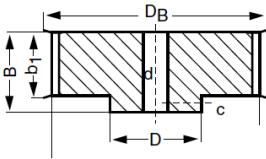
| code | Riemenbreite | |
|-------|--------------|-------|
| | Zoll | mm |
| L 050 | 1/2" | 12,70 |
| L 075 | 3/4" | 19,05 |
| L 100 | 1" | 25,40 |

15 Zahnriemenscheiben

Material: Aluminium mit beidseitigen Deckscheiben. Zahnteilung

5,08 mm/0,2 Zoll (1/5). Abmessungen in mm. Die Zahnriemenscheiben mit den Größen 40 Z, 52 Z und 60 Z werden ohne Boardscheiben geliefert !

15



| Best.-Nr. | Zähnezahl | DB | d | D | B | b1 |
|-------------|-----------|----|----|-----|----|----|
| 22 61 06-04 | 10 | 24 | 6 | 9,5 | 20 | 14 |
| 22 60 17-04 | 15 | 28 | 6 | 16 | 20 | 14 |
| 22 60 33-04 | 20 | 38 | 8 | 24 | 22 | 14 |
| 22 60 25-04 | 25 | 45 | 8 | 27 | 22 | 14 |
| 22 60 41-04 | 30 | 54 | 8 | 35 | 22 | 14 |
| 22 60 42-04 | 35 | 57 | 8 | 38 | 25 | 14 |
| 22 60 43-04 | 40 | 65 | 8 | 45 | 25 | 14 |
| 22 60 44-04 | 52 | 84 | 10 | 45 | 25 | 14 |
| 22 60 45-04 | 60 | 97 | 10 | 45 | 25 | 14 |

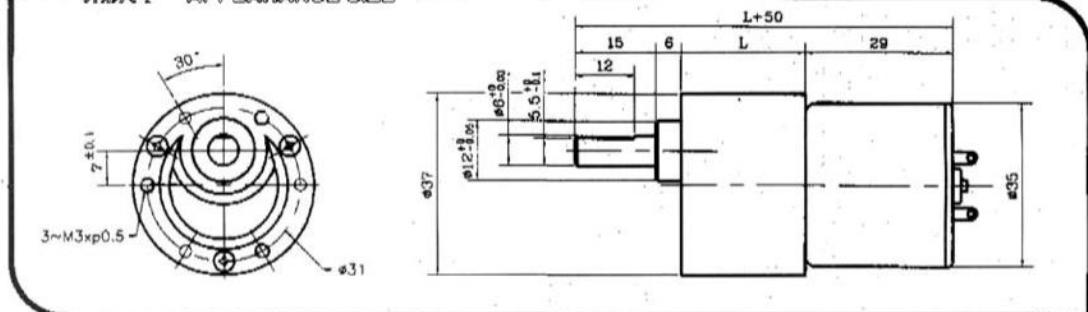
正齒輪 (Spur gear)

RB-35C
GEARED MOTOR
SERIESRB-35GM
01 TYPE

| REDUCTION RATIO | L | REDUCTION RATIO | L |
|-----------------|------|-----------------|------|
| 1/6~1/10 | 19.5 | 1/120~1/300 | 27 |
| 1/18~1/30 | 22 | 1/360~1/1000 | 29.5 |
| 1/36~1/100 | 24.5 | 1/1500~1/3000 | 32 |



外觀尺寸 APPEARANCE SIZE



GEARED MOTOR TORQUE/SPEED

| 減速比 Reduction ratio | 1/10 | 1/18 | 1/30 | 1/50 | 1/60 | 1/75 | 1/90 | 1/100 | 1/120 | 1/150 | 1/180 | 1/200 | 1/250 | 1/300 | 1/500 | 1/600 | 1/750 | 1/1000 | 1/1500 | 1/3000 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 定格扭力(kg·cm) Rated torque | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 1.4 | 1.7 | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 3.1 | 3.7 | 4.1 | 5.2 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 定格回轉數(rpm) Rated speed | 518 | 292 | 174 | 104 | 86 | 70 | 68 | 52 | 44 | 33 | 29 | 26 | 21 | 17 | 11 | 9.0 | 7.6 | 5.7 | 3.8 | 2.0 |
| 定格電流(mA) Rated current | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤250 | ≤200 | ≤200 | ≤200 | ≤130 | ≤130 | ≤130 | ≤130 | ≤130 |
| 無負荷回轉數(rpm) No load speed | 800 | 333 | 200 | 120 | 100 | 80 | 67 | 50 | 40 | 33 | 30 | 24 | 20 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | — |
| 無負荷電流(mA) No load current | ≤150 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

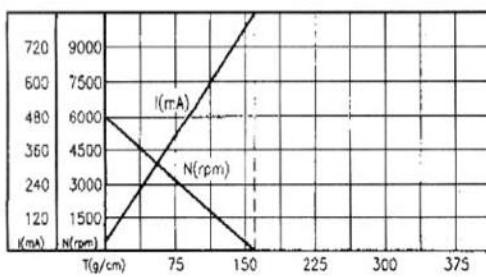
馬達單體型式

MOTOR INSTALLATION

| 定格電壓 Rated volt (V) | 定格扭力 Rated torque (kg·cm) | 定格回轉數 Rated speed (rpm) | 定格電流 Rated current (mA) | 無負荷回轉數 No load speed (rpm) | 無負荷電流 No load current (mA) | 定格出力 Rated output (W) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 12 | 35 | 4650 | ≤210 | 6000 | ≤80 | 2.2 |

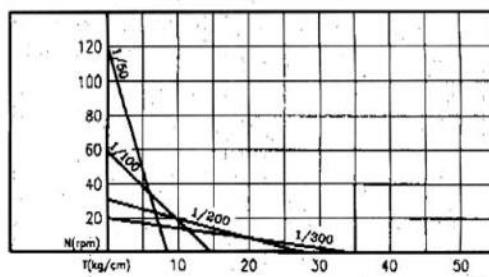
馬達單體特性圖

MOTOR CHARACTERISTICS



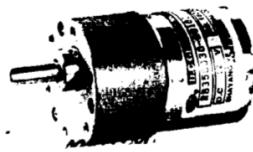
齒輪箱馬達特性圖

GEARED MOTOR CHARACTERISTICS



RB-35 Getriebemotor

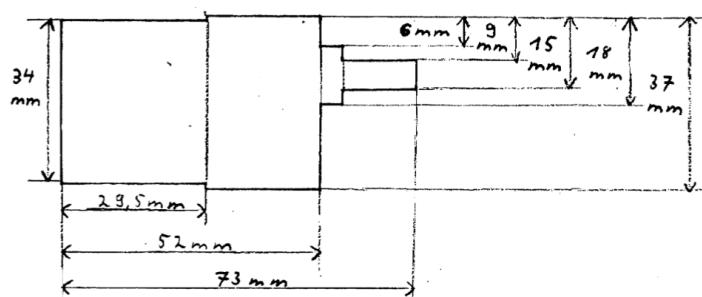
Hervorragend verarbeitet, hohe Widerstandsfähig, leise, klein und dennoch mit hohem Wirkungsgrad. Die Ein- und Ausgangswellen sind versetzt.



Technische Daten: Nenn- /Arbeitsspannung 12 V, Motoren-Ø 34 mm, Gebiete-Ø 37 mm Welle-Ø 6 mm.

| Best.-Nr. | Untersetz | Leerlauf-drehzahl | Leistungs-aufnahme | max. Dreh-moment | Länge o. | Länge mit |
|-----------|-----------|-------------------|--------------------|-------------------------|----------|-----------|
| 227544-4B | 1 : 30 | 200 UpM | 1,25 W | 60 Ncm (6 kg x cm) | 52 mm | 73 mm |
| 227552-4B | 1 : 50 | 120 UpM | 1,22 W | 90 Ncm (9 kg x cm) | 55 mm | 75 mm |
| 227560-4B | 1 : 100 | 59 UpM | 1,23 W | 180 Ncm (18 kg x cm) | 54 mm | 76 mm |
| 227579-4B | 1 : 200 | 31 UpM | 1,10 W | 180 Ncm (18 kg x cm) | 57 mm | 78 mm |

22 75 44



12/31/22, 10:38 AM

EDF Ducted Fan Freewing 90mm + 6s Motor 1450Kv - TURBINES RC



Home > EDF Ducted Fan > EDF by brand > Freewing > EDF Ducted Fan Freewing 90mm + 6s Motor 1450Kv



EDF Ducted Fan Freewing 90mm + 6s Motor 1450Kv

Reference: FW-FWE721 Condition: New product Brand: Freewing

Combo 90mm / 12 pales / 1450Kv (outrunner) / 6S / 413g
-> 6S (22.2V) : 87A / 3.0kg (approx) / 1930W

This product is no longer in stock

your@email.com

Notify me when available

By buying this product you can collect up to 132 points . Your cart will total 132 points that can be converted into a voucher of 2,64 € .

132,50 €

<https://www.turbines-rc.com/en/freewing/1650-edf-ducted-fan-freewing-90mm-6s-motor-1450kv.html>

1/4

12/31/22, 10:38 AM

EDF Ducted Fan Freewing 90mm + 6s Motor 1450Kv - TURBINES RC



DATA SHEET

| | |
|--|----------------------------------|
| Length (mm): | 90.5 mm |
| Weight (gr): | 413 gr |
| EDF thrust (categorization) | 2-3kg, 3-4kg |
| Direction of Rotation (EDF Rotor) | Classic Counter Clock Wize (CCW) |
| EDF Diameter Class (mm): | 90 |
| EDF Outside Diameter (mm): | 93 mm |
| Rotor Diameter (mm): | 90 mm |
| Blades: | 12 |
| Stators: | 8 |
| Turbine shroud | Metal |
| EDF Rotor | Synthetic |
| Turns/min/Volt (Kv): | 1450 Kv |
| Motor Type: | Out-Runner |

<https://www.turbines-rc.com/en/freewing/1650-edf-ducted-fan-freewing-90mm-6s-motor-1450kv.html>

2/4

12/31/22, 10:38 AM

EDF Ducted Fan Freewing 90mm + 6s Motor 1450Kv - TURBINES RC

| | |
|-----------------------------|------------|
| Motor Diameter (mm): | 37 mm |
| Battery Cells: | 6s - 22.2v |
| Connection: | PK 4mm |

MORE INFO**EDF Ducted Fan Freewing 90mm + 6s Motor
1450Kv**

Can be for instance used with the Freewing Stinger 90mm EDF Jet. The motor and fan unit comes assembled and balanced from the factory.

Measures

| | |
|--------------------|------------|
| Description / LiPo | 6s (22.2v) |
| Thrust: | 3.0 kg |
| Current: | 87 A |
| Power: | 1930 W |
| Recommended ESC: | 110 A / LV |

Min recommended battery: 3500mAh 40C

About the above measures : they have been read on the test bench with the intake lip on the unit. The measures have been made using a bench stabilized power source. Results may change depending upon your equipment and situation. The controller should be chosen 20% over rated due to the long lasting load.

LV = low voltage controller up to 6s, HV = high voltage controller above 6s.
Battery should be chosen about 15/ - 1/20 of the max current for 4-3 minutes WOT. 30-40 C is appropriate.

Operating the motor outside of the specifications listed above can either damage the motor, battery or esc. It is important that these components are set up properly. Failure to do so can void the warranty. It is strongly encouraged to use a Watt Meter to test the watt and amp performance when setting up a new system. If the output is above the factory recommended specs, then it needs to be adjusted by the esc. The timing and pulse settings on the esc can help to set the appropriate levels.

12/31/22, 10:38 AM

EDF Ducted Fan Freewing 90mm + 6s Motor 1450Kv - TURBINES RC

Specifications

- Rotor Blade Material: Nylon Composite with injected fiber
- Outer Diameter: 93mm
- Length: 90.5mm
- Weight: 413g
- Rotor: 90mm 12 Blade Normal
- Spinner: Aluminium Spinner
- Motor: 3748 1450Kv Outrunner motor (Installed)
- Working Voltage: 6s 22.2v
- Static Thrust: Around 3.0kg (87A)
- Connections: Banana / PK 4mm (in place)

Content

- 1x EDF Ducted Fan Freewing 90mm + 6s Motor 1450Kv

REVIEWS

No customer reviews for the moment.

CONTACT US

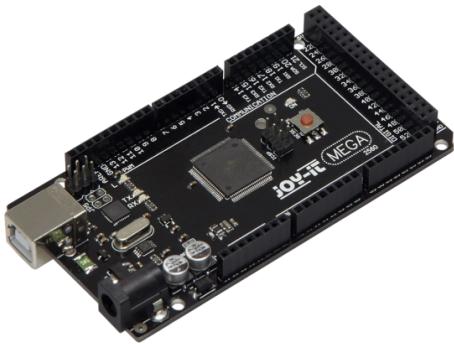
Turbines RC, 5 rue Jean Carbon 52400 Bourbonne les Bains France
Tel +33 (0)3 10 37 02 01





ARD-MEGA2560R3

Joy-IT Mega2560R3 - Mega2560R3 Board (Arduino-kompatibel)



HAUPTMERKMALE

| | |
|-------------------|-----------------|
| Mikrocontroller | ATmega2560 |
| Digitale Pins | 54 (14 mit PWM) |
| Analoge Pins | 16 |
| Eingangs Spannung | 7 - 12 V |

WEITERE BESONDERHEITEN

| | |
|--------------|------------------------------|
| Speicher | 256 kB (8 kB für Bootloader) |
| SRAM | 8 kB |
| EEPROM | 4 kB |
| Taktfrequenz | 16MHz |

WEITERE DETAILS

| | |
|---------------------|---|
| Abmessungen (T x B) | 101 x 53 mm |
| Lieferumfang | ATmega2560 Entwicklungsboard, USB-Kable |
| Gewicht | 62 g |
| Artikelnummer | ARD-Mega2560R3 |
| EAN | 4250236812366 |
| Zolltarif Nummer | 8473302000 |

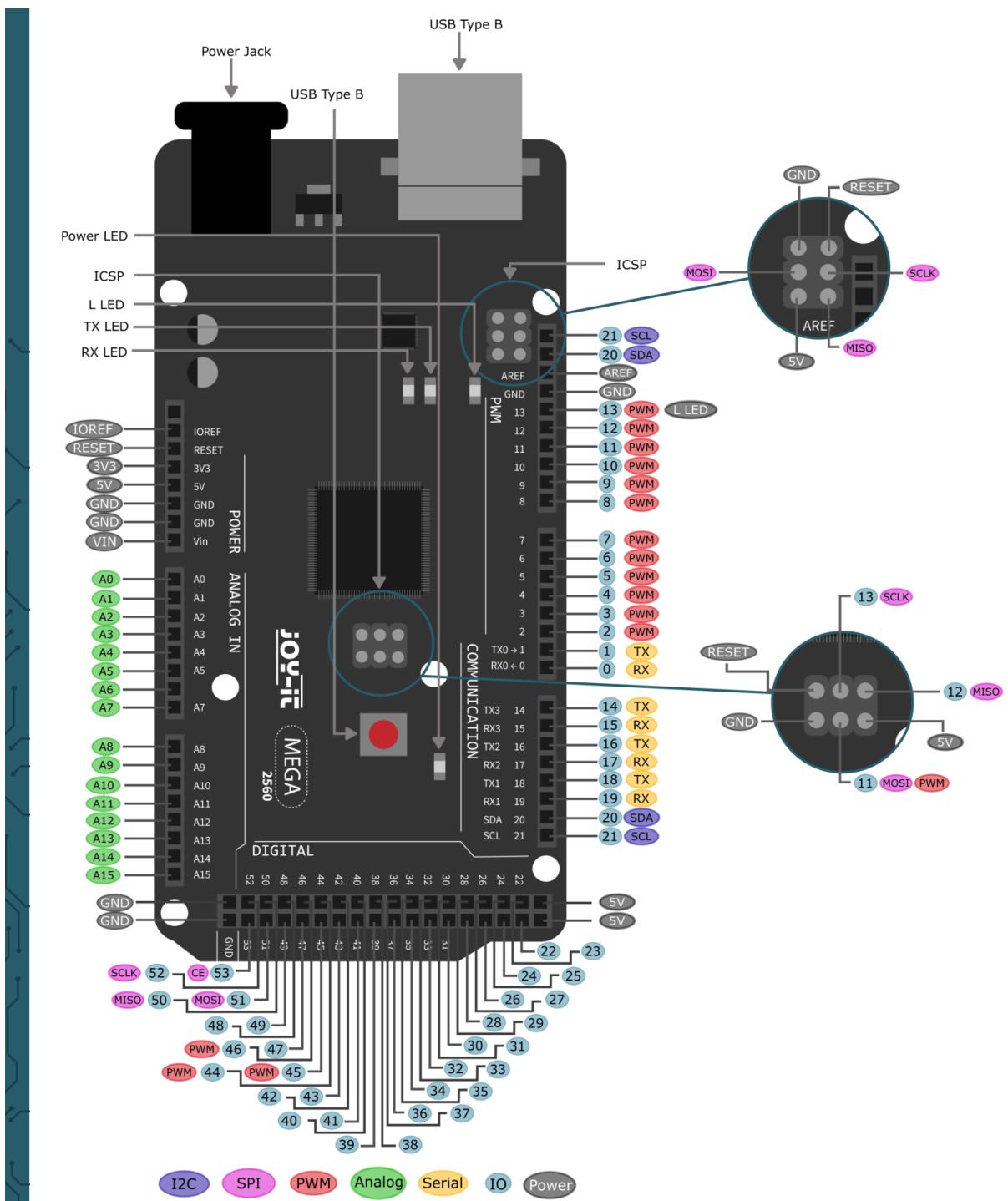
Das Mega Board ist das richtige Mikrocontroller-Board für alle, die schnell und einfach in die Welt der Programmierung einsteigen wollen.

Sein ATmega2560 Mikrocontroller bietet Ihnen genügend Leistung für Ihre Ideen und Projekte. Es misst 101,52 mm x 53,3 mm und hat mit 54 digitalen Ein- und Ausgängen und 16 analogen Eingängen viele Anschlussmöglichkeiten.

Das Mega2560 Board hat einen USB Typ B Anschluss, so dass Sie es schnell und einfach mit der bekannten Arduino IDE Programmierumgebung programmieren können.

Der Joy-IT Mega2560 mit den Stecksystemen und Schaltungen kann sowohl über den USB-Anschluss als auch alternativ über einen eigenen Stromanschluss mit Strom versorgt werden.

HINWEIS: Das MEGA2560 Board ist ein Arduino-kompatibler Mikrocontroller mit Original-Chip, aber kein Original-Arduino -Produkt!



Published: 08.09.2022

Technical Data Sheet



Product name: ReForm™ - rPET

Date of issue: 2 May 2017

Version: v1

ReForm is a sustainable initiative within Formfutura to efficiently manage residual extrusion waste streams and re-use them into high-end upcycled filaments. The ideology behind ReForm is to make 3D printing more sustainable – without having to make compromises on material properties – and yet keep it affordable.

ReForm rPET is based on exactly the same unique formulation as our HDglass filament range, but is made out of residual extrusion waste streams which are re-compounded and homogenized into a high-end and easy to print upcycled PETG-based filament with significantly less environmental impact.

| Properties | Typical value | Test Method | Test condition |
|------------------------|----------------|-------------|------------------------------|
| Physical | | | |
| Specific gravity | 1.27 g/cc | ASTM D792 | - |
| Melt flow rate | - | - | - |
| Water absorption | - | - | - |
| Moisture absorption | 0.13% | ASTM D570 | - |
| Mechanical | | | |
| Impact strength | 7.2 KJ/m² | ASTM D256 | Izod Notched @23° C (73° F) |
| Tensile strength | 50Mpa | ASTM D638 | @Yield 50mm/min (2 inch/min) |
| Tensile modulus | 1940 Mpa | ISO 527 | 1mm/min |
| Elongation at break | 120% | ASTM D638 | 50mm/min (2 inch/min) |
| Flexural strength | 70.6 Mpa | ASTM D790 | 1.27mm/min (0.05 inch/min) |
| Flexural modulus | 2147.6 Mpa | ASTM D790 | 1.27mm/min (0.05 inch/min) |
| Hardness | 105 | ASTM D785 | Rockwell R-scale |
| Thermal | | | |
| Print temperature | ± 195 - 225° C | - | - |
| Melting temperature | - | - | - |
| Viscat softening temp. | ± 70° C | ASTM D648 | @ 0.455 Mpa (66psi) |
| Optical | | | |
| Haze | <1.0% | ASTM D1003 | - |
| Transmittance | 90% | ASTM D1003 | - |
| Gloss | - | - | - |

| Product details, certifications and compliance | Diameter | Tolerance | Roundness |
|--|----------|-----------|-----------|
| HS Code 39169090 | 1.75mm | ± 0.05mm | ≥ 95% |
| REACH compliant Yes | 2.85mm | ± 0.10mm | ≥ 95% |
| RoHS certified Yes | | | |
| FDA compliant Yes | | | |

| | | |
|---|---|--|
| Formfutura VOF Groenestraat 215 6531 HH Nijmegen The Netherlands | CoC: 55502105 VAT: NL851741083B01 EORI: NL851741083 | Tel: +31 (0)85 002 0881 Email: info@formfutura.com Website: www.formfutura.com |
|---|---|--|

All information supplied by or on behalf of Formfutura in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but Formfutura assumes no liability and makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, those of title, merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement or any warranty arising from a course of dealing, usage, or trade practice whatsoever in respect of application, processing or use made of the aforementioned information or product. The user assumes all responsibility for the use of all information provided and shall verify quality and other properties or any consequence from the use of all such information. Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications.

µA741 General-Purpose Operational Amplifiers

1 Features

- Short-Circuit Protection
- Offset-Voltage Null Capability
- Large Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- No Frequency Compensation Required
- No Latch-Up

2 Applications

- DVD Recorders and Players
- Pro Audio Mixers

3 Description

The µA741 device is a general-purpose operational amplifier featuring offset-voltage null capability.

The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifier ideal for voltage-follower applications. The device is short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low-value potentiometer may be connected between the offset null inputs to null out the offset voltage as shown in [Figure 12](#).

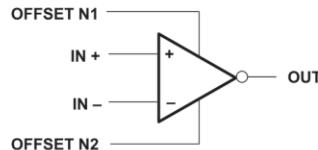
The µA741C device is characterized for operation from 0°C to 70°C.

Device Information⁽¹⁾

| PART NUMBER | PACKAGE | BODY SIZE (NOM) |
|-------------|----------|-------------------|
| µA741CD | SOIC (8) | 4.90 mm × 3.91 mm |
| µA741CP | PDIP (8) | 9.81 mm × 6.35 mm |
| µA741CPS | SO (8) | 6.20 mm × 5.30 mm |

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Simplified Schematic



⚠ An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

uA741

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018



www.ti.com

Table of Contents

| | |
|--|-----------|
| 1 Features | 1 |
| 2 Applications | 1 |
| 3 Description | 1 |
| 4 Revision History | 2 |
| 5 Pin Configurations and Functions | 4 |
| 6 Specifications | 5 |
| 6.1 Absolute Maximum Ratings | 5 |
| 6.2 Recommended Operating Conditions | 5 |
| 6.3 Thermal Information | 5 |
| 6.4 Electrical Characteristics: uA741C | 6 |
| 6.5 Electrical Characteristics: uA741Y | 7 |
| 6.6 Switching Characteristics: uA741C | 7 |
| 6.7 Switching Characteristics: uA741Y | 7 |
| 6.8 Typical Characteristics | 8 |
| 7 Detailed Description | 10 |
| 7.1 Overview | 10 |
| 7.2 Functional Block Diagram | 10 |
| 7.3 Feature Description | 10 |
| 7.4 Device Functional Modes | 11 |
| 7.5 uA741Y Chip Information | 11 |
| 8 Application and Implementation | 12 |
| 8.1 Application Information | 12 |
| 8.2 Typical Application | 12 |
| 9 Power Supply Recommendations | 14 |
| 10 Layout | 14 |
| 10.1 Layout Guidelines | 14 |
| 10.2 Layout Example | 14 |
| 11 Device and Documentation Support | 16 |
| 11.1 Receiving Notification of Documentation Updates | 16 |
| 11.2 Trademarks | 16 |
| 11.3 Electrostatic Discharge Caution | 16 |
| 11.4 Glossary | 16 |
| 12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information | 16 |

4 Revision History

Changes from Revision F (May 2017) to Revision G

| | Page |
|---|------|
| • Changed supply voltage unit from "°C" to "V" in <i>Absolute Maximum Ratings</i> table | 5 |

Changes from Revision E (January 2015) to Revision F

| | Page |
|--|------|
| • Updated data sheet text to the latest documentation and translation standards | 1 |
| • Deleted text regarding uA741M device (obsolete package) from <i>Description</i> section | 1 |
| • Added uA741CD, uA741CP, and uA741CPS devices to <i>Device Information</i> table | 1 |
| • Deleted uA741x device from <i>Device Information</i> table | 1 |
| • Updated pinout diagrams and <i>Pin Functions</i> tables in the <i>Pin Configurations and Functions</i> section | 4 |
| • Deleted uA741M pinout drawings information from <i>Pin Configurations and Functions</i> section | 4 |
| • Deleted Electrical Characteristics: uA741M table from <i>Specifications</i> section | 5 |
| • Added operating junction temperature (T_J) and values to <i>Absolute Maximum Ratings</i> table | 5 |
| • Deleted text regarding uA741M from <i>Absolute Maximum Ratings</i> table | 5 |
| • Deleted text regarding uA741M device from <i>Recommended Operating Conditions</i> table | 5 |
| • Deleted <i>Dissipation Ratings</i> table | 5 |
| • Added <i>Thermal Information</i> table and values | 5 |
| • Deleted uA741M in <i>Switching Characteristics</i> table | 7 |
| • Correct typo in Figure 1 | 8 |
| • Deleted text regarding uA741M device from <i>Detailed Description</i> section | 10 |
| • Updated text in <i>Overview</i> section | 10 |
| • Added 2017 copyright to <i>Functional Block Diagram</i> | 10 |
| • Added caption to Figure 11 in <i>Device Functional Modes</i> section | 11 |
| • Changed pins 1 and 5 from "NC" to "Offset N1" and "Offset N2" in Figure 18 | 15 |

www.ti.com

uA741

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018

Changes from Revision D (February 2014) to Revision E**Page**

- | | |
|---|---|
| • Added <i>Applications</i> , <i>Device Information</i> table, <i>Pin Functions</i> table, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Thermal Information</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section. | 1 |
| • Moved <i>Typical Characteristics</i> into <i>Specifications</i> section. | 8 |

Changes from Revision C (January 2014) to Revision D**Page**

- | | |
|---|---|
| • Fixed <i>Typical Characteristics</i> graphs to remove extra lines. | 8 |
|---|---|

Changes from Revision B (September 2000) to Revision C**Page**

- | | |
|---|---|
| • Updated document to new TI data sheet format - no specification changes. | 1 |
| • Deleted <i>Ordering Information</i> table. | 1 |



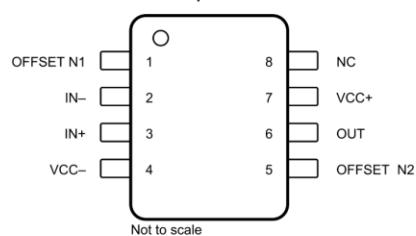
www.ti.com

uA741

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018

5 Pin Configurations and Functions

uA741C D, P, or PS Package
8-Pin SOIC, PDIP, SO
Top View



NC- no internal connection

Pin Functions

| PIN | | I/O | DESCRIPTION |
|-----------|-----|-----|--|
| NAME | NO. | | |
| IN+ | 3 | I | Noninverting input |
| IN- | 2 | I | Inverting input |
| NC | 8 | — | No internal connection |
| OFFSET N1 | 1 | I | External input offset voltage adjustment |
| OFFSET N2 | 5 | I | External input offset voltage adjustment |
| OUT | 6 | O | Output |
| VCC+ | 7 | — | Positive supply |
| VCC- | 4 | — | Negative supply |



www.ti.com

uA741

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

| | | MIN | MAX | UNIT |
|---|---------------------|--------------------------------|-----|------|
| Supply voltage, $V_{CC}^{(2)}$ | μA741C | -18 | 18 | V |
| Differential input voltage, $V_{ID}^{(3)}$ | μA741C | -15 | 15 | V |
| Input voltage, V_I (any input) ⁽²⁾⁽⁴⁾ | μA741C | -15 | 15 | V |
| Voltage between offset null (either OFFSET N1 or OFFSET N2) and V_{CC-} | μA741C | -15 | 15 | V |
| Duration of output short circuit ⁽⁵⁾ | | Unlimited | | |
| Continuous total power dissipation | | See <i>Thermal Information</i> | | |
| Case temperature for 60 seconds | μA741C | N/A | N/A | °C |
| Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds | μA741C | N/A | N/A | °C |
| Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds | D, P, or PS package | μA741C | 260 | °C |
| Operating junction temperature, T_J | | | 150 | °C |
| Storage temperature range, T_{stg} | μA741C | -65 | 150 | °C |

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .

(3) Differential voltages are at IN+ with respect to IN-.

(4) The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.

(5) The output may be shorted to ground or either power supply.

6.2 Recommended Operating Conditions

| | | MIN | MAX | UNIT |
|-----------|--------------------------------|--------|-----|-------|
| V_{CC+} | Supply voltage | 5 | 15 | V |
| V_{CC-} | | -5 | -15 | |
| T_A | Operating free-air temperature | μA741C | 0 | 70 °C |

6.3 Thermal Information

| THERMAL METRIC ⁽¹⁾ | $\mu A741$ | | | UNIT |
|-------------------------------|--|----------|---------|-----------|
| | D (SOIC) | P (PDIP) | PS (SO) | |
| | 8 PINS | 8 PINS | 8 PINS | |
| R_{IJA} | Junction-to-ambient thermal resistance | 129.2 | 87.4 | °C/W |
| $R_{IJC(\text{top})}$ | Junction-to-case (top) thermal resistance | 73.6 | 89.3 | °C/W |
| R_{IJB} | Junction-to-board thermal resistance | 72.4 | 64.4 | °C/W |
| ψ_{JT} | Junction-to-top characterization parameter | 25.9 | 49.8 | 27.2 °C/W |
| ψ_{JB} | Junction-to-board characterization parameter | 71.7 | 64.1 | 69 °C/W |

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report.

**uA741**

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018

www.ti.com

6.4 Electrical Characteristics: μ A741C

at specified virtual junction temperature, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V (unless otherwise noted)

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS ⁽¹⁾ | | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|-----------------------------|--|----------------------------------|------------|-----|----------|----------|------|
| V_{IO} | Input offset voltage | $V_O = 0$ | 25°C | | 1 | 6 | mV |
| | | | Full range | | | 7.5 | |
| $\Delta V_{IO(\text{adj})}$ | Offset voltage adjust range | $V_O = 0$ | 25°C | | ± 15 | | mV |
| | | | 25°C | | 20 | 200 | |
| I_{IO} | Input offset current | $V_O = 0$ | Full range | | 300 | | nA |
| | | | 25°C | | 80 | 500 | |
| I_B | Input bias current | $V_O = 0$ | 25°C | | | 800 | nA |
| | | | Full range | | | | |
| V_{ICR} | Common-mode input voltage range | | 25°C | | ± 12 | ± 13 | V |
| | | | Full range | | ± 12 | | |
| V_{OM} | Maximum peak output voltage swing | $R_L = 10$ kΩ | 25°C | | ± 12 | ± 14 | V |
| | | $R_L \geq 10$ kΩ | Full range | | ± 12 | | |
| | | $R_L = 2$ kΩ | 25°C | | ± 10 | | |
| | | $R_L \geq 2$ kΩ | Full range | | ± 10 | | |
| A_{VD} | Large-signal differential voltage amplification | $R_L \geq 2$ kΩ | 25°C | 20 | 200 | | V/mV |
| | | $V_O = \pm 10$ V | Full range | | 15 | | |
| r_i | Input resistance | 25°C | | 0.3 | 2 | | MΩ |
| r_o | Output resistance | $V_O = 0$; see ⁽²⁾ | 25°C | | 75 | | Ω |
| C_i | Input capacitance | 25°C | | | 1.4 | | pF |
| CMRR | Common-mode rejection ratio | $V_{IC} = V_{ICR\min}$ | 25°C | 70 | 90 | | dB |
| | | | Full range | 70 | | | |
| k_{SVS} | Supply voltage sensitivity ($\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$) | $V_{CC} = \pm 9$ V to ± 15 V | 25°C | | 30 | 150 | μV/V |
| | | | Full range | | | 150 | |
| I_{OS} | Short-circuit output current | 25°C | | | ± 25 | ± 40 | mA |
| I_{CC} | Supply current | $V_O = 0$; no load | 25°C | | 1.7 | 2.8 | mA |
| | | | Full range | | | 3.3 | |
| P_D | Total power dissipation | $V_O = 0$; no load | 25°C | | 50 | 85 | mW |
| | | | Full range | | | 100 | |

- (1) All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified.
Full range for the μ A741C is 0°C to 70°C.

- (2) This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.



uA741

www.ti.com

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018

6.5 Electrical Characteristics: μA741Y

at specified virtual junction temperature, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)⁽¹⁾

| PARAMETER | TEST CONDITIONS ⁽²⁾ | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|-----------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|------|
| V_{IO} | $V_O = 0$ | | 1 | 5 | mV |
| $\Delta V_{IO(\text{adj})}$ | $V_O = 0$ | | ± 15 | | mV |
| I_{IO} | $V_O = 0$ | | 20 | 200 | nA |
| I_{IB} | $V_O = 0$ | | 80 | 500 | nA |
| V_{ICR} | Common-mode input voltage range | | ± 12 | ± 13 | V |
| V_{OM} | $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ | ± 12 | ± 14 | | V |
| | $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ | ± 10 | ± 13 | | |
| A_{VD} | $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ | 20 | 200 | | V/mV |
| r_i | Input resistance | 0.3 | 2 | | MΩ |
| r_o | $V_O = 0$; see ⁽¹⁾ | | 75 | | Ω |
| C_i | | | 1.4 | | pF |
| CMRR | $V_{IC} = V_{ICR\min}$ | 70 | 90 | | dB |
| K_{SVS} | $V_{CC} = \pm 9$ V to ± 15 V | | 30 | 150 | µV/V |
| I_{OS} | Short-circuit output current | | ± 25 | ± 40 | mA |
| I_{CC} | $V_O = 0$; no load | | 1.7 | 2.8 | mA |
| P_D | $V_O = 0$; no load | 50 | 85 | | mW |

(1) This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

(2) All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified.

6.6 Switching Characteristics: μA741C

over operating free-air temperature range, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|------------------|---|-----|-----|-----|------|
| t_r | $V_I = 20 \text{ mV}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ | | 0.3 | | µs |
| Overshoot factor | $C_L = 100 \text{ pF}$; see Figure 1 | | 5% | | |
| SR | $V_I = 10 \text{ V}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ $C_L = 100 \text{ pF}$; see Figure 1 | | 0.5 | | V/µs |

6.7 Switching Characteristics: μA741Y

over operating free-air temperature range, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|------------------|--|-----|-----|-----|------|
| t_r | $V_I = 20 \text{ mV}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ $C_L = 100 \text{ pF}$; see Figure 1 | | 0.3 | | µs |
| Overshoot factor | | | 5% | | |
| SR | $V_I = 10 \text{ V}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ $C_L = 100 \text{ pF}$; see Figure 1 | | 0.5 | | V/µs |

uA741

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018



www.ti.com

6.8 Typical Characteristics

Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.

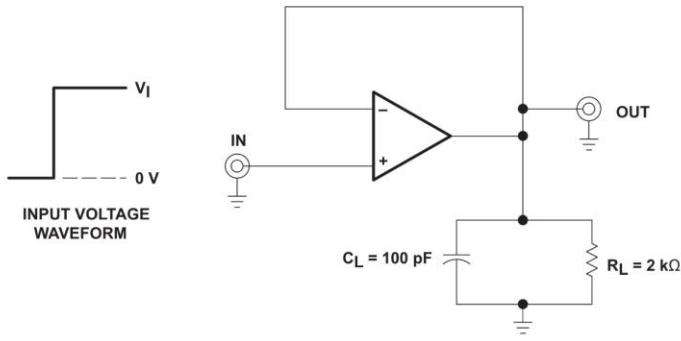


Figure 1. Rise Time, Overshoot, and Slew Rate

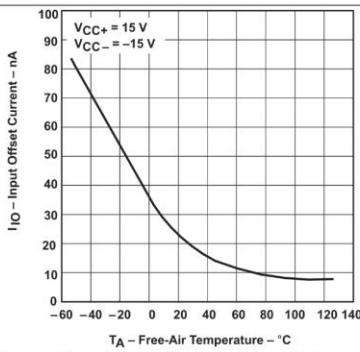


Figure 2. Input Offset Current vs Free-Air Temperature

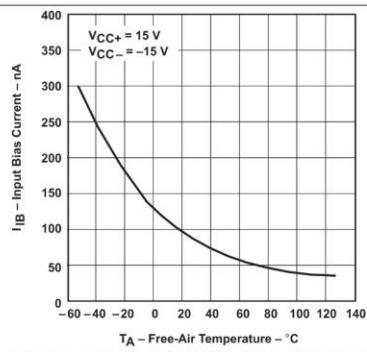


Figure 3. Input Bias Current vs Free-Air Temperature

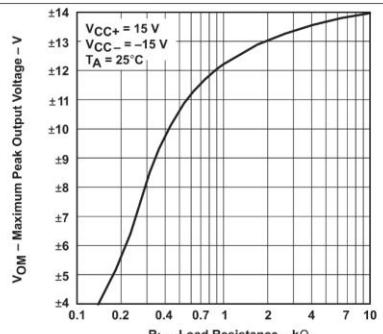


Figure 4. Maximum Output Voltage vs Load Resistance

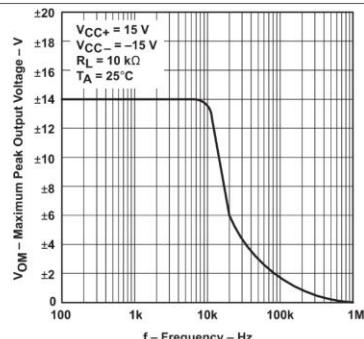


Figure 5. Maximum Peak Output Voltage vs Frequency



uA741

www.ti.com

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018

Typical Characteristics (continued)

Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.

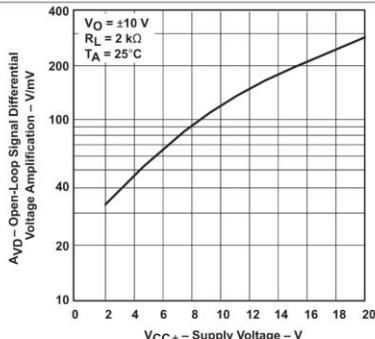


Figure 6. Open-Loop Signal Differential Voltage Amplification vs Supply Voltage

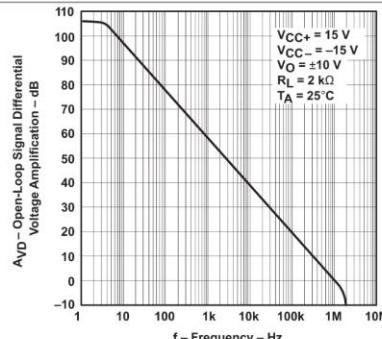


Figure 7. Open-Loop Large-Signal Differential Voltage Amplification vs Frequency

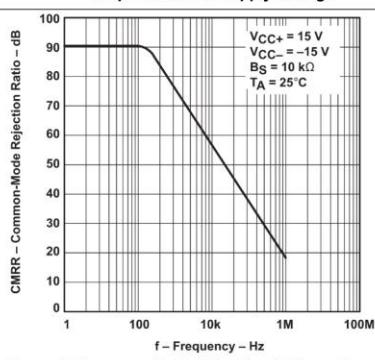


Figure 8. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

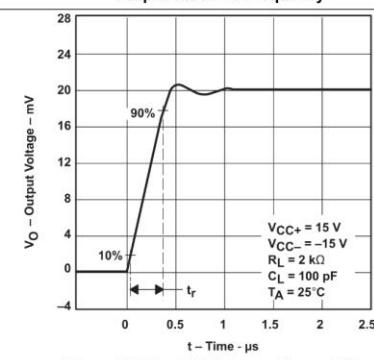


Figure 9. Output Voltage vs Elapsed Time

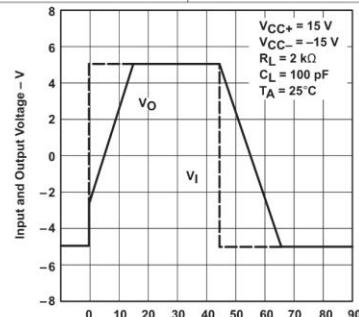


Figure 10. Voltage-Follower Large-Signal Pulse Response

uA741
SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018



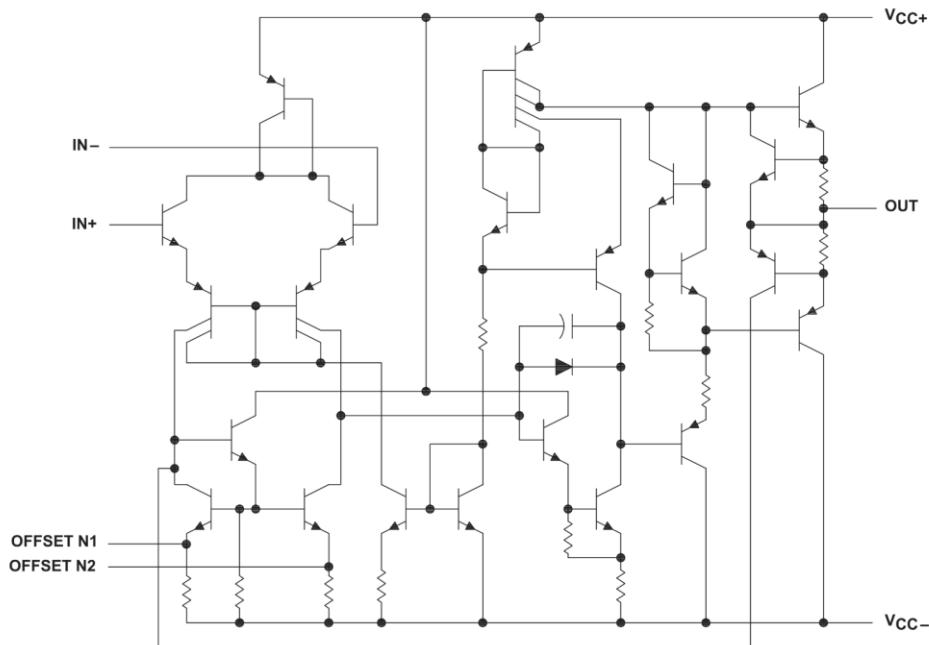
www.ti.com

7 Detailed Description

7.1 Overview

The μA741 has been a popular operational amplifier for over four decades. Typical open loop gain is 106 dB while driving a 2000- Ω load. Short circuit tolerance, offset voltage trimming, and unity-gain stability makes the μA741 useful for many applications.

7.2 Functional Block Diagram



| Component Count | |
|-----------------|----|
| Transistors | 22 |
| Resistors | 11 |
| Diode | 1 |
| Capacitor | 1 |

Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

7.3 Feature Description

7.3.1 Offset-Voltage Null Capability

The input offset voltage of operational amplifiers (op amps) arises from unavoidable mismatches in the differential input stage of the op-amp circuit caused by mismatched transistor pairs, collector currents, current-gain betas (β), collector or emitter resistors and so forth. The input offset pins allow the designer to adjust for mismatches caused by external circuitry. See [Application and Implementation](#) for more details on design techniques.