

# EcoDrop3



**Ausbildungsübergreifende Projektarbeit 2025/2026**

## **Schlussbericht EcoDrop3**

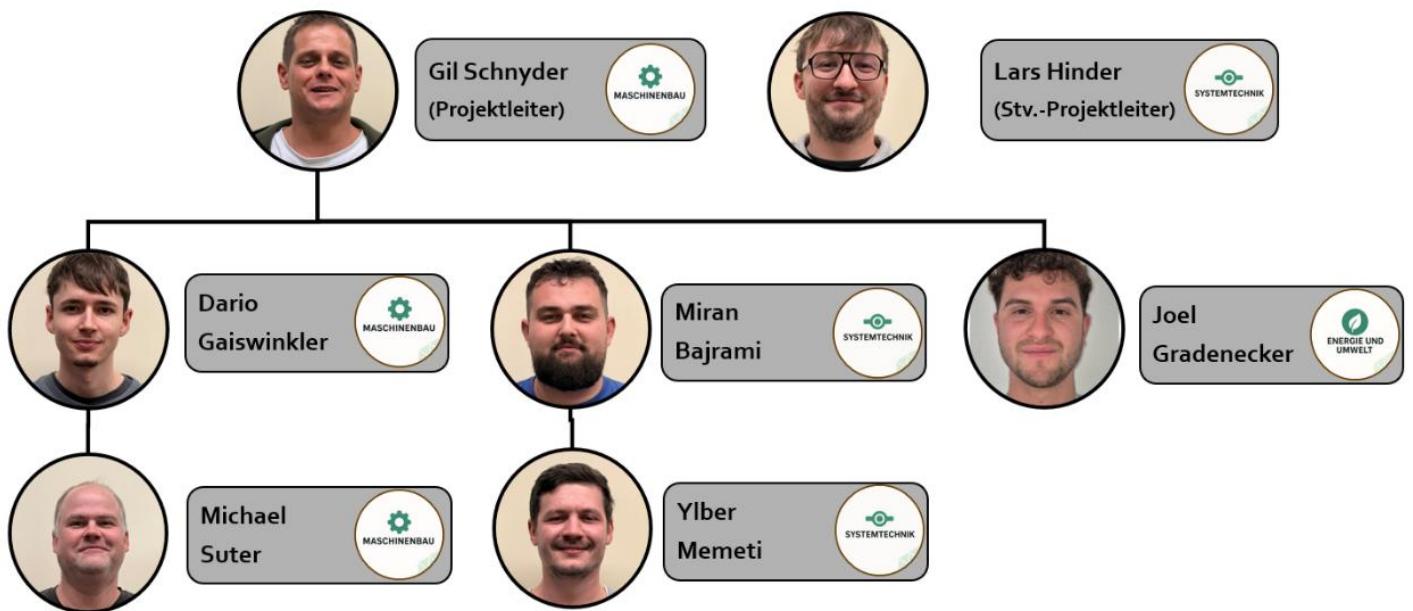
Maschinenbau: Dario Gaiswinkler, Gil Schnyder, Michi Sutter  
Systemtechnik: Miran Bajrami, Ylber Memeti, Lars Hinder  
Energie- und Umwelttechnik: Joel Gradenecker

# Vorstellung und Organisation Team EcoDrop3

Wir sind EcoDrop3, ein interdisziplinäres Projektteam aus sieben Studierenden des ZbW St. Gallen. Unser Team setzt sich aus drei Systemtechniker, einem Energie- und Umwelttechniker sowie drei Maschinenbautechniker zusammen. Durch diese Zusammensetzung konnten wir das Projekt aus verschiedenen technischen Blickwinkeln bearbeiten.

Die Systemtechnik übernahm vor allem Aufgaben an den Schnittstellen zwischen den einzelnen Systemen sowie die Koordination der Abläufe. Der Energie- und Umwelttechnik-Schwerpunkt lag auf der nachhaltigen Auslegung des Energiesystems und der Bewertung ökologischer Aspekte. Die Maschinenbautechnik war hauptsächlich für Konstruktion, Mechanik und die praktische Umsetzung verantwortlich.

Dank der klaren Aufgabenverteilung und dem regelmässigen Austausch im Team konnten wir unsere jeweiligen Stärken gezielt einsetzen. Die Zusammenarbeit funktionierte insgesamt sehr gut und trug wesentlich dazu bei, das Projekt effizient und praxisnah umzusetzen.



## Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Autor	Bemerkung / Art der Änderung
V01	24.11.2025	J. Gradenecker	Erste Erstellung und Aufbau
V02	22.12.2025	J. Gradenecker	Erste Abschnitte zusammengefügt
V03	16.01.2026	J. Gradenecker	Alle Berichte zusammengeführt
V04	26.01.2026	Alle Teammitglieder	Schlusskontrolle und Formatierung
V05	28.01.2026	Alle Teammitglieder	Letzte Überarbeitungen und Abgabe

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Vorwort .....	1
1.2	Management Summary Gesamtprojekt.....	2
<b>2</b>	<b>Konzeption und Siegerkonzept .....</b>	<b>3</b>
2.1	Vorgehensweise Mechanik .....	3
2.2	Morphologischer Kasten Mechanik.....	4
2.3	Siegerkonzept Mechanik.....	8
2.4	Konzeption Elektronik .....	10
2.5	Konzeption Hardwarenahe Programmierung .....	11
<b>3</b>	<b>Umsetzung / Detailentwicklung.....</b>	<b>12</b>
3.1	Umsetzung Mechanik.....	12
3.2	Umsetzung Elektronik .....	21
3.3	Umsetzung Hardwarenahe Programmierung .....	27
<b>4</b>	<b>Technische Schlussfolgerungen.....</b>	<b>32</b>
4.1	Technische Auswertung Mechanik.....	33
4.2	Technische Auswertung Software & Elektronik .....	34
<b>5</b>	<b>Anleitungen .....</b>	<b>35</b>
5.1	Wartungsanleitung.....	35
5.2	Betriebsanleitung .....	42
<b>6</b>	<b>Nachhaltigkeitsbericht .....</b>	<b>44</b>
6.1	Ziel und Umfang .....	44
6.2	Nachhaltigkeit .....	45
6.3	Soziale Verantwortung und Teamaspekte .....	50
6.4	Nutzen und Risiken der Technologie .....	51
6.5	Dokumentierte Massnahmen zur Nachhaltigkeit.....	52
6.6	Fazit und Ausblick Nachhaltigkeit.....	53
<b>7</b>	<b>Reflexion Gruppendynamischer Prozess .....</b>	<b>54</b>
7.1	Forming .....	54
7.2	Storming.....	54
7.3	Norming .....	54
7.4	Performing .....	55
7.5	Adjourning.....	55
<b>8</b>	<b>Selbstreflektionen Teammitglieder .....</b>	<b>56</b>
8.1	Selbstreflektion Projektleitung Gil .....	56
8.2	Selbstreflektion Projektleitung Stv. Lars .....	56

8.3	Selbstreflexion Projektmitglied Michi .....	57
8.4	Selbstreflexion Projektmitglied Dario .....	58
8.5	Selbstreflexion Projektmitglied Ylber .....	58
8.6	Selbstreflexion Projektmitglied Miran .....	59
8.7	Selbstreflexion Projektmitglied Joel .....	59
<b>9</b>	<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>60</b>
9.1	Abbildungsverzeichnis.....	60
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>62</b>
10.1	Eigenständigkeitserklärung .....	62
10.2	Quellennachweis .....	63

# 1 Einleitung

## 1.1 Vorwort

Im Rahmen unserer Weiterbildung beauftragte uns das ZbW, im Team 3 einen autonomen und nachhaltigen Recycling-Roboter zu entwickeln. In einer interdisziplinären Gruppe aus Studierenden der Studiengänge Maschinenbau, Systemtechnik sowie Energie- und Umwelttechnik konstruierten, programmierten und nahmen wir einen funktionsfähigen Prototyp in Betrieb. Für die Umsetzung stand uns ein vom ZbW bereitgestelltes Projektbudget von CHF 500.– zur Verfügung.

Das Projekt war in sechs Meilensteine gegliedert: MS1 Projektauftrag und Pflichtenheft, MS2 Lösungsfindung und Konzeptentscheid, MS3 Design Review, MS4 Selbsteinschätzung mit Fachgespräch, MS5 Schlussbericht sowie MS6 Schlusspräsentation mit Vorführung. Die Meilensteine wurden termingerecht erarbeitet und den Betreuern in Präsentationen vorgestellt.

Obwohl gewisse technische Rahmenbedingungen vorgegeben waren, hatten wir bei der Ausgestaltung des Roboters grossen Spielraum. Dadurch konnten wir eigene Ideen umsetzen und sowohl technische als auch organisatorische Kompetenzen weiterentwickeln. Bereits zu Projektbeginn zeigte sich, dass wir die Aufgabe nur als funktionierendes Team bewältigen konnten, mit klarer Kommunikation und dem gezielten Einbringen unserer Stärken.

Den Namen EcoDrop3 wählten wir bewusst: Er verbindet Ökologie und Recycling mit unserem Drop-Mechanismus und steht für unser Ziel, innovative Technik mit nachhaltigem Nutzen zu kombinieren.



Abbildung 1: Symbolbild

## 1.2 Management Summary Gesamtprojekt

Ziel war es, einen vollständigen Recyclingprozess im Spielfeld selbstständig auszuführen. Dazu sollte der Roboter Container autonom anfahren, aufnehmen, transportieren und in der Abladezone kontrolliert entleeren. Ergänzend wurde ein einfaches Monitoring umgesetzt sowie Wert auf eine robuste und nachhaltige Konstruktion gelegt. Der modulare Aufbau, reparaturfreundliche Baugruppen und ein bewusster Ressourceneinsatz standen dabei im Fokus.

- Am Projektende stand ein integrierter Prototyp, bei dem die zentralen Teifunktionen erfolgreich umgesetzt und in Tests zusammengeführt wurden. Die wesentlichen Abläufe konnten als Gesamtsystem demonstriert werden. Einzelne Aspekte wurden bis zuletzt weiter optimiert, insbesondere dort, wo Toleranzen, Wiederholgenauigkeit und Prozesssicherheit eine entscheidende Rolle spielen.
- Die detaillierte Abrechnung mit Belegen ist im Anhang aufgeführt. Für die Umsetzung standen neben der interdisziplinären Teamarbeit die Infrastrukturen des ZbW zur Verfügung, insbesondere für Konstruktion, Fertigung, Aufbau und Tests. Die Zusammenarbeit zwischen Maschinenbau, Systemtechnik sowie Energie- und Umwelttechnik erwies sich als grosser Vorteil, insbesondere an den Schnittstellen zwischen Mechanik und Software. Herausforderungen ergaben sich vor allem im Bereich Elektrotechnik, da diese Fachrichtung im Team nicht direkt vertreten war. Diese konnten jedoch durch erhöhten Aufwand und teaminterne Unterstützung erfolgreich bewältigt werden.
- Der entwickelte Prototyp zeigt, dass ein automatisierter Recyclingprozess im kleinen Massstab technisch realisierbar ist. Neben dem funktionalen System entstand eine umfassende Projektdokumentation, welche als solide Grundlage für zukünftige Weiterentwicklungen dient, insbesondere im Hinblick auf höhere Prozesssicherheit und eine mögliche Seriennähe.

## 2 Konzeption und Siegerkonzept

### 2.1 Vorgehensweise Mechanik

Die Ablaufdarstellung zeigt auf, wie die komplexe Aufgabenstellung systematisch und nachvollziehbar bearbeitet wurde. Sie macht deutlich, weshalb eine breite Ideenfindung zu Beginn notwendig war, um keine relevanten Lösungsansätze auszuschliessen. Durch diesen offenen Start konnten Erfahrungen aus Mechanik, Systemtechnik sowie Energie- und Umwelttechnik gleichwertig einfließen. Auf diese Weise wurde ein einseitiger Lösungsweg vermieden und eine solide Grundlage für die weitere Konzeptentwicklung geschaffen.



## 2.2 Morphologischer Kasten Mechanik

Im Rahmen der Lösungsfindung wurden mehrere Konzeptvarianten systematisch erarbeitet und miteinander verglichen. Zur strukturierten Ideenfindung kam ein morphologischer Kasten zum Einsatz, der es ermöglichte, die relevanten Teifunktionen unabhängig voneinander zu betrachten und unterschiedliche technische Ausprägungen gezielt zu kombinieren. Auf dieser Basis entstanden mehrere realisierbare Gesamtkonzepte, die anschliessend im Team diskutiert und präzisiert wurden.

Der morphologische Kasten wurde in mehrere zentrale Teifunktionen des Recyclingroboters gegliedert.

### Teifunktionen:

#### Rahmen

- Was eignet sich als leichtes und stabiles Material für den Rahmen des Recycling Roboters?
- Wie muss der Rahmen aufgebaut sein, damit er kompakt, modular und wartungsfreundlich ist?
- Wie kann der Rahmen so montiert werden, dass eine einfache Fertigung und Demontage möglich ist?

#### Antrieb

- Was ist die geeignete Antriebsart für eine bewegliche und energieeffiziente Fortbewegung?
- Wie viele Antriebseinheiten sind effektiv nötig, um den Roboter präzise zu bewegen?

#### Mechanik

- Welcher Greifmechanismus benötigt am wenigsten Ressourcen, um die Aufgabe zu meistern?
- Wie wird der Greifer vertikal bewegt, um die Container zuverlässig anzuheben?
- Wie können die Container während des Transports sicher zwischengelagert werden?
- Wie erfolgt das sortenreine und kontrollierte Abladen der Container?

#### Steuerung

- Wie erkennt der Roboter seine Position und orientiert sich auf dem Spielfeld?
- Was wird als Steuerungssystem eingesetzt, um alle Funktionen zuverlässig auszuführen?
- Wie wird der Roboter automatisch und sicher mit Energie geladen?



Rahmen					
Rahmen Material	Aluminium	Stahl	Kunststoff	Composit (Carbon/Flachs)	
Vorteile Nachteile	Gewicht, stabil, gut bearbeitbar -	sehr robust, günstig Gewicht	einfache, vielseitige Bearbeitung, 3D-druckbar schlecht reparierbar	einfache, vielseitige Bearbeitung und robust schlecht reparierbar	
Rahmen Bauweise	Profile	Vollflächige Bodenplatte mit Aufbauteil	Modulares Stecksystem	3D-gedruckte Einzelteile	
Vorteile Nachteile	ausbaufähig Gewicht	ausbaufähig Gewicht	Modular reparierbar/recyclebar etwas aufwendiger	vielseitig anwendbar Festigkeit	
Rahmen Montagemethode	Geschraubt	Geklebt	Gemietet	Geclipst	
Vorteile Nachteile	flexibel -	leicht dauerhaft	Stabilität dauerhaft	schnell lösbar wenig Stabilität	
Antrieb					
Antriebsart	Radauftrieb	Mecanum-Räder	Omniwheels	Raupeantrieb	
Vorteile Nachteile	einfach effizient Manövriertfähigkeit begrenzt	hohe Manövriertfähigkeit in alle Richtungen komplexe Steuerung	hohe Manövriertfähigkeit in alle Richtungen Genauie Ausrichtung extrem wichtig	sehr gute Geländegängigkeit hoher Energiebedarf, Genauigkeit bei Steuerung gefordert	
Anzahl Antriebseinheiten	2 Antriebsräder + 1 oder 2 freie Laufrollen/Schlitten	4 einzeln angetriebene Räder	2 Kettenstränge		
Vorteile Nachteile	einfache Steuerung, wendig, geringer Platzbedarf -	wendig komplexe Steuerung	einfache Steuerung, wendig hoher Energiebedarf		
Mechanik					
Greifmechanismus (Greifform & Richtung)	Backengreifer oben oder seitlich	Gabelstaplersystem	Vakuumgreifer saugt von oben mit Unterdruck	Hakenmechanismus greift über einen Einkängepunkt	
Vorteile Nachteile	einfache Zuführung komplexe Steuerung	leichte Steuerung, einfacher Mechanismus genau Positionierung	keine exakte Positionierung nötig hoher Energiebedarf	einfacher Mechanismus genau Positionierung	
Hub des Greifers (Vertikalbewegung)	Spindelantrieb	Zahnstange & Ritzel	Seilzug	Scherenmechanik	
Vorteile Nachteile	präzise für genaue Höhen langsam	präzise für genaue Höhen langsam	einfach, leicht begrenzt genau	kompat, platzsparend begrenzter Hub	
Zwischenlager auf Roboter	Schienensystem hängend	Mulden	Förderband		
Vorteile Nachteile	geführte Lagerung Präzise	- keine geführte Lagerung	definierter Austritt komplexe Steuerung		

Abbildung 2: Morphologischer Kasten Mechanik

## Nutzwertanalyse

Für die objektive Bewertung dieser Konzepte definierte das Team gemeinsam eine Nutzwertanalyse. Dabei wurden projektspezifische Kriterien wie Funktionalität, Umsetzbarkeit, Nachhaltigkeit und technischer Aufwand festgelegt und gewichtet.

### Technische Kriterien

Bei den technischen Kriterien wurden Navigation und Prozesssicherheit bewusst hoch gewichtet, da diese Aspekte für die autonome Aufgabenerfüllung des Recyclingroboters entscheidend sind. Eine präzise Navigation der Fortbewegung ist Voraussetzung für alle weiteren Funktionen. Die Prozesssicherheit stellt sicher, dass alle Abläufe stabil und reproduzierbar funktionieren. Kriterien wie Modularität, Fehleranfälligkeit, Robustheit und Wartungsfreundlichkeit wurden niedriger gewichtet, da sie bei einem Prototyp unterstützend wirken, jedoch gegenüber einer zuverlässig funktionierenden Grundfunktion nachrangig sind.



### Bewertungskriterien

Code	Technische Kriterien	Bewertung									Punkte	Gewichtung
a	Navigation	a	a	c	d	a	a	a	a	a	7	3
b	Greifmechanismus	b	c	d	b	b	b	b	b	b	6	2
c	Kompaktheit	c	d	e	f	g	h	i			3	1
d	Prozesssicherheit	d	d	d	d	d	d				9	3
e	Kosten	e	e	e	e	e					6	2
f	Modularität	f	g	h	f						3	1
g	Fehleranfälligkeit	g	g	g							5	2
h	Robustheit	h	h								4	2
i	Wartungsfreundlichkeit	i									2	1

#### Punkte Gewichtung

7-9	3
4-6	2
1-3	1

Abbildung 3: Bewertungskriterien

## Ökologische Kriterien

Bei den ökologischen Kriterien lag der Fokus auf Energieeffizienz und Ressourcenschonung, weshalb diese Punkte eine hohe Gewichtung erhielten. Das Projektziel verlangt ausdrücklich eine nachhaltige Lösung, wodurch der Energieverbrauch und der Umgang mit Ressourcen eine zentrale Rolle spielen.

Wenig Steuerung → Niedriger Energieverbrauch  
 Wenig Komponenten → Ressourcenschonend

Code	Ökologische Kriterien	Bewertung						Punkte	Gewichtung
a	Energieeffizienz	a	a	a	a	e	a	5	3
b	Materialwahl	b	c	d	e	b		2	1
c	Langlebigkeit	c	d	e	c			3	2
d	Gewicht	d	e	d				4	2
e	Ressourcenschonung	e	e					6	3
f	Recyclebarkeit	f						1	1

Punkte	Gewichtung
5-6	3
3-4	2
1-2	1

Abbildung 4: Ökologische Kriterien

Aufgrund der vom Team definierten und gewichteten Kriterien ging die Konzeptvariante 2 als bestbewertete Lösung hervor. Die Kombination aus 4 Mecanumräädern und einem Gabelstaplerprinzip erwies sich sowohl aus technischer als auch aus ökologischer Sicht als am effektivsten. Das Konzept erfüllt die geforderten Funktionen ohne unnötige Zusatzfunktionen und reduziert dadurch Materialeinsatz, Energiebedarf und Systemaufwand. Aus ökologischer Sicht ergab sich damit die sinnvollste Lösung für das Team. Gleichzeitig zeigt sich ein klarer Vorteil in der Software, da der Fokus auf Optimierung und Prozessstabilität gelegt werden konnte und nicht auf unnötige Komplexität, trotz des Entscheids.

Nach Abstimmung im Team blieb trotz des Ergebnisses der Nutzwertanalyse die Variante mit zwei normalen Rädern weiterhin im Fokus und wurde bewusst noch nicht verworfen.

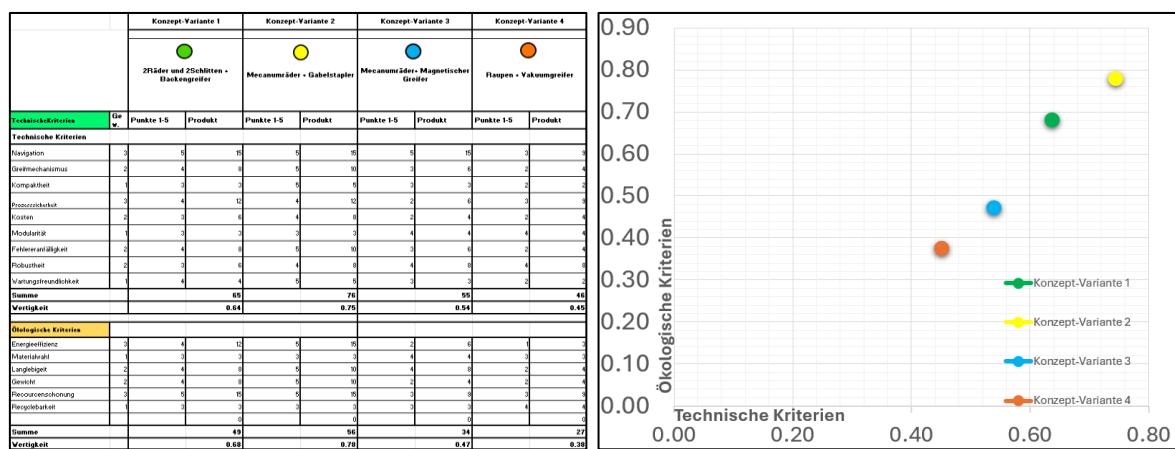


Abbildung 5: Tabelle Auswertung

## 2.3 Siegerkonzept Mechanik

Nach der Auswertung des morphologischen Kastens mittels der Nutzwertanalyse wurde ein Siegerkonzept definiert, das technische Funktionalität, Nachhaltigkeit und einfache Umsetzbarkeit optimal miteinander verbindet.

### Rahmenmaterial

Als Rahmenmaterial kommt eine Kombination aus Aluminium, 3D-gedruckten Bauteilen und Flachs-Composite zum Einsatz. Aluminium wird aufgrund seines geringen Gewichts, der guten Recyclingfähigkeit sowie der einfachen und präzisen Verarbeitbarkeit gewählt. Für Verbindungselemente, Halterungen und Anpassungen eignet sich der 3D-Druck besonders gut, da er schnelle Iterationen im Prototyping ermöglicht. Ergänzend wird Flachs-Composite eingesetzt, ein nachhaltiges Verbundmaterial, das sich durch ein sehr gutes Verhältnis von Gewicht zu Stabilität auszeichnet und vielseitig einsetzbar ist. Dadurch wird der ökologische Anspruch des Projekts konsequent umgesetzt. Mehr Informationen zum Material Flachs-Composite werden im Kapitel Nachhaltigkeit behandelt.



Abbildung 6: Rahmenmaterial

### Rahmenbauweise

Die Rahmenbauweise basiert auf gekanteten Laserblechteilen in Kombination mit 3D-gedruckten Komponenten. Laserblech bietet eine kostengünstige und einfache Bauweise, wobei durch gezielte Kantungen eine hohe Steifigkeit und Stabilität erreicht wird. 3D-gedruckte Teile ermöglichen die flexible Integration komplexer Geometrien und sind ideal für die Entwicklung und Optimierung von Prototypen geeignet.

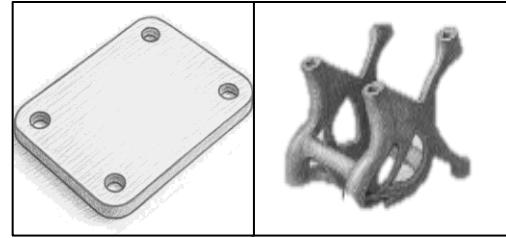


Abbildung 7: Rahmenbauweise

### Montagemethode

Für die Montagemethode wird eine Kombination aus Schraub- und Klebeverbindungen verwendet. Geschraubte Verbindungen erlauben eine einfache, stabile Montage sowie eine problemlose Demontage für Wartung oder Anpassungen. Klebeverbindungen werden gezielt für das Flachs-Composite eingesetzt, da sie eine materialgerechte Kraftübertragung ermöglichen und das Verbundmaterial nicht mechanisch schwächen.

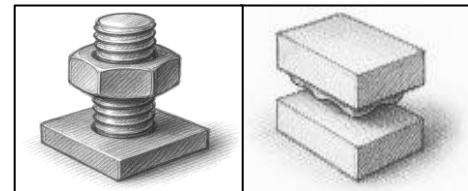


Abbildung 8: Montagemethode

### Antriebseinheit

Für die Auslegung der Antriebseinheiten wurde primär die Variante mit Mecanumräädern gewählt. Diese ermöglichen ein Wenden auf der Stelle sowie eine seitliche Bewegung und bieten damit eine hohe Bewegungsfreiheit auf dem Spielfeld. Sekundär wurde die Option mit normalen Rädern bewusst noch nicht verworfen, da dies systemtechnische Vorteile aufweist. Eine vertiefte Begründung zu dieser Variante folgt in den nächsten Abschnitten.



Abbildung 9: Rad

## Anzahl Antriebseinheiten

Wie bereits in der Nutzwertanalyse angedeutet, bietet die Lösung mit zwei normalen Rädern systemtechnische Vorteile. Es müssen weniger Motoren angesteuert werden und das Lenken ist auch mit konventionellen Rädern auf der Stelle möglich. Dadurch reduziert sich der Steuerungsaufwand und die Systemstruktur bleibt übersichtlich. Aus diesem Grund wurden im Grobkonzept der Fortbewegung beide Varianten ausgearbeitet und gemeinsam mit den Systemtechnikern besprochen.

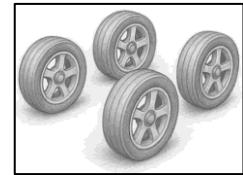


Abbildung 10: Räder

## Greifmechanismus

Der Greifmechanismus basiert auf dem Prinzip eines Gabelstaplers. Die Container werden durch präzises, punktgenaues Anfahren aufgenommen, was eine einfache, robuste und zuverlässige Lösung darstellt. Dieses Prinzip reduziert die mechanische Komplexität und erhöht die Betriebssicherheit.

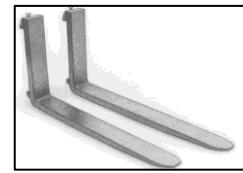


Abbildung 11: Gabelstapler

## Hub des Greifers

Der Hub des Greifers erfolgt über einen elektrischen Linearantrieb. Dabei wird bewusst auf ein handelsübliches Kaufteil zurückgegriffen, da diese Antriebe kostengünstig verfügbar, zuverlässig und einfach in das Gesamtsystem integrierbar sind.

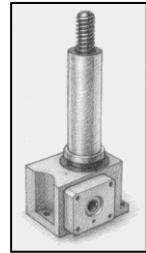


Abbildung 12: Linearantrieb

## Zwischenlager

Als Zwischenlager auf dem Roboter dient ein hängendes Schienensystem. Dieses ermöglicht ein einfaches Ablegen und Transportieren der aufgenommenen Container und sorgt für eine klare, übersichtliche Lagerstruktur auf dem Roboter.

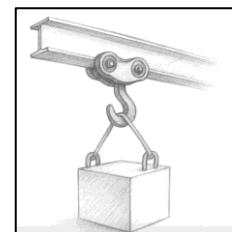


Abbildung 13: Schienensystem

## Abladesystem

Das Abladesystem ist als Klappenmechanismus ausgeführt. Durch das gezielte Öffnen der Klappe kann der Abladevorgang einfach, kontrolliert und zuverlässig ausgelöst werden. Diese Lösung zeichnet sich durch eine geringe Anzahl an Bauteilen, Steuerungen und eine hohe Robustheit aus.

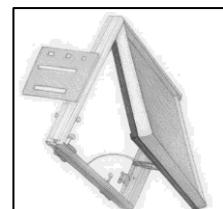


Abbildung 14: Abladesystem

## 2.4 Konzeption Elektronik

### Steuerung

Als zentrale Steuereinheit wird ein Arduino Mega eingesetzt. Wir haben uns für dieses Board entschieden, da es im Vergleich zum Arduino Uno deutlich mehr Ein- und Ausgänge besitzt. Diese werden benötigt, um mehrere Sensoren und Aktoren gleichzeitig anzuschliessen. Der Arduino übernimmt die komplette Steuerung der Sensoren und Aktoren, welche mit der Bewegung zusammenhängen.

Zusätzlich zum Arduino Mega wird ein ESP32 verwendet, welcher für die Kommunikation und das Web-Interface zuständig ist, sowie die Messung und Auswertung von Strom und Spannung.

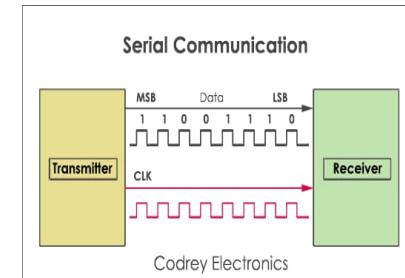


Abbildung 15: Kommunikation Mikrocontroller

### Sensorik

Zur Erfassung der Umgebung sowie zur Überwachung werden verschiedene Sensoren eingesetzt. Dazu gehören Time of Flight Sensoren zur Abstandsmessung, eine PixyCam zur optischen Erkennung sowie Endschalter, welche auslösen, wenn der Roboter bestimmte Positionen erreicht. Zusätzlich wird ein Strom- und Spannungssensor, INA-3221, zur Messung vom Strom und Spannung verwendet.

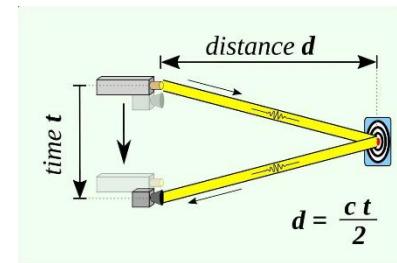


Abbildung 16: Time of Flight

### Aktoren

Der Roboter ist mit verschiedenen Aktoren ausgestattet. Für das Fahren werden DC-Motoren eingesetzt. Das Heben des Greifers erfolgt über einen Linearantrieb. Für das Öffnen der Klappe wird ein Servomotor verwendet.

Da die DC-Motoren und der Linearantrieb höhere Ströme und Spannung benötigen, erfolgt die Ansteuerung über externe Motorentreiber. So wird der Arduino entlastet und die Aktoren können sicher betrieben werden.

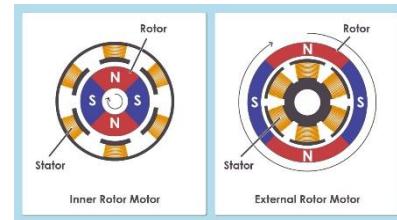


Abbildung 17: DC-Motoren

### Energieversorgung

Die Energieversorgung des Roboters erfolgt über 3 Lithium Ionen Zellen mit einem Batteriemanagementsystem, welche als Spannungsquelle dient. Mithilfe von DC/DC-Wandlern werden die benötigten Betriebsspannungen für die einzelnen Komponenten bereitgestellt.

Bei der Konzeption wurde darauf geachtet, dass keine leistungsstarken Verbraucher direkt am Arduino angeschlossen sind.

Auch wurde darauf geachtet, dass alle Komponenten eine gemeinsame Masse haben.

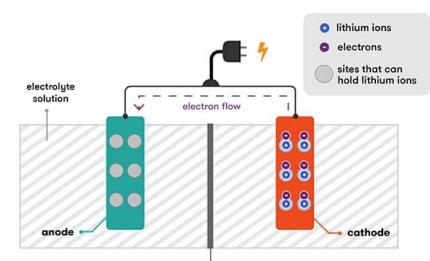


Abbildung 18: Lithium-Ionen-Zellen

## 2.5 Konzeption Hardwarenahe Programmierung

Die Ablaufsteuerung des Recyclingroboters ist als Zustandsmaschine aufgebaut. Der Roboter befindet sich dabei jeweils in einem definierten Schritt und wechselt abhängig von Sensorwerten, Endschaltern oder Befehlen vom Web-Interface in den nächsten Zustand. Grundsätzlich wurde darauf geachtet, den Code in möglichst kleine und sinnvolle Funktionen zu unterteilen um die Leserlichkeit sowie Wiederverwendbarkeit zu unterstützen. Es wurden Klassen eingesetzt, wo wir es als sinnvoll erachtet haben. Nachfolgende Abbildung zeigt den vollständigen Ablauf des autonomen Betriebs.

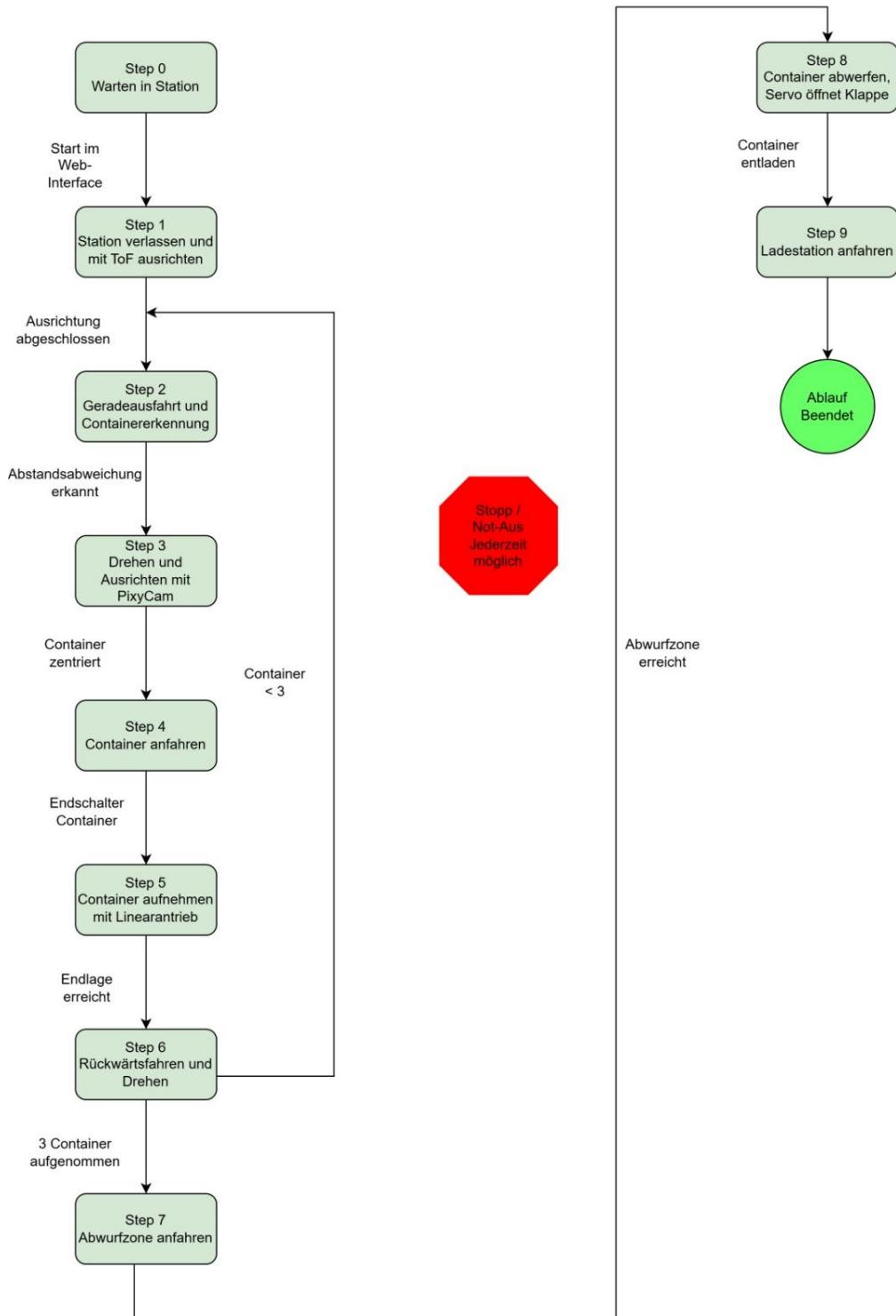


Abbildung 19: Ablaufsteuerung

### 3 Umsetzung / Detailentwicklung

#### 3.1 Umsetzung Mechanik

##### Greifersystem – Konzept und erste Tests

Zu Beginn der mechanischen Entwicklung wurde das Greifersystem untersucht. Die grundlegende Idee bestand darin, die Container ähnlich wie bei einem Gabelstapler aufzunehmen. Der Container wird dabei frontal erfasst, angehoben und anschliessend über einen Kippmechanismus weitergeleitet. Dieses Konzept ermöglicht eine einfache und mechanisch robuste Lösung mit wenigen beweglichen Teilen. In ersten Testversuchen wurde überprüft, ob sich die Container zuverlässig aufnehmen lassen und ob das Kippen zur Weiterleitung reproduzierbar funktioniert. Dabei zeigte sich, dass insbesondere die Geometrie des Greifers sowie der Kippwinkel entscheidend für eine störungsfreie Funktion sind.

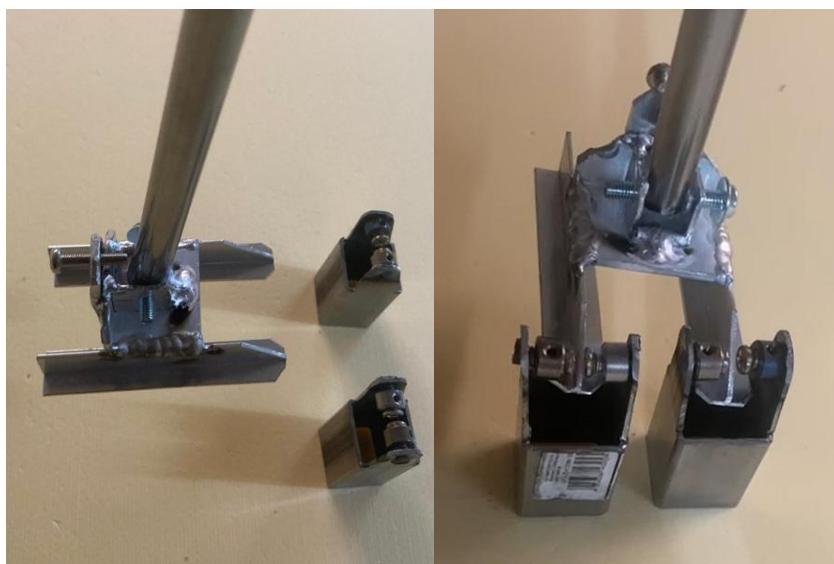


Abbildung 20: Prototyp Gabel

##### Entwicklung der Testplattformen für den Fahrantrieb

Zur Evaluation unterschiedlicher Antriebskonzepte wurde ein Blech aus Stahl. Diese diente als robuste Basis, um verschiedene Fahrwerksvarianten miteinander zu vergleichen.

Zunächst wurde ein 2-Rad-Antrieb umgesetzt. Die beiden Antriebsräder sind mittig angeordnet, während vorne und hinten Schleifpads montiert wurden. Dieses Prinzip ist vergleichbar mit dem Aufbau vieler Staubsaugroboter und verhindert ein Kippen des Roboters. Der Vorteil dieses Konzepts liegt im reduzierten Materialeinsatz und der einfacheren Steuerung, da lediglich zwei Motoren angesteuert werden müssen. Zudem ist dieses System energetisch effizienter und nachhaltiger. Ein Nachteil ist jedoch die eingeschränkte Beweglichkeit, da keine seitliche Fortbewegung möglich ist.

Parallel dazu wurde ein 4-Rad-Antrieb mit Mecanum-Rädern aufgebaut. Diese Variante ermöglicht eine omnidirektionale Bewegung, wodurch sich der Roboter in alle Richtungen manövrieren kann, ohne seine Ausrichtung zu ändern. Dies stellt insbesondere beim präzisen Anfahren der Container einen grossen Vorteil dar. Demgegenüber stehen ein höherer Ressourcenverbrauch, ein erhöhter mechanischer Aufwand sowie die komplexere Ansteuerung von vier Motoren.

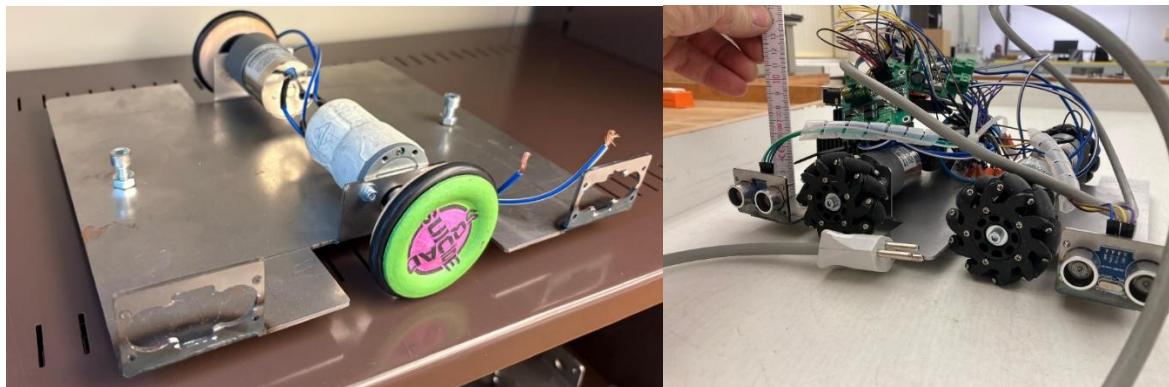


Abbildung 21: Prototyp Räder

### Erweiterung der Testplattform mit Kamerasytem

Die 4-Rad-Testplattform wurde anschliessend um ein Kamerasytem erweitert. Ziel war es, die Fahrfunktionen in Kombination mit der visuellen Containererkennung zu testen. Dabei wurde insbesondere die optimale Platzierung der Kamera untersucht, um sowohl den Fahrweg als auch den Container- bzw. Schachtbereich zuverlässig erfassen zu können. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen direkt in die spätere Auslegung der finalen Mechanik ein.

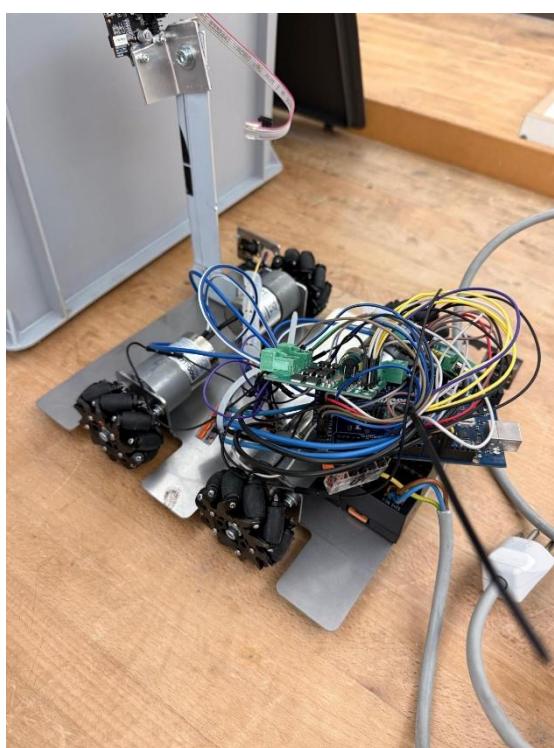


Abbildung 22: Prototyp mit Kamera

## Hubmechanismus und Linearantrieb

Für das Anheben der Container wurde ein geeignetes Hubsystem evaluiert. Nach einer Marktanalyse fiel die Entscheidung auf einen elektrischen Linearaktor, der ausreichend Hubkraft bei kompakter Bauweise bietet. Dieser Linearantrieb bildet das zentrale Element des Hubmechanismus und ermöglicht eine kontrollierte und reproduzierbare Bewegung.

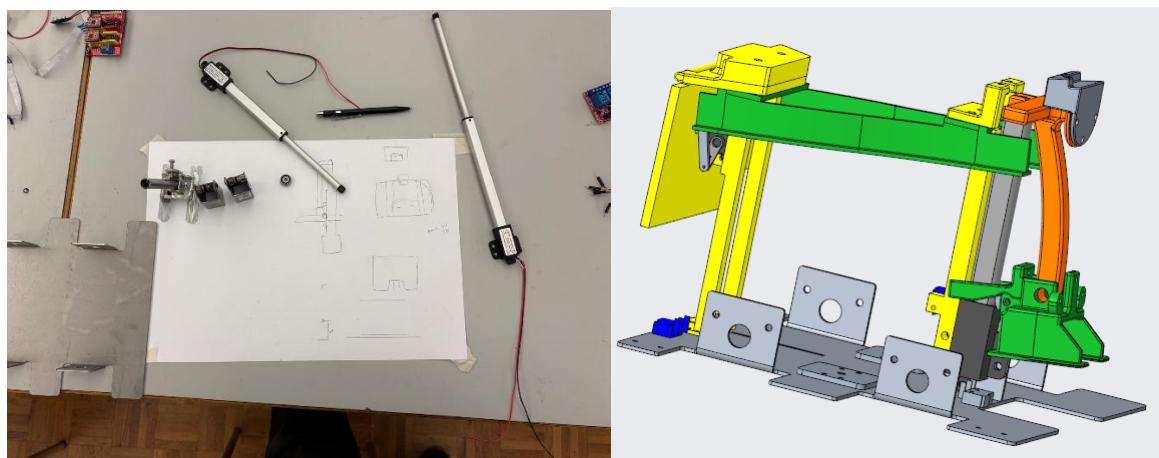


Abbildung 23: CAD – Erste Zeichnung

## Testplattform mit Hubmechanismus

In einem nächsten Schritt wurde die Testplattform um den Hubmechanismus erweitert und der Greifer integriert. Zusätzlich erfolgte der Ausbau mit einem Schienensystem und einer Klappe zur gezielten Weiterleitung der Container. In dieser Phase wurden verschiedene Varianten intensiv getestet, darunter die Form des Greifers, der Kippmechanismus, die Geometrie und Neigung der Schienen sowie die Funktion der Klappe. Diese Tests waren entscheidend, um Verklemmen der Container zu vermeiden und die sichere Weitergabe zu gewährleisten.



Abbildung 24: Gabelsystem

### Finalisierung der Bodenplatte

Nach Abschluss der Funktionsversuche wurde die Bodenplatte final ausgelegt. Dabei wurden der Linearantrieb, die Batterie, Endschalter sowie die notwendigen Sensoren positionsoptimiert integriert. Ziel war eine kompakte, stabile und servicefreundliche Anordnung aller Komponenten.

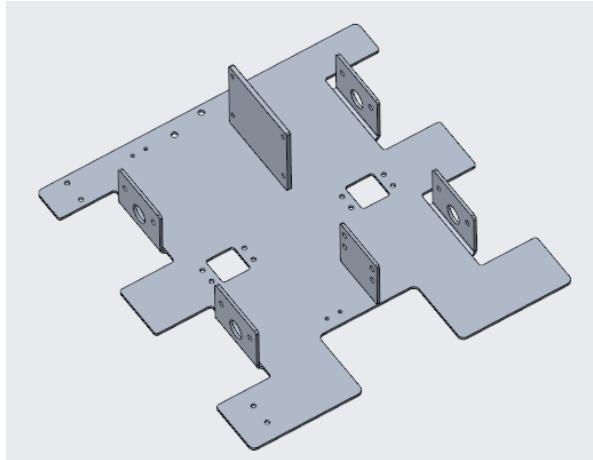


Abbildung 25: Bodenplatte

### Herstellung der Bodenplatte

Die finale Bodenplatte wurde aus Aluminium gelasert und gekantet. Die Halterungen für Batterie und Linearantrieb wurden anschliessend angeschweisst.

### Konstruktion der Steuerungshalter

Für die Elektronikkomponenten wie Arduino Mega, Motortreiber und ESP32 wurden spezielle Halterungen konstruiert. Diese wurden oberhalb des Schienensystems positioniert, um sie vor mechanischen Einflüssen zu schützen und gleichzeitig kurze Kabelwege zu ermöglichen. Die Halter wurden mittels 3D-Druck gefertigt.

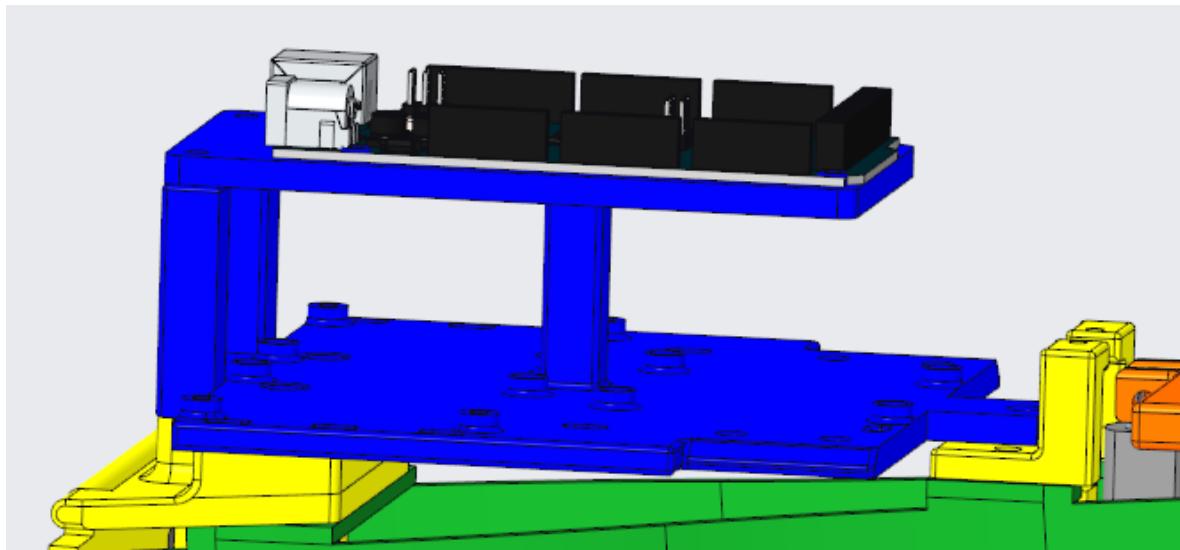


Abbildung 26: Halterung Mikrocontroller

### Kabelführung

Zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Wartungsfreundlichkeit wurde eine strukturierte Kabelführung konstruiert und umgesetzt. Diese verhindert Kabelbeschädigungen durch bewegliche Teile und sorgt für eine übersichtliche Installation.

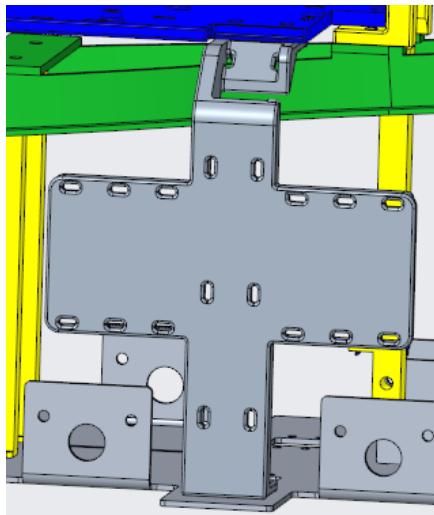


Abbildung 27: Kabelführung

### Optimierung der Container- und Schachtform

Um eine zuverlässige Trennung der Container sicherzustellen, wurde entschieden, zwei unterschiedliche Containertypen einzusetzen. Zusätzlich wurde im Schacht ein roter Markierungsstreifen integriert, der die visuelle Erkennung durch die Kamera deutlich verbessert. Diese Massnahme erhöhte die Erkennungszuverlässigkeit und reduzierte Fehlfahrten.



Abbildung 28: Container und Schacht

### Konstruktion und Fertigung der Verkleidung

Die Verkleidung des Roboters wurde im CAD konstruiert und an die finale Mechanik angepasst. Anschliessend wurden Negativformen mittels 3D-Druck hergestellt. Die eigentlichen Verkleidungsteile wurden im Handlaminierverfahren aus Flachfasern gefertigt. Dieses Vorgehen wurde bewusst für den Prototyp gewählt, da es flexibel und kostengünstig ist. Die Verkleidung erfüllt sowohl schützende als auch gestalterische Funktionen.

## Ladestation

Für den autonomen Betrieb des Roboters wurde eine geeignete Ladestation konzipiert und mechanisch umgesetzt. Ziel der Entwicklung war es, eine robuste, wartungsarme und reproduzierbare Ladelösung zu realisieren, welche einen sicheren elektrischen Kontakt auch ohne manuelles Eingreifen gewährleistet.

Die Ladestation basiert auf zwei Unterflur-Ladekontakte, welche fest in der Bodenstruktur integriert sind. Diese Lösung bietet den Vorteil, dass keine exponierten Steckverbindungen vorhanden sind und die Kontakte vor mechanischer Beschädigung sowie Verschmutzung geschützt werden. Der Roboter verfügt über Kontaktflächen an der Unterseite, welche beim Einfahren automatisch mit den Ladekontakten in Berührung kommen.

Um einen zuverlässigen Kontakt sicherzustellen, wurde eine mechanische Führung in Form von Wannen konstruiert. Der Roboter fährt beim Andocken gezielt in diese Wannen ein, wodurch seine Position während des Ladevorgangs eindeutig definiert wird.

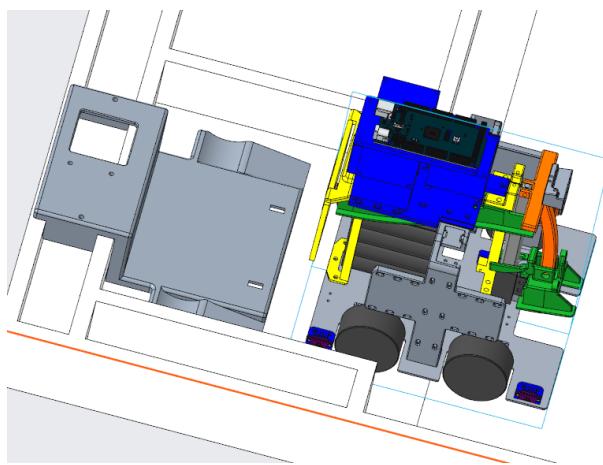


Abbildung 29: EcoDrop3 mit Ladestation und Außenhülle

## Design und Gestaltung

Neben den funktionalen Anforderungen wurde auch dem äusseren Erscheinungsbild des Roboters besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Das Design der Verkleidung dient nicht nur dem Schutz der mechanischen und elektronischen Komponenten, sondern trägt auch zur Wiedererkennbarkeit des Projekts und zur professionellen Gesamtwirkung bei.

Die Verkleidung wird mit dem EcoDrop3 Logo und den Dreiecken versehen.

Zusätzlich wird das **Sponsorenlogo von Bcomp** auf der Verkleidung angebracht. Insgesamt verbindet das Design funktionale Anforderungen mit einer klaren visuellen Identität und trägt dazu bei, den Roboter sowohl technisch als auch gestalterisch als durchdachten Prototyp zu präsentieren.

### Konstruktion und Fertigung der Verkleidung

Die Verkleidung des Roboters wurde vollständig im CAD konstruiert und präzise an die finale mechanische Auslegung angepasst. Auf Basis dieser Konstruktion wurde zunächst ein Urmodell mittels 3D-Druck hergestellt. Dieses Urmodell wurde anschliessend gespachtelt und geschliffen, um eine hochwertige Oberflächenqualität für die Herstellung der Negativformen zu erreichen.



Abbildung 30: Urmodell 3D Druck

Die Formenherstellung erfolgte sowohl mit einer zweiteiligen Form für den Hauptkörper der Verkleidung als auch mit einer einteiligen Form für die Kameraabdeckung. Zur Realisierung von Absätzen und definierten Kanten im späteren Bauteil wurden gezielt Wachsplatten in die Form eingelegt.



Abbildung 31: Form für Hauptkörper

Die eigentlichen Verkleidungsteile wurden im Handlaminierverfahren aus Flachfasern gefertigt. Dieses Verfahren wurde bewusst für den Prototyp gewählt, da es eine hohe Flexibilität bietet und gleichzeitig kostengünstig umsetzbar ist. Nach dem Aushärten wurden die Bauteile nachbearbeitet und mit einem Klarlack beschichtet, um die Oberfläche zu schützen und die optische Qualität zu verbessern.

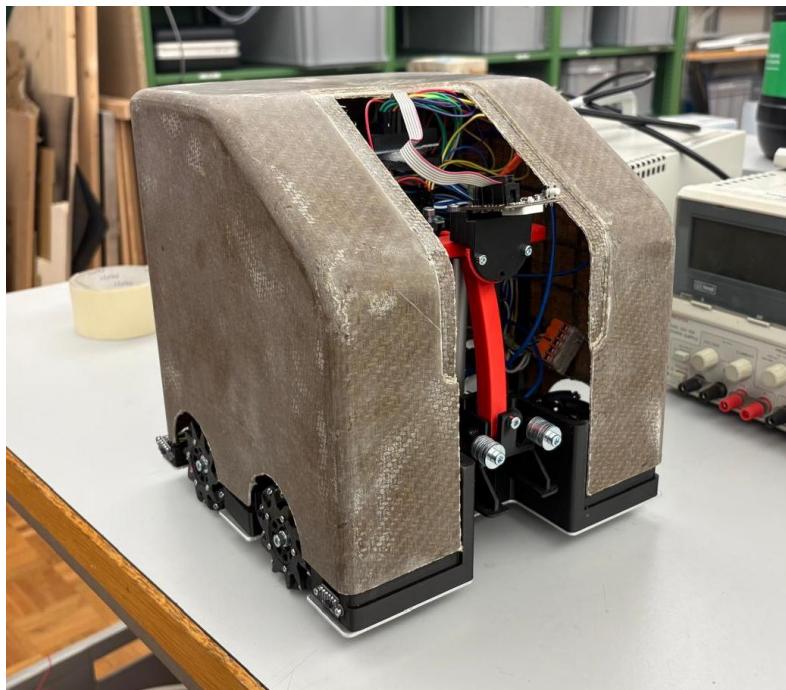


Abbildung 32: Verkleidung

Für die Befestigung der Verkleidung am Roboter wurden anschliessend im CAD passende Halterungen konstruiert und mittels 3D-Druck gefertigt. Diese ermöglichen eine einfache Montage sowie eine sichere Fixierung der Verkleidung an der Roboterstruktur.

### Unterstand für den Roboter

Der Roboter wird ausserhalb der Einsatzzeiten in einer speziell vorgesehenen Garage untergebracht. Diese dient als zentraler Schutzraum und schützt das System zuverlässig vor Umwelteinflüssen wie Regen, Schnee und starker Sonneneinstrahlung. Gleichzeitig reduziert die geschlossene Unterbringung das Risiko von Vandalismus sowie unbefugtem Zugriff und trägt damit wesentlich zur Betriebssicherheit und Lebensdauer des Roboters bei.

Zur Sicherstellung stabiler thermischer Betriebsbedingungen ist die Garage mit einem Eisspeicher zur Temperierung ausgestattet. Das System schützt Elektronik, Sensorik und Batteriesysteme ganzjährig vor extremen Temperaturen. Über eine Sole/Wasser-Wärmepumpe wird dem Eisspeicher im Winter Wärme entzogen, wobei das Wasser gefriert und die freiwerdende Kristallisationsenergie zur Beheizung der Garage genutzt wird. Dadurch bleibt die Garage frostfrei und kann auf einer konstanten Temperatur von etwa 8 bis 15 °C gehalten werden. Im Sommer ermöglicht der Eisspeicher eine passive Kühlung, wodurch thermische Belastungen der Batterien reduziert werden.

Der Systemaufbau umfasst einen kompakten Eisspeicher mit einem Volumen von etwa 2 bis 5 m<sup>3</sup>, eine Wärmepumpe sowie eine Flächenheizung beziehungsweise -kühlung. Ergänzend ist eine Regenwassersammelfunktion integriert, bei der anfallendes Regenwasser in einem Reservoir gespeichert und für Reinigungszwecke an Kleidung, Fahrwerk oder Sensorik genutzt werden kann.

Auf dem Dach der Garage sind Solarzellen installiert, welche die Energie zur Ladung der Roboterbatterie bereitstellen. Das Betriebskonzept sieht vor, dass der Roboter überwiegend nachts arbeitet, während er sich tagsüber in der Garage befindet und mithilfe der Solarenergie geladen wird. Optional kann das System zusätzlich durch Solarabsorber sowie die Nutzung der Abwärme des Roboters zur Regeneration des Eisspeichers ergänzt werden, wodurch ein energieeffizientes und nachhaltiges Gesamtsystem entsteht.

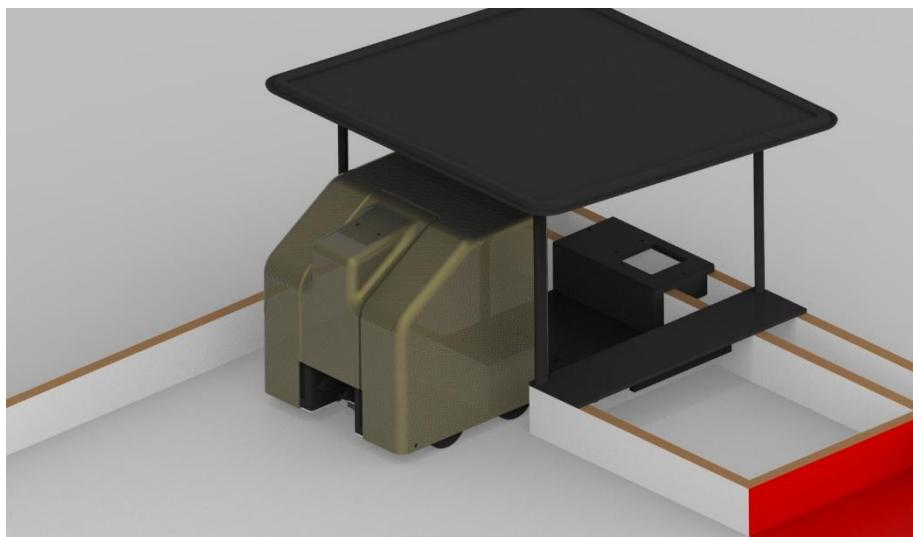


Abbildung 33: Unterstand

### 3.2 Umsetzung Elektronik

Die elektrische Umsetzung des Roboters umfasst die Energieversorgung, die Anbindung der Steuerungen, die Integration der Sensorik sowie die Ansteuerung der Aktoren. Der gesamte Aufbau wurde so umgesetzt, dass eine stabile Versorgung gewährleistet ist und die Verkabelung übersichtlich bleibt. Die vollständige Beschaltung ist im Elektroschema dokumentiert.

#### Energieversorgung

Die Energieversorgung des Roboters erfolgt über ein Batteriesystem mit 3 Lithium-Ionen-Zellen, welche in Serie betrieben werden. Die Zellen sind an ein Batteriemanagementsystem angeschlossen, welches für den Schutz der Akkus (z. B. Überladung, Tiefenentladung) sorgt. Die Batteriespannung beträgt ca. 11.1V und wird über einen DC/DC-Abwärtswandler auf 5V reduziert. Diese 5V Versorgung wird für den Betrieb des Servomotors verwendet. Den Arduino Mega und der ESP werden mit 11.1V gespiesen. Die Sensoren werden über den Arduino Mega gespiesen. Leistungsstarke Verbraucher wie Motoren werden direkt aus der Batteriespannung versorgt.

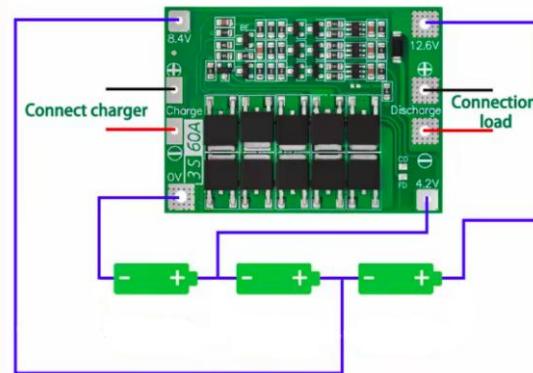
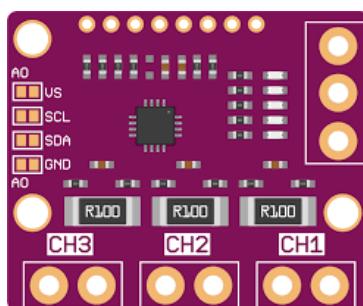


Abbildung 34: Akkuzellen mit BMS

#### Strom- und Spannungsmessung:



Zur Überwachung der Energieversorgung wird ein INA3221 eingesetzt. Dieser ermöglicht die Messung von Strom und Spannung über mehrere Kanäle. Die gemessenen Werte werden zur Überwachung des Energieverbrauchs verwendet und stehen für das Monitoring zur Verfügung.

Abbildung 35: Strom- und Spannungsversorgung

#### Steuerung

Als Hauptsteuerung wird ein Arduino Mega eingesetzt. Dieser übernimmt die komplette Steuerung der Sensoren und Aktoren. Zusätzlich wird ein ESP32 verwendet, welcher für die Kommunikation und das Web-Interface zuständig ist. Die Verbindung zwischen Arduino Mega und ESP32 erfolgt über eine serielle Schnittstelle (RX/TX).



Abbildung 36: Arduino Mega

## Sensorik



Abbildung 37: ToF-Sensor

Zur Erfassung der Umgebung und zur Positionsrückmeldung wurden folgende Sensoren umgesetzt.

Die Time of Flight-Sensoren zur Abstandsmessung sind über einen I<sup>2</sup>C-Multiplexer angeschlossen. Der Multiplexer selbst ist über den I<sup>2</sup>C-Bus mit dem Arduino Mega verbunden. Dadurch können mehrere Time of Flight mit gleicher I<sup>2</sup>C-Adresse verwendet und einzeln ausgelesen werden.

## Pixycam

Zusätzlich zu den Distanzsensoren wird eine PixyCam zur optischen Erkennung eingesetzt. Die PixyCam ist direkt mit dem Arduino verbunden und übernimmt die visuelle Erkennung der Container. Über die Kamera werden Positionsinformationen des Objekts erfasst, welche zur Ausrichtung des Roboters vor dem Aufnehmen eines Containers verwendet werden. Die PixyCam verfügt über eine integrierte Beleuchtung, welche softwareseitig aktiviert wird, um auch bei ungünstigen Lichtverhältnissen eine zuverlässige Erkennung zu gewährleisten.



## Endschalter

Die Endschalter sind an digitale Eingänge des Arduino Mega angeschlossen und liefern eindeutige Positionsrückmeldung:

Endschalter 1 löst aus, wenn der Roboter beim Container ankommt.

Endschalter 2 löst aus, wenn der Roboter die Ladestation oder die Abwurffzone erreicht.

Endschalter 3 löst aus, wenn der Linearantrieb die untere Endlage erreicht.



Abbildung 38: Pixycam

Abbildung 39: Endschalter

**Aktorik:**

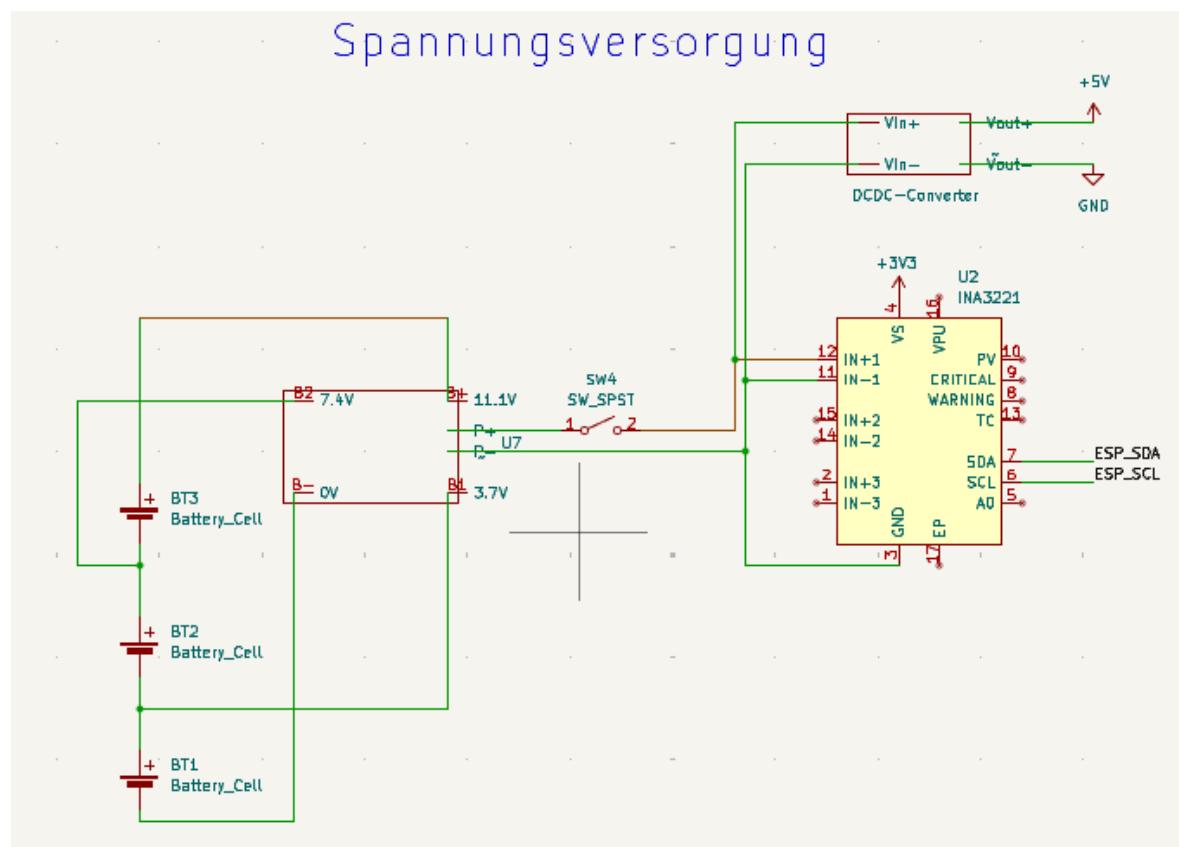
Die Aktoren des Roboters bestehen aus 4 DC-Motoren, einem Linearantrieb sowie einem Servomotor. Die DC-Motoren für den Fahrantrieb sowie der Linearantrieb für den Hub werden über Motorentreiber angesteuert, da diese Komponenten höhere Ströme benötigen als der Arduino liefern kann. Die Motoren werden mit ihrer Betriebsspannung versorgt, während der Arduino Mega nur die Steuersignale liefert. Der Servomotor wird mit 5V versorgt und direkt über ein PWM-Signal vom Arduino Mega angesteuert.

Abbildung 40: Motorentreiber

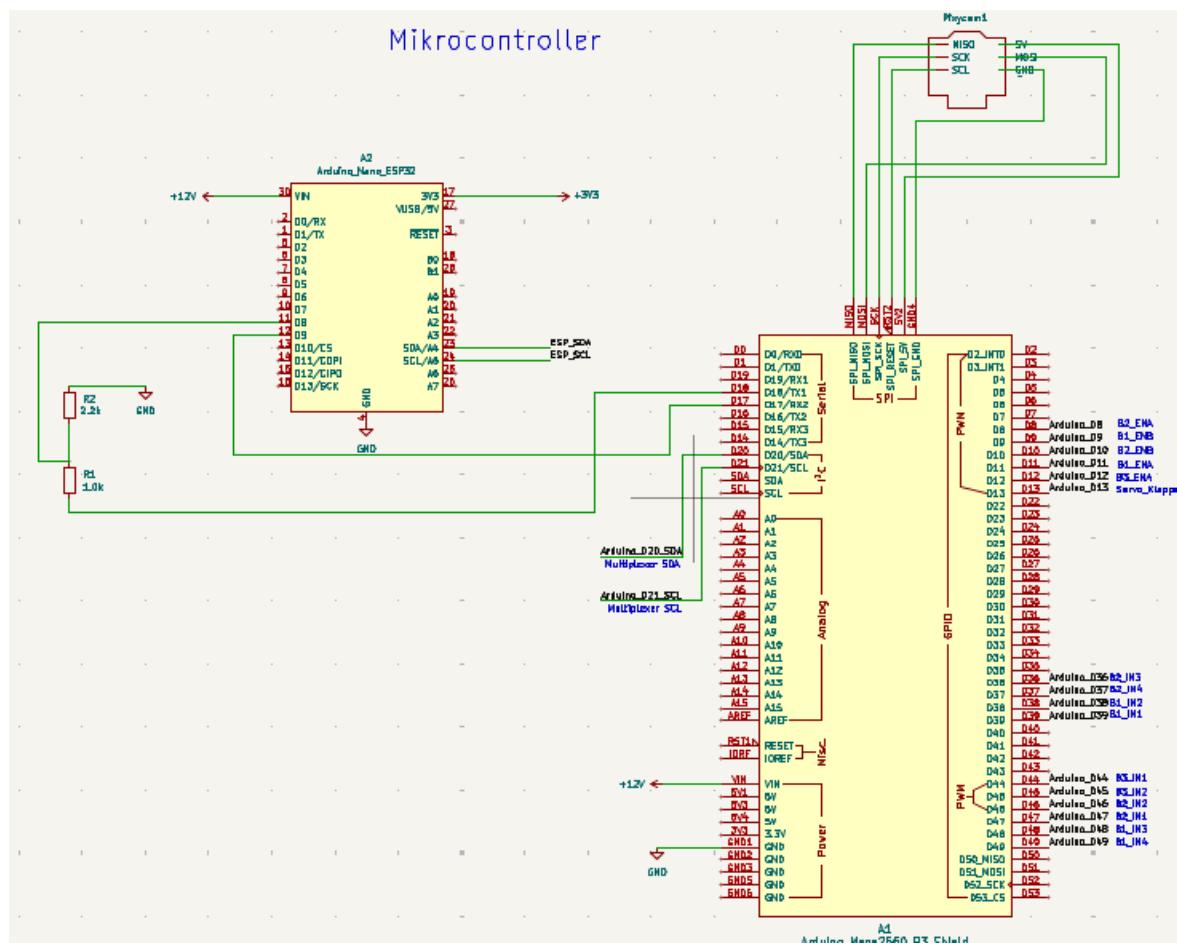


Abbildung 41: Diverse Motoren

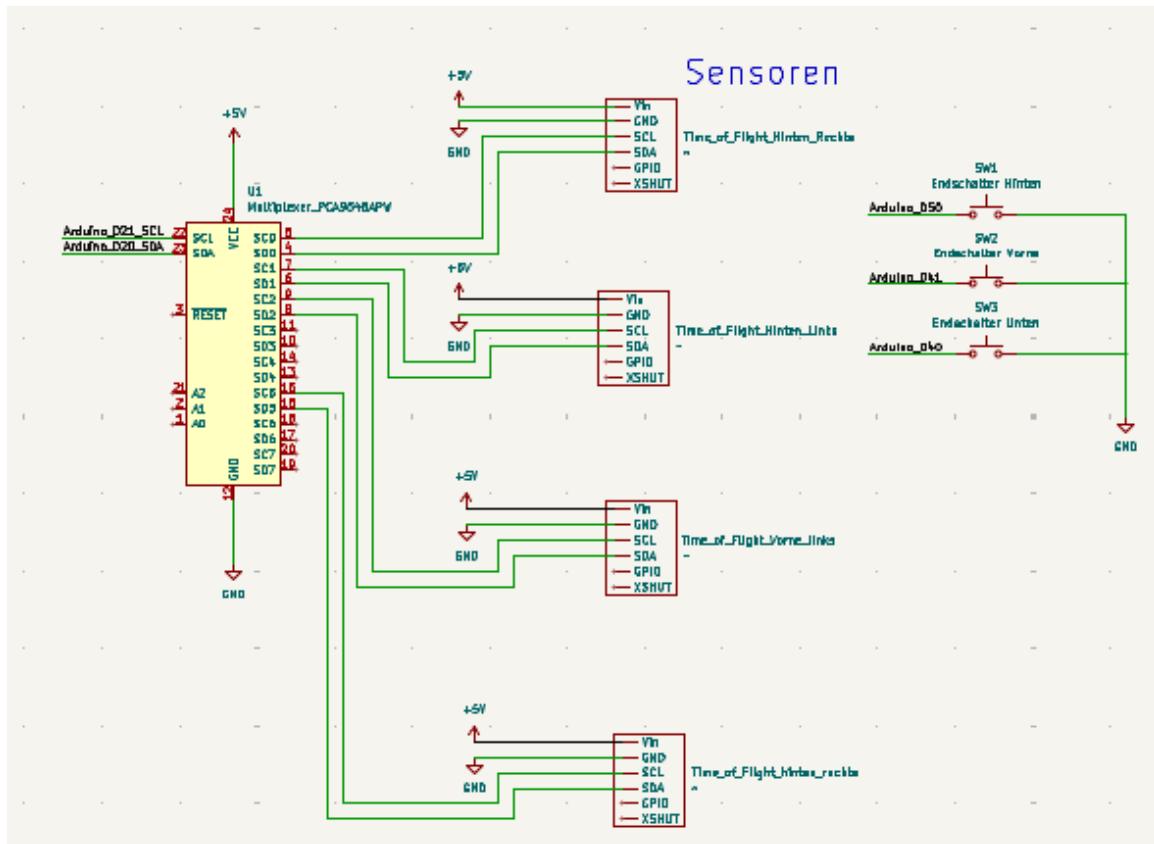
## Elektroschema



Wir wollten die Spannungsversorgung möglichst übersichtlich halten und haben uns deshalb für 3 Lithium-Ionen-Zellen entschieden. So konnten wir sicherstellen, dass alle Komponenten zuverlässig versorgt sind.



Wir haben uns bewusst für zwei Mikrocontroller entschieden, um die Aufgabe klar zu trennen. Dadurch konnte sich der Arduino vollständig auf die Steuerung des Roboters konzentrieren, während der ESP32 unabhängig davon das Web-Interface übernimmt.



Bei der Sensorik war uns wichtig, nicht nur auf einen Sensortyp zu setzen. Durch die Kombination von ToF-Sensoren, PixyCam und Endschaltern wollten wir eine möglichst zuverlässige Erfassung der Umgebung und der Position des Roboters erreichen.

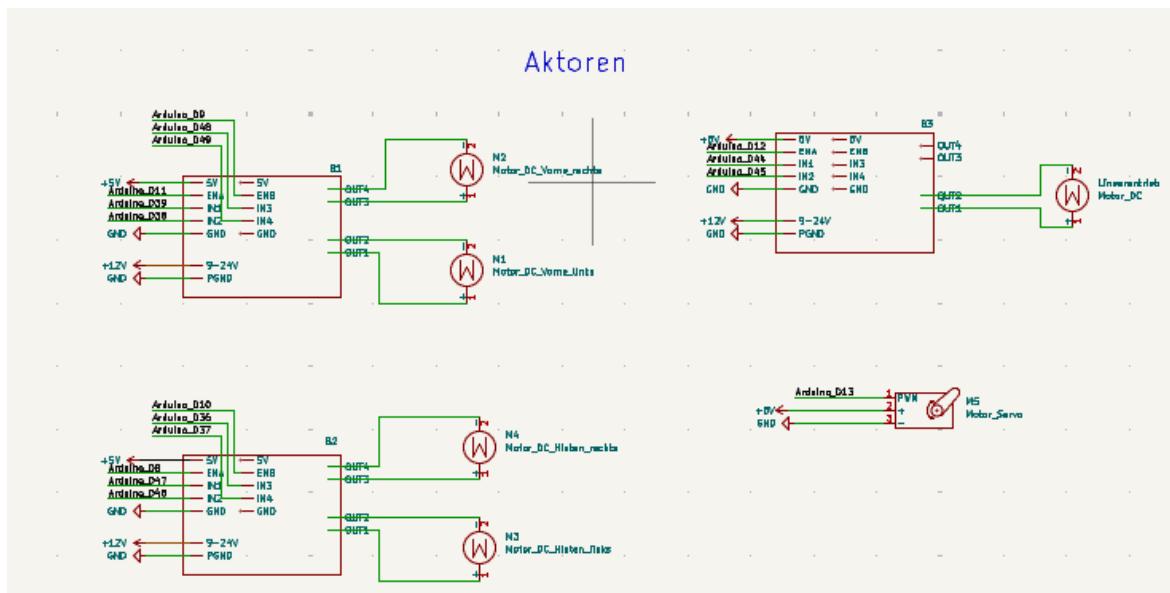


Abbildung 42: Elektroschema

Bei den Aktoren haben wir auf einfache Lösungen gesetzt, die wir gut verstehen und zuverlässig ansteuern können. Unser Ziel war es, die Bewegungen des Roboters klar kontrollieren zu können, ohne die Mechanik unnötig kompliziert zu machen.

### 3.3 Umsetzung Hardwarenahe Programmierung

Die Software ist in zwei Programme aufgeteilt:

- Arduino Mega: Ablaufsteuerung, Sensorik und Aktoren
- ESP32: Webinterface (Start/Stop/Not-Aus, Anzeige von Statusmeldungen sowie Ausgabe von Messwerten mit dem INA3221)

#### 1. Ablaufsteuerung

```
if(isRunning){  
    switch(currentStep){  
        case 10: moveOutOfDock(); currentStep = 20; break;  
        case 20: moveForwardParallelUntilContainer(wandabstand); currentStep = 30; break;  
        case 30: turnRight(90); goParallelLeft(); pickupContainer(); turnLeft(180); currentStep = 40; break;  
        ...  
        case 90: rueckwaertsBisAnschlag(); abladen(); moveForward(sicherheitsmarge); currentStep = 100; break;  
        case 100: ... parkieren(); currentStep = 0; break;  
    }  
}
```

Der Roboterablauf ist als Schrittfolge umgesetzt. Die Variable currentStep definiert den aktuellen Zustand. Jeder Schritt führt eine klar definierte Aktion aus, z. B. Station verlassen, Container suchen, aufnehmen, abladen, und setzt danach den nächsten Schritt. Dadurch bleibt der Ablauf übersichtlich.

#### 2. Start/Stop und Not-Aus

```
if (cmd.startsWith("[START]")) { isRunning = true; }  
else if (cmd.startsWith("[STOP]")) { isRunning = false; }  
  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(EMERGENCYSTOP_PIN), emergencystop, RISING);  
void emergencystop(){ isRunning = false; }
```

Start- und Stop-Befehle werden als einfache Textnachrichten über die serielle Schnittstelle empfangen. Zusätzlich ist ein Not-Aus über einen Hardware-Interrupt umgesetzt. Wird dieser ausgelöst, wird die Variable isRunning sofort zurückgesetzt, wodurch der aktuelle Ablauf gestoppt und der Roboter in einen sicheren Zustand überführt wird.

### 3. Motorsteuerung und Grundbewegung

```
void moveForward(int distanceMM, int speed){  
    M1.forward(speed); M2.forward(speed); M3.forward(speed); M4.forward(speed);  
    delay(timeToDrive);  
}  
  
void turnRight(float deg, int speed){  
    M2.backward(speed); M4.backward(speed);  
    M1.forward(speed); M3.forward(speed);  
    delay(timeToTurn);  
}
```

Die Bewegung ist über Funktionen wie moveForward(), moveBackward(), turnLeft(), turnRight(), moveLeft(), und moveRight() umgesetzt. Dadurch wird die Bewegungslogik zentral gehalten und kann in der Step-Kette wiederverwendet werden. Die Motoren werden einzeln angesteuert, passend zum Mecanum-Radkonzept.

### 4. ToF-Sensoren über I<sup>2</sup>C-Multiplexer

```
static constexpr uint8_t CH_FRONT_RIGHT = 5;  
static TofMuxSensor tofFrontRight(I2CMUX, CH_FRONT_RIGHT, OFF_FRONT_RIGHT);  
  
_mux.openChannel(_channel);  
_lox.rangingTest(&out, false);  
_mux.closeAll();  
  
int TofMuxSensor::readFiltered(float alpha, uint32_t resetAfterMs) {  
    ...  
    _filtered = (int)(alpha * newVal + (1.0f - alpha) * _filtered);  
    ...  
}
```

Die vier Time-of-Flight-Sensoren laufen über den TCA9548A Multiplexer. Vor dem Auslesen wird der passende Kanal geöffnet. Zusätzlich ist eine Filterung implementiert (readFiltered()), damit die Werte stabiler sind. So kann der Roboter den Abstand zur Wand zuverlässig bestimmen und Korrekturen durchführen.

## 5. Parallelisieren und Containererkennung

```
while (abs((int)distanceFront - (int)distanceBack) > toleranceWheelsmm){  
    if (distanceFront > distanceBack) turnRight(incrementGrad, speedSlow);  
    else turnLeft(incrementGrad, speedSlow);  
}  
  
while (abs(tofBR().readRaw() - tofFR().readRaw()) < containerDepth - 3){  
    moveForward(1);  
}  
logMessage("Container gefunden!");
```

Der Roboter richtet sich über zwei ToF-Sensoren pro Seite parallel zur Wand aus (goParallelRight). Für die Containererkennung wird die Abweichung zwischen Front- und Back-Sensor verwendet. Sobald die Differenz grösser wird, wird ein Container erkannt und der Schritt wechselt zur Aufnahme.

## 6. Objekt finden mit Pixycam

```
pixy.ccc.getBlocks();  
while (!pixy.ccc.numBlocks && millis() - startTime < 1000) {  
    moveForward(1);  
    pixy.ccc.getBlocks();  
}  
  
while (pixy.ccc.blocks[0].m_x > ziel) { moveRight(1); pixy.ccc.getBlocks(); }  
while (pixy.ccc.blocks[0].m_x < ziel) { moveLeft(1); pixy.ccc.getBlocks(); }  
  
while(!digitalRead(endSchalterVorne)) { moveForward(1); }
```

Die PixyCam wird genutzt, um den Container optisch zu erfassen. Danach wird der Roboter seitlich so korrigiert, dass das Objekt mittig liegt (pixyMoveMiddle). Anschliessend fährt der Roboter vorwärts, bis der vordere Endschalter auslöst. Dadurch entsteht eine zuverlässige Positionierung am Container.

## 7. Container aufnehmen und abladen

```
LinearAntrieb.forward(speedFast);
delay(bewegungsZeitLinear);
LinearAntrieb.backward(speedFast);

while(!digitalRead(endschalterUnten)) { delay(1); }
LinearAntrieb.brake();

klappe.write(posKlappeOffen);
delay(zeitEntleeren);
klappe.write(posKlappeGeschlossen);
```

Der Container wird über den Linearantrieb aufgenommen. Die Endlage wird zusätzlich über den Endschalter geprüft (Gabel unten). In der Abwurffzone wird die Klappe per Servo geöffnet, damit die Container herausfallen. Danach wird die Klappe wieder geschlossen.

## 8. Webserver

```
AsyncWebServer server(80);
AsyncWebSocket ws("/ws");

server.on("/", HTTP_GET, ... "/index.html");
server.on("/styles.css", HTTP_GET, ...);
server.on("/script.js", HTTP_GET, ...);

if (msg == "start") sendStartSignal();
else if (msg == "stop") sendStopSignal();
else if (msg == "estop") sendEmergencyStop();
```

Der ESP32 stellt einen Webserver bereit und liefert die Weboberfläche aus dem Dateisystem (LittleFS). Über WebSocket-Nachrichten werden Start/Stop/Not-Aus ausgelöst. Dadurch kann der Roboter drahtlos bedient werden.

## 9. Serielle Kommunikation ESP32 – Arduino

```
HardwareSerial& ArduinoSlave = Serial2;
ArduinoSlave.begin(baudrate, SERIAL_8N1, RX_PIN, TX_PIN);

if (msg.startsWith("[LOG]")) logToWebinterface(logmsg);

void sendStartSignal(){ ArduinoSlave.println("[START]"); }
void sendStopSignal(){ ArduinoSlave.println("[STOP]"); }
```

Der ESP32 kommuniziert über UART (Serial2) mit dem Arduino. Der Arduino sendet Logmeldungen im Format [LOG], welche auf der Webseite angezeigt werden. Umgekehrt sendet der ESP32 die Steuerbefehle [START] und [STOP] an den Arduino.

## 10. Sensordaten

```
server.on("/sensors", HTTP_GET, [] (AsyncWebRequest *request){
    JsonDocument sensorDaten;
    sensorDaten["voltage"] = voltage;
    sensorDaten["current"] = current;
    String json; serializeJson(sensorDaten, json);
    request->send(200, "application/json", json);
});
```

Die Messwerte werden als JSON über den Endpoint /sensors bereitgestellt. So kann die Webseite zyklisch die aktuellen Werte abfragen und darstellen.

## 11. Messung

```
INA3221 ina(INA3221_ADDR40_GND);

void current_measure_init() {
    Wire.begin(I2C_SDA, I2C_SCL);
    ina.begin(&Wire);
    ina.reset();
    ina.setShuntRes(100, 100, 100);
}

float getCurrent(int channel){ return ina.getCurrent(INA3221_CH1); }
float getVoltage(int channel){ return ina.getVoltage(INA3221_CH1); }
```

Der INA3221 wird via I<sup>2</sup>C initialisiert und liefert Strom- und Spannungswerte. Diese Werte werden über updateSensorData() aktualisiert und anschliessend im Web-Interface angezeigt. So ist der Zustand der Versorgung während des Betriebs sichtbar.

## 4 Technische Schlussfolgerungen

- Aus der Umsetzung sowie den durchgeföhrten Tests des EcoDrop3-Systems konnten zentrale technische Erkenntnisse gewonnen werden. Ziel war die Entwicklung eines möglichst einfachen und robusten Systems, das sich durch ein geringes Gewicht, eine niedrige konstruktive Komplexität sowie einen nachhaltigen Materialeinsatz auszeichnet. Im Verlauf der Tests zeigte sich deutlich, dass die Funktionssicherheit des Systems massgeblich vom Zusammenspiel zwischen Mechanik, Elektronik und Software abhängt.
- Die mechanische Umsetzung des Systems erwies sich grundsätzlich als robust und konstruktiv einfach, reagierte jedoch sensibel auf die Positionierungsgenauigkeit bei der Containeraufnahme. Mithilfe von zwei separaten Testdummymys konnten die beiden kritischen Aspekte des Systems unabhängig voneinander untersucht werden. Der erste Schwerpunkt lag auf dem punktgenauen Anfahren der Container. Diese Anforderung konnte mechanisch einfach umgesetzt werden, insbesondere durch den Einsatz von Mecanum-Rädern, welche eine präzise Bewegung in alle Richtungen ermöglichen. Der zweite Schwerpunkt betraf die eigentliche Aufnahme und Weiterleitung der Container. Dieser Prozess erwies sich als deutlich aufwendiger, da mehrere mechanische Übergabeschritte zuverlässig funktionieren mussten. Dazu zählen die Containeraufnahme, die Übergabe an das Schienensystem, der interne Weitertransport sowie abschliessend der Auswurf über die Klappenmechanik
- Endschalter und Sensoren lieferten zuverlässige Referenzpunkte für reproduzierbare Abläufe. Gleichzeitig wurde deutlich, dass eine saubere elektrische Dokumentation für Wartbarkeit und Nachvollziehbarkeit unerlässlich ist.

Die softwareseitige Umsetzung mit einer zustandsbasierten Ablaufsteuerung hat sich als geeignetes und funktionales Grundkonzept erwiesen. Durch die strukturierte Umsetzung konnte der Prozess nachvollziehbar und stabil realisiert werden. In weiteren Ausbaustufen könnten zusätzliche Funktionen zur Fehlerbehandlung und Diagnose ergänzt werden, um die Betriebssicherheit weiter zu erhöhen. Insgesamt ist das System technisch realisierbar und bietet eine solide Basis für zukünftige Optimierungen

## 4.1 Technische Auswertung Mechanik

Betreff	Sachlage	Feststellung
Positiv	Rahmenmaterial	Das Rahmenmaterial trägt alle Baugruppen und beeinflusst massgeblich Gewicht und Stabilität des Systems.
	Rahmen Bauweise	Für eine stabile Rahmen Bauweise wurde mit einer Bodenplatte gearbeitet worauf mit schlanken, aber soliden Einzelteilen aufgebaut wurde.
	Räder Wahl und Anzahl	Zu Projektbeginn war die Wahl der Räder sowie deren Anzahl noch offen, da diese die grundlegende Fahrweise bestimmen.
	Gabelstapler System	Das Gabelstapler-System wurde aufgrund seiner einfachen Funktionsweise früh in Betracht gezogen.
	3D-Druck	Halterungen sowie das Schienensystem wurden überwiegend im 3D-Druck gefertigt.
	Linearantrieb	Der Linearantrieb wurde direkt nach der Konzeptionsphase beschafft und in die Konstruktion integriert.
	Abwurf über Klappe	Für den Abwurf wurde eine einfache Klappe entwickelt, wobei die Container über geneigte Schienen zur Öffnung geführt und anschliessend sortiert abgeworfen werden.
	Kugellager	Die Kugellager mussten kostengünstig sein und mit möglichst geringer Reibung arbeiten, weshalb zunächst offene Lager evaluiert wurden.
Negativ		Aus Sicht des Teams führt die Materialwahl zu einem stabilen Aufbau bei geringem Gewicht und ermöglicht dadurch ein gut kontrollierbares Gesamtsystem.
		Mit dieser Bauweise konnte das Team die gesamte Entwicklung von frühen Tests bis zur finalen Ausführung auf Basis einer lasergeschnittenen Bodenplatte effizient umsetzen.
		Aus Sicht des Teams erwies sich die frühe Tendenz zu vier Mecanumräädern als sinnvoll, da gleichzeitig eine alternative Lösung offen gehalten und die finale Entscheidung fundiert getroffen werden konnte.
		Das Team erkennt, dass dieses Prinzip eine nachhaltige Lösung darstellt, da weniger Ressourcen benötigt werden, Over Engineering vermieden wird und unnötige Kosten sowie komplexe Steuerungen entfallen.
		Aus Sicht des Teams eröffnete der 3D-Druck in der Prototypenentwicklung grosse Freiheiten und ermöglichte schnelle Anpassungen.
		Das Team stellte fest, dass der Linearantrieb zuverlässig funktionierte, mit überschaubarem Konstruktionsaufwand montiert werden konnte und schnell einsatzbereit war.
		Aus Sicht des Teams konnte der Nachhaltigkeitsaspekt erfolgreich umgesetzt werden, da mit wenig Steuerung und einer einfachen, präzisen Mechanik ein zuverlässiger Abwurf realisiert wurde.
		Das Team stellte fest, dass diese Lager im Verlauf der Entwicklung beschädigt wurden, was einen Austausch notwendig machte, um im finalen Prototyp einen einwandfreien Lauf sicherzustellen.

## 4.2 Technische Auswertung Software & Elektronik

Betreff	Sachlage	Feststellung	
Positiv	Räder Wahl und Anzahl	Zu Projektbeginn war die Wahl der Räder sowie deren Anzahl noch offen, da diese die grundlegende Fahrweise bestimmen.	Das Konstruktionsteam hatte zu Beginn einige bedenken, dass die Mecanum Räder zu kompliziert zum Ansteuern wären. Diese Sorgen waren unbegründet. Durch den Einsatz sauberer Funktionen wurden die Bewegungen einmal definiert und haben danach einwandfrei funktioniert.
	Motoren	Es standen Schrittmotoren sowie Bürstenlose DC-Motoren zur Auswahl. Aufgrund des effizienteren Betriebs hat sich das Team für die BLDC-Motoren entschieden.	Zu Beginn waren wir uns unsicher, ob wir noch zusätzliche Sensoren zur Überwachung der BLDC-Motoren benötigen. Es stellte sich nach einigen Tests heraus, dass diese nicht benötigt wurden. Die BLDC-Motoren stellten sich als äusserst zuverlässig heraus.
	Distanzsensoren	Ursprünglich gingen wir davon aus, Ultraschallsensoren zu verwenden. Da diese einige Probleme bereiteten, haben wir später auf ToF-Sensoren gewechselt.	Die Ultraschallsensoren hatten zum einen eine relativ hohe Toleranz, was jedoch das grössere Problem war, war dass die Werte sehr schwankten. Durch den Wechsel auf ToF, sowie der Implementierung einer Signal-Dämpfung konnten wir diese Problematik eliminieren.
	Linearantrieb	Der Linearantrieb wurde direkt nach der Konzeptionsphase beschafft und in die Konstruktion integriert.	Die elektrische Ansteuerung erwies sich als sehr einfach, da der Linearantrieb integrierte Endanschläge besitzt und ein Überfahren so verhindert.
	Abwurf über Klappe	Die Klappe wird über einen Servomotor angesteuert. Dieser wurde bewusst mit einer Rutschkupplung ausgewählt, um einen frühzeitigen defekt auszuschliessen.	Dank der Rutschkupplung konnte der Servo auch Situationen überstehen, in denen dieser versehentlich blockiert wurde.
	I2C ToF	In der Theorie können die Time-of-Flight Sensoren auf eine spezifische I2C-Adresse geschrieben werden.	In der Praxis stellte sich dies als unzuverlässig heraus, weshalb man sich für einen I2C multiplexer entschied. Dieser kann zwar etwas langsamer sein als die direkte Ansteuerung, erwies sich aber als äusserst zuverlässig.

## 5 Anleitungen

### 5.1 Wartungsanleitung

#### Zweck der Wartung

Der Recyclingroboter EcoDrop3 ist ein mechatronisches System, bei dem mechanische, elektrische und elektromechanische Komponenten dauerhaft zusammenwirken. Während des Betriebs wirken auf diese Bauteile wiederkehrende mechanische Lasten, elektrische Ströme sowie Umwelteinflüsse. Wartungen sind erforderlich, um diese Belastungen kontrollierbar zu halten und die Betriebssicherheit langfristig zu gewährleisten.

Mechanische Komponenten unterliegen einem fortschreitenden Verschleiss. Lager, Führungen und Antriebselemente werden zyklisch belastet und können durch Materialermüdung, Reibung oder Fehlstellungen beschädigt werden. Schäden entwickeln sich häufig schleichend und sind im frühen Stadium meist nur durch Sicht- oder Geräuschveränderungen erkennbar. Regelmäßige Sichtprüfungen ermöglichen das frühzeitige Erkennen von Rissen, Verformungen oder übermässiger Abnutzung.

Zusätzlich liefern akustische Prüfungen wichtige Hinweise auf den Zustand der Mechanik. Veränderte Laufgeräusche von Lagern, Linearantrieb oder Elektromotoren sind typische Indikatoren für beginnenden Verschleiss, Schmierungsprobleme oder mechanische Fehlbelastungen. Eine rechtzeitige Erkennung verhindert Folgeschäden und ungeplante Stillstände.

Elektrische Komponenten sind ebenfalls wartungsrelevant. Leitungen und Steckverbindungen sind Vibratiorionen, thermischen Belastungen und Alterungsprozessen ausgesetzt. Dies kann zu Kontaktproblemen, erhöhtem Übergangswiderstand oder Leitungsunterbrüchen führen. Sichtprüfungen und elektrische Messungen dienen dazu, diese Fehlerquellen frühzeitig zu identifizieren.

Mit zunehmender Betriebsdauer steigt zudem die Bedeutung der Batteriezustandsüberwachung. Akkumulatoren verlieren unter zyklischer Belastung an Kapazität und Leistungsfähigkeit. Ein Batteriebelastungstest bildet reale Betriebsbedingungen ab und ermöglicht eine verlässliche Beurteilung des energetischen Systemzustands.

Bestimmte Bauteile gelten konstruktionsbedingt als Verschleissteile. Lager und Linearantrieb erreichen nach einer definierten Betriebszeit das Ende ihrer technisch sicheren Lebensdauer. Der präventive Austausch dieser Komponenten ist notwendig, um die Funktionssicherheit des Gesamtsystems zu erhalten.

## Wartung als Massnahme zum Schutz von Leib und Leben

Die vorgesehenen Wartungsschritte ergänzen die konstruktiven und softwareseitigen Sicherheitsmaßnahmen des Recyclingroboters EcoDrop3 und tragen zur langfristigen Sicherstellung der Betriebssicherheit bei. Als halbautonomes betriebenes System ist der Roboter für einen kontrollierten und sicheren Betrieb ausgelegt, sofern sich alle Komponenten innerhalb ihres vorgesehenen Zustands befinden.

Betriebsbedingter Verschleiss, Alterungsprozesse oder äussere Einflüsse können im Laufe der Nutzung zu Abweichungen vom optimalen Zustand führen. Mechanische und elektrische Prüfungen sowie der präventive Austausch definierter Verschleissteile stellen sicher, dass solche Abweichungen frühzeitig erkannt und behoben werden, bevor sie sich auf den Betrieb auswirken.

Durch die regelmässige und fachgerechte Durchführung der Wartungen bleibt der vorgesehene Sicherheitsstandard erhalten und der zuverlässige Betrieb des Systems wird dauerhaft unterstützt, wodurch potentielle Risiken für Mensch und Leben minimiert werden.

### Mechanische Wartung

**Ziel:** Bewegliche Teile laufen sauber und ohne Schäden

Die mechanische Wartung dient dem langfristigen Erhalt aller beweglichen Komponenten des Roboters. Durch regelmässiges Schmieren der Greiferwelle über den Schmiernippel wird Reibung reduziert und vorzeitigem Verschleiss entgegengewirkt. Der Ölwechsel im Planetengetriebe des Antriebs stellt sicher, dass Zahnräder und Lager zuverlässig geschmiert sind und keine thermischen oder mechanischen Schäden entstehen. Die Einhaltung des Wartungsintervalls von sechs Monaten ist entscheidend, um einen ruhigen Lauf, gleichmässige Kraftübertragung und eine hohe Lebensdauer der Mechanik zu gewährleisten.

### Elektrische Wartung

**Ziel:** Sichere Stromversorgung und zuverlässige Signale

Die elektrische Wartung stellt sicher, dass alle Strom- und Signalverbindungen zuverlässig funktionieren. Dazu gehört die Kontrolle von Kabeln, Steckverbindungen und Klemmen auf festen Sitz, Beschädigungen oder Korrosion. Lockere oder beschädigte Verbindungen können zu Spannungsabfällen, Signalstörungen oder Totalausfällen führen. Eine regelmässige Sicht- und Funktionsprüfung minimiert das Risiko von Kurzschlüssen und erhöht die Betriebssicherheit des gesamten Systems.

### Elektronik und Steuerung

**Ziel:** Steuerung arbeitet fehlerfrei

In diesem Wartungsschritt wird die zentrale Elektronik und Steuerung des Roboters überprüft. Dazu zählt die Kontrolle von Steuerplatten, Treibern und Sensoranschlüssen auf sichtbare Schäden, Überhitzung oder Fehlermeldungen. Ziel ist es sicherzustellen, dass alle elektronischen Komponenten innerhalb ihrer vorgesehenen Parameter arbeiten und die Steuerung die Befehle korrekt verarbeitet. Eine fehlerfreie Steuerung ist Voraussetzung für präzise Bewegungen und einen sicheren Betrieb.

## Software und Funktionstest

Ziel: Roboter reagiert korrekt

Der Software- und Funktionstest überprüft das Zusammenspiel zwischen Software, Elektronik und Mechanik. Beim Starttest wird der Roboter eingeschaltet und die Grundfunktionen werden kontrolliert, um sicherzustellen, dass keine unerwarteten Bewegungen auftreten. Anschliessend folgt der Bewegungstest, bei dem Geradeausfahrten sowie Drehungen nach links und rechts geprüft werden. Dabei wird insbesondere auf die Reaktionszeit der Motoren geachtet. Der Not-Aus- und Abschalttest stellt sicher, dass der Roboter jederzeit sicher abgeschaltet werden kann und keine Nachlaufbewegungen auftreten. Dieser Abschnitt ist essenziell für die funktionale Sicherheit des Systems.

## Reinigung

Ziel: Vermeidung von Fehlfunktionen durch Schmutz

Die Reinigung verhindert Störungen, die durch Staub, Schmutz oder Ablagerungen verursacht werden können. Elektronische Komponenten werden vorsichtig von Staub befreit, um Überhitzung oder Kontaktprobleme zu vermeiden. Mecanum-Wheels und die Bodenplatte werden gereinigt, um eine gleichmässige Kraftübertragung und saubere Bewegung sicherzustellen. Es ist darauf zu achten, dass keine Feuchtigkeit auf Platinen oder elektrische Bauteile gelangt, da dies zu Kurzschlüssen oder Korrosion führen kann.

## Entsorgung

In diesem Kapitel geht es um die gerechte Entsorgung (auch gemeint ist umweltgerechte / fachgerechte Entsorgung) des Roboters. Es geht darum die Umwelt zu schützen, der Vermeidung von Schadstoffen im Hausmüll und der Wiederverwertung von wertvollen Materialien (Recycling).

Der Roboter muss in deine Baugruppen und Einzelteile zerlegt werden. Wichtig ist, dass nicht alles zusammen entsorgt wird. Für eine strukturierte Übersicht siehe Explosionsdarstellung des Roboters.

Platinen, Sensoren und Controller enthalten Metalle und teils Schadstoffe. Diese Elektronik müssen als Elektroschrott bei Sammelstellen, Recyclinghöfen oder Elektronikfachhandel abgegeben werden. Die Akkus und Batterien sind vom Roboter zu trennen und nicht im Hausmüll zu entsorgen. Es herrscht Brandgefahr.

Mechanische Bauteile am Roboter werden in 3 Sparten unterteilt:

1. Metallteile, diese landen im Metallschrott
2. Kunststoffteile, diese gehören zum Kunststoffrecycling
3. Flachs-Composite-Bauteile mit Standartabfall entsorgen
4. Schrauben, diese kommen ins Metallrecycling

Kabel und Leitungen enthalten Kupfer. Diese sollten bei Elektroschrott oder noch besser einer Kabelsammlung abgegeben werden.

Re-Use: Noch funktionsfähige Sensoren, Motoren oder Platinen werden nicht entsorgt, sondern werden für weitere Schulprojekte weiterverwendet.

Fazit: Wir sind uns die gesetzliche und ökologische Verantwortung bewusst und unsere vorgeschriebene Entsorgung erfolgt gemäss den geltenden Umweltvorschriften.

## Dokumentation

Ziel: Wartung nachvollziehbar machen

Die Dokumentation ist ein zentraler Bestandteil der Wartung und dient der Nachvollziehbarkeit und Qualitätssicherung. Das Datum jeder Wartung wird festgehalten, ebenso alle festgestellten Mängel oder Abweichungen vom Soll-Zustand. Durchgeführte Reparaturen, Anpassungen oder ausgetauschte Teile werden dokumentiert. Diese Aufzeichnungen ermöglichen eine lückenlose Wartungshistorie und unterstützen zukünftige Fehlersuchen sowie Projekt- oder Prüfungsnachweise. Verwenden Sie dafür unser Serviceheft. (Anhang 2: Serviceheft – Wartungsnachweis)

## Wartungsintervall

Für den EcoDrop3 sind drei Wartungsstufen definiert. Diese sind zeitlich aufeinander abgestimmt und werden über das Webinterface gemeldet. (Anhang 1: Berechnung Lebensdauer)

### 100 Betriebsstunden – Basiswartung

Die Basiswartung dient der Früherkennung von Verschleiss und Beschädigungen. Nach jeweils 100 Betriebsstunden ist eine Sichtprüfung aller mechanischen Komponenten durchzuführen. Dabei werden Rahmen, Fahrwerk, Greifer, Linearantrieb und Abladesystem auf Brüche, Verformungen oder Abnützungen geprüft. Zusätzlich erfolgt eine Sichtprüfung aller elektrischen Leitungen auf Isolationsschäden, Scheuerstellen oder lose Befestigungen.

Ergänzend wird eine akustische Prüfung durchgeführt. Während des Betriebs werden Mechanik und elektrische Motoren gezielt abgehört. Ungewöhnliche Geräusche, Laufunruhe oder veränderte Tonlagen sind zu dokumentieren und zu bewerten. Defekte Bauteile sind zu ersetzen. Festgestellte Abnützungen sind zu dokumentieren, auch wenn noch kein unmittelbarer Austausch erforderlich ist.

### 500 Betriebsstunden – Erweiterte Wartung

Die erweiterte Wartung vertieft die Prüfungen der Basiswartung und ergänzt diese um elektrische und korrosionsrelevante Kontrollen. Nach jeweils 500 Betriebsstunden sind alle elektrischen Steckverbindungen zu prüfen. Dabei wird auf Korrosion, Oxidation und festen Sitz geachtet.

Zusätzlich ist eine Durchgangsprüfung der elektrischen Leitungen durchzuführen, um Unterbrüche oder erhöhte Widerstände auszuschliessen. Das Batteriesystem wird einem Batteriebelastungstest unterzogen. Dabei wird das Verhalten unter Last bewertet, um Kapazitätsverlust oder Spannungsabfälle zu erkennen. Abschliessend erfolgt eine allgemeine Korrosionsüberprüfung aller metallischen Bauteile.

### 2500 Betriebsstunden – Generalservice

Der Generalservice stellt eine präventive Erneuerung sicherheitsrelevanter Verschleissteile dar. Nach jeweils 2500 Betriebsstunden sind die Lager der Containerführung sowie das Lager am Linearantrieb vollständig zu ersetzen. Zusätzlich ist der Linearantrieb als Gesamteinheit auszutauschen, unabhängig vom äusseren Zustand.

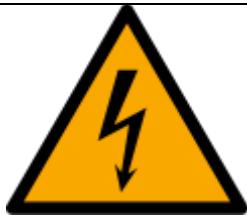
Dieser Austausch erfolgt vorsorglich, da die betroffenen Komponenten dauerhaft unter Last stehen und ein Versagen zu einem vollständigen Systemausfall führen würde. Nach dem Austausch ist ein vollständiger Funktionstest durchzuführen und der neue Betriebszustand zu dokumentieren.

## Sicherheitskennzeichnung und Warnhinweise

Zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs des Roboters werden normierte Sicherheitszeichen gemäss ISO 7010 eingesetzt. Diese weisen auf Verbote, Gefahren und verpflichtende Handlungen hin und sind am Roboter sowie in der Dokumentation eindeutig gekennzeichnet.

### Warnzeichen

Warnzeichen weisen auf potenzielle Gefahrenquellen hin, die bei unsachgemäßem Verhalten zu Verletzungen führen können.

Symbol	Bedeutung	Spezifikation Roboter
	Warnung vor elektrischer Spannung	Am Roboter liegen spannungsführende elektrische Komponenten an, insbesondere im Bereich der Steuerung und der Stromversorgung. Ein Kontakt kann zu einem elektrischen Schlag führen.
	Warnung vor automatischem Anlauf	Der Roboter kann nach dem Einschalten oder nach einem Reset selbstständig Bewegungen ausführen. Es ist sicherzustellen, dass sich keine Personen im Gefahrenbereich befinden.
	Warnung vor Handverletzungen	Im Bereich der Greifermechanik und beweglicher Antriebsteile besteht Quetsch- und Einklemmgefahr. Hände dürfen nicht in den Bewegungsbereich des Roboters gebracht werden.
	Warnung vor Gefahren durch das Aufladen von Batterien	Beim Laden der Batterien können Hitze, Funken oder austretende Gase entstehen. Der Ladevorgang darf nur unter Aufsicht und gemäss Herstellerangaben erfolgen.
	Warnung vor Überrollen durch ferngesteuerte Maschine	Der Roboter bewegt sich autonom und kann Personen überrollen. Der Arbeitsbereich ist während des Betriebs freizuhalten.

## Verbotszeichen

Verbotszeichen kennzeichnen Handlungen, die im Betrieb oder während der Wartung des Roboters nicht zulässig sind, da sie zu Verletzungen oder Sachschäden führen können.

Symbol	Bedeutung	Spezifikation Roboter
	Aufsteigen verboten	Der Roboter ist nicht dafür ausgelegt, das Gewicht von Personen zu tragen. Ein Aufsteigen kann zu Beschädigungen oder Verletzungen führen.
	Betreten der Fläche verboten	Der definierte Arbeitsbereich des Roboters darf während des Betriebs nicht betreten werden, da unvorhersehbare Bewegungen auftreten können.
	Verbot, dieses Gerät in der Badewanne, Dusche oder über mit Wasser gefülltem Becken zu benutzen	Der Roboter ist nicht gegen Wasser geschützt. Der Betrieb in feuchter oder nasser Umgebung kann zu Kurzschlägen und Schäden führen.
	Für Personen im Rauschzustand verboten	Der Roboter darf nur von nüchternen und eingewiesenen Personen bedient werden, da Fehlbedienungen zu gefährlichen Situationen führen können.

## Gebotszeichen

Gebotszeichen geben zwingend einzuhaltende Handlungen vor, um einen sicheren Umgang mit dem Roboter zu gewährleisten.

Symbol	Bedeutung	Spezifikation Roboter
	Gebrauchsanweisung beachten	Vor Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung des Roboters ist die Gebrauchsanweisung vollständig zu lesen und einzuhalten. Fehlbedienungen können zu Schäden oder gefährlichen Situationen führen.
	Netzstecker ziehen	Vor Wartungs-, Reinigungs- oder Reparaturarbeiten ist der Roboter vollständig vom Stromnetz zu trennen. Dadurch wird das Risiko eines elektrischen Schlages oder eines unbeabsichtigten Anlaufs verhindert.
	Von Kindern fernhalten	Der Roboter darf nicht von Kindern bedient oder als Spielgerät verwendet werden. Unbefugter Zugriff kann zu Verletzungen oder Beschädigungen führen.

## Haftungsausschlussserklärung

Der Hersteller des Recyclingroboters EcoDrop3 übernimmt Garantie- und Haftungsansprüche ausschliesslich unter der Voraussetzung, dass alle vorgesehenen Wartungen fachgerecht, fristgerecht und gemäss Serviceheft durchgeführt werden.

Die Wartungen müssen durch eine qualifizierte Servicestelle oder durch entsprechend geschultes Fachpersonal erfolgen. Sämtliche Wartungsarbeiten sind vollständig zu dokumentieren und nachvollziehbar zu protokollieren.

Werden Wartungen nicht, nicht vollständig oder nicht innerhalb der vorgegebenen Intervalle durchgeführt, erlischt jeglicher Anspruch auf Garantie, Gewährleistung oder Haftung seitens des Herstellers. Dies gilt insbesondere bei Schäden, die auf unterlassene Prüfungen, nicht ersetzte Verschleissteile oder unsachgemäße Wartungsarbeiten zurückzuführen sind.

Der Hersteller übernimmt keine Haftung für direkte oder indirekte Schäden an Personen, Sachwerten oder der Umwelt, die aus einem nicht ordnungsgemäss gewarteten System resultieren. Der Weiterbetrieb des EcoDrop3 ohne nachweislich durchgeführte Wartung erfolgt auf eigenes Risiko der betreibenden Stelle.

## 5.2 Betriebsanleitung

### Allgemeine Informationen



Die gesamte Betriebsanleitung aufmerksam durchlesen.

Lesen Sie die Betriebsanleitung sorgfältig durch, bevor Sie den Roboter in Betrieb nehmen. Die Anweisungen in der Betriebsanleitung sind zwingend und zu jedem Zeitpunkt einzuhalten. Der Hersteller übernimmt keine Haftung bei Schäden, welche durch nicht sachgemäßen Gebrauch entstanden sind.

### Bestimmungsgemäße Verwendung

#### Ausgangszustand

Der Roboter befindet sich auf der Ladestation auf dem zugehörigen Spielfeld. Die Räder sind in den entsprechenden Ausbuchtungen. Die Ladestation ist an eine Spannungsversorgung angeschlossen.

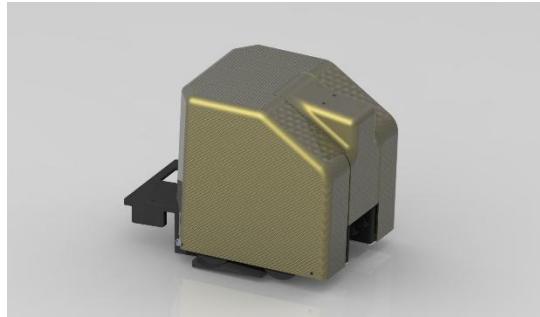


Abbildung 43: Roboter in Ladestation



Kontrollieren Sie die Batterien regelmässig auf Schäden!

#### Einschalten

Der Roboter wird mit dem seitlich montierten Kippschalter eingeschaltet. Innert weniger Sekunden ist der Roboter bereit zu Herstellung einer Verbindung.

#### Verbinden mit dem Roboter

Um sich mit dem Roboter zu verbinden, benötigt man ein Wifi-Fähiges Gerät mit Internetbrowser.

Man verbinde sich mit dem Wifi-Netzwerk "ECODROP3". Das Passwort lautet "auepTeam3".

Evtl. Erscheint eine Warnung, dass das gewählte Netzwerk keinen Internetzugang hat. Diese kann ignoriert werden.

## Webinterface öffnen

Im Internetbrowser (z.B. Firefox) die Adresse "192.168.4.1" öffnen.  
Mit "Start" wird der Roboter gestartet, mit "Stop" wird der Prozess unterbrochen.  
Im Notfall kann "Not-Aus" betätigt werden, um den Roboter sofort zu stoppen.

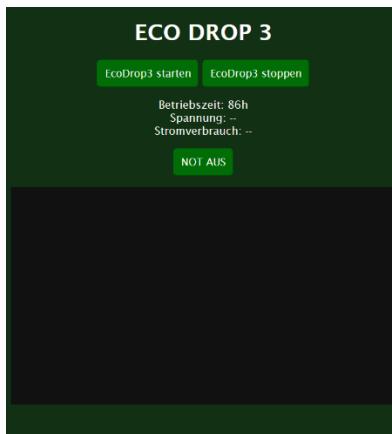
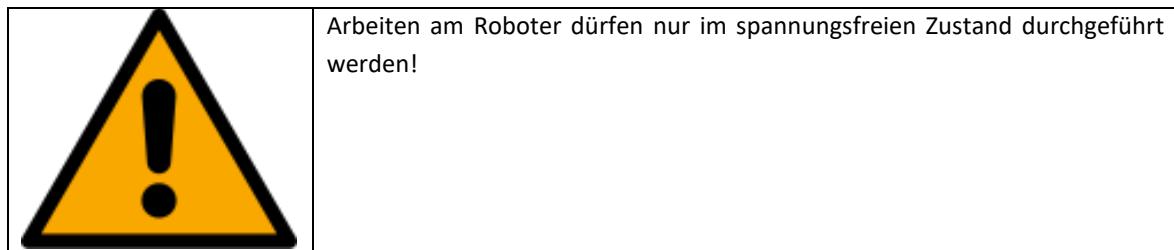


Abbildung 44: Webinterface

## Sicherheitshinweise

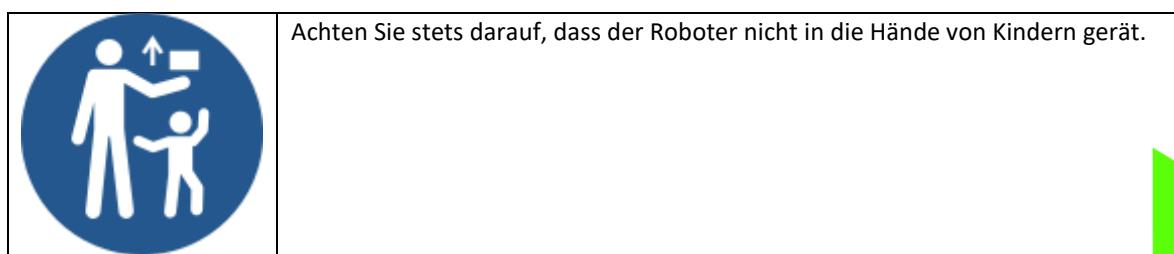


Arbeiten am Roboter dürfen nur durch qualifiziertes Fachpersonal ausgeführt werden. Die Wartungsanleitung ist stets zu befolgen. Es wird empfohlen, Reparatur und Wartung durch einen Servicetechniker des Teams EcoDrop3 durchführen zu lassen.

Sicherheitsmechanismen dürfen nicht überbrückt oder anderweitig manipuliert werden. Änderungen am Roboter sind stets zu dokumentieren.

Der Roboter darf nur durch instruiertes Personal bedient werden.

Die Batterien sind regelmässig auf Beschädigungen zu kontrollieren.



## 6 Nachhaltigkeitsbericht

### 6.1 Ziel und Umfang

Dieser Nachhaltigkeitsbericht zeigt, wie nachhaltig unser Funktionsmuster aus ökologischer und sozialer Sicht ist. Zusätzlich wird dokumentiert, welche konkreten Massnahmen im Projekt umgesetzt wurden, um Nachhaltigkeit tatsächlich zu berücksichtigen und nicht nur theoretisch zu behandeln. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der Materialwahl, der Energieversorgung sowie auf dem gesamten Lebenszyklus des Roboters, bestehend aus Herstellung, Betrieb, Wartung sowie Wiederverwendung beziehungsweise Entsorgung.

Ergänzend werden soziale und ethische Aspekte betrachtet. Alle beschriebenen Massnahmen und Entscheidungen sind so dokumentiert, dass sie für Dritte nachvollziehbar sind.

#### Kurzbeschreibung des Produkts und Systemgrenze

Unser Roboter zeigt im Modellmaßstab von maximal ca.  $250 \times 250 \times 250$  mm, dass ein autonomes System grundsätzlich in der Lage ist, Container selbstständig anzufahren, aufzunehmen beziehungsweise zu handhaben und anschließend sortenrein wieder abzuladen. Zur AÜP-Aufgabe gehören zusätzlich ein Monitoring sowie eine automatische Ladestation.

Die Ladestation ist konzeptionell so ausgelegt, dass sie mit einer regenerativen Energiequelle betrieben werden kann. Der Roboter selbst wird über einen Akku versorgt.

Betrachtet werden die mechanischen Komponenten (inklusive 3D-Druckteile, Metallgrundplatte und Flachs-Composite-Anteile), Teile des Antriebs- und Hubsystems, das Energiesystem (Akku und Ladestationskonzept), die Elektronik und Steuerung sowie das Monitoring über ein Webinterface. Zusätzlich werden Nutzung, Wartung und die Weiterverwendung der Komponenten im Schulkontext berücksichtigt. Auch wird dokumentiert, welche konkreten Massnahmen im Projekt umgesetzt wurden, um Nachhaltigkeit nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch zu berücksichtigen.



Abbildung 45: Symbolbild Nachhaltigkeit

## 6.2 Nachhaltigkeit

### Materialwahl: Fokus Flachs-Composite



Abbildung 46: Flachs Composite

Ein zentrales Element unserer Nachhaltigkeitsstrategie ist der Einsatz von Flachs-Composite als Naturfaser-Verbundwerkstoff. Im aktuellen Prototyp wird dieses Material primär für die äussere Verkleidung des Roboters eingesetzt. Im Inneren des Systems kommen überwiegend 3D-gedruckte Kunststoffteile sowie Metallkomponenten, wie beispielsweise die Grundplatte und tragende Strukturen, zum Einsatz.

Flachsfasern dienen dabei als Verstärkung in einer Kunststoffmatrix. Im Vergleich zu klassischen Glas- oder Carbonfaser-Verbundwerkstoffen kann Flachs-Composite, abhängig vom Aufbau, ökologische Vorteile bieten. Diese ergeben sich insbesondere durch den Einsatz eines nachwachsenden Rohstoffs sowie durch eine potenziell geringere Treibhausgaswirkung über den gesamten Lebenszyklus.

Gleichzeitig wird bewusst reflektiert, dass die tatsächliche Nachhaltigkeit stark von der verwendeten Matrix (Harzsystem), der Herstellung (z. B. Anbau und Prozessierung der Fasern) sowie vom End-of-Life-Szenario abhängt.

#### Entstehung und Aufbereitung der Flachsfaser

Flachsfasern werden aus der Flachspflanze (*Linum usitatissimum*) gewonnen. Die Pflanze wächst innerhalb weniger Monate und bindet während dieser Zeit CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre. Die Fasergewinnung erfolgt in mehreren Prozessschritten:

**Rauen:** Die Flachspflanze wird samt Wurzel aus dem Boden gezogen, um möglichst lange Fasern zu erhalten.

**Rösten (Feld- oder Wasserröste):** Durch mikrobiologische Prozesse werden die Faserbündel vom holzigen Stiel gelöst.

**Brechen und Schwingen:** Mechanische Trennung der Bastfasern vom Schäbenmaterial.

**Hecheln:** Ausrichten und Reinigen der Fasern, um eine gleichmässige Faserqualität zu erzielen.

Die gewonnenen Langfasern werden anschliessend zu technischen Textilien weiterverarbeitet. Die Firma Bcomp nutzt diese Flachsfasern zur Herstellung der Produkte ampliTex und powerRibs, welche speziell für Faserverbundanwendungen entwickelt wurden und eine reproduzierbare Qualität für den technischen Einsatz bieten.



Abbildung 47: Flachspflanze

### Flachsfasern – Bcomp ampliTEx / powerRibs

Die im Projekt eingesetzten Flachsgelege «ampliTEx» und «powerRibs» zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- nachwachsender Rohstoff
- CO<sub>2</sub>-speichernde Pflanze während des Wachstums
- geringes spezifisches Gewicht
- gute Schwingungs- und Geräuschkämpfung
- natürliche Optik und angenehme Haptik

Die «powerRibs-Technologie» ermöglicht zusätzlich eine gezielte lokale Steifigkeitserhöhung. Dadurch kann der Materialeinsatz im Vergleich zu klassischen Rippen- oder Sandwichkonstruktionen reduziert werden, ohne die strukturelle Funktion zu beeinträchtigen.



Abbildung 48: Powerrips und AmpliTEx

### Harzsystem – Sicomin GreenPoxy 56

Als Matrixmaterial wird das Epoxidharz Sicomin GreenPoxy 56 eingesetzt. Dieses Harzsystem weist einen biobasierten Kohlenstoffanteil von bis zu ca. 56 % auf, welcher aus pflanzlichen Nebenprodukten gewonnen wird und fossile Rohstoffe ersetzt.

Das Harz ist sowohl für Handlaminat- als auch für Vakuuminfusionsverfahren geeignet und bietet gute mechanische Kennwerte. Im Vergleich zu konventionellen Epoxidharzen kann dadurch eine reduzierte Umweltbelastung erreicht werden.

## Energieversorgung – effizient und regenerativ ausgerichtet

Der Roboter wird akkubetrieben und ist an eine automatische Ladestation angebunden. Die AÜP-Vorgabe sieht vor, dass die Ladestation aus regenerativen Energiequellen, beispielsweise Photovoltaik, gespeist werden kann. Das Energiesystem ist daher grundsätzlich auf einen elektrischen und emissionsarmen Betrieb ausgelegt.

Zusätzlich zur elektrischen Energieversorgung ist vorgesehen, dass der Roboter unter einer überdachten Garage stationiert wird. Diese Garage dient nicht nur dem Witterungsschutz, sondern ist integraler Bestandteil des nachhaltigen Gesamtkonzepts. Durch die geschützte Abstellung wird der Roboter vor Regen, Schnee und direkter Sonneneinstrahlung geschützt, was den Verschleiss der mechanischen und elektronischen Komponenten reduziert und die Lebensdauer des Systems verlängert. Ergänzend zur elektrischen Energieversorgung ist die Garage mit einem Eisspeicher zur thermischen Temperierung ausgestattet. Der Eisspeicher dient als nachhaltiger thermischer Energiespeicher und ermöglicht sowohl eine effiziente Beheizung im Winter als auch eine passive Kühlung im Sommer.

Auf dem Dach der Garage können Photovoltaikmodule installiert werden, welche zur lokalen und regenerativen Stromerzeugung genutzt werden. Die erzeugte elektrische Energie wird über die Ladestation direkt in die Batterie des Roboters eingespeist. Dadurch kann ein Grossteil der für den Betrieb benötigten Energie aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt werden, ohne auf externe Stromversorgung angewiesen zu sein.

Zur Effizienzsteigerung trägt das integrierte Monitoring bei. Über ein Webinterface können relevante Systemzustände ausgelesen werden. Dadurch lassen sich Energie- und Prozessparameter transparent erfassen und Optimierungspotenziale ableiten, etwa durch die Vermeidung unnötiger Fahrwege oder Lastspitzen.

## Herstellungsphase

Die Konstruktion des Roboters besteht aus einer Metallgrundplatte, zahlreichen 3D-gedruckten Bauteilen sowie einer Verkleidung aus Flachs-Composite. Zugekaufte Komponenten, wie Räder oder Teile des Hubsystems, wurden gezielt dort eingesetzt, wo eine Eigenfertigung keinen technischen oder ökologischen Mehrwert geboten hätte.

Der Einsatz des Flachs-Composites beschränkt sich im aktuellen Prototypen bewusst auf die äussere Verkleidung des Roboters. Diese übernimmt nur schützende Aufgaben und trägt durch ihr geringes spezifisches Gewicht zur Reduktion der Gesamtmasse bei.

Bei der Herstellung wurde darauf geachtet, keine unnötigen Teile zu produzieren und den Materialabfall möglichst gering zu halten. Zusätzlich wurden vorhandene Bauteile aus früheren Robotikprojekten weiterverwendet, sofern diese technisch kompatibel waren. Dieses Vorgehen reduziert den Ressourcenverbrauch und vermeidet unnötige Neuproduktionen.

Für zukünftige Iterationen des Roboters ist vorgesehen, das Materialkonzept weiter auszubauen und den Anteil an Flachs-Composite im Gesamtsystem zu erhöhen. Denkbar ist beispielsweise der Einsatz des Materials für die Bodenplatte, um das Gesamtgewicht weiter zu reduzieren und gleichzeitig die Stoss- und Vibrationsdämpfung während der Fahrt zu verbessern. Ebenso bieten sich Halterplatten für Elektronikkomponenten an, da die natürlichen Dämpfungseigenschaften des Flachs-Composites einen zusätzlichen Schutz für Sensorik und Leiterplatten bieten können. Auch eine Batteriehalterung aus Flachs-Composite ist vorstellbar, da hier ein geringes Gewicht bei gleichzeitig ausreichender Steifigkeit sowie eine verbesserte Sicherheit durch vibrationsmindernde Eigenschaften erreicht werden kann.

Durch diese integrale Betrachtung der Systemintegration kann der Anteil nachhaltiger Materialien im Gesamtsystem schrittweise erhöht werden, ohne funktionale oder sicherheitsrelevante Anforderungen zu beeinträchtigen. Gleichzeitig entstehen neue konstruktive Freiheitsgrade für eine materialgerechte und ressourcenschonende Weiterentwicklung des Roboters.

## Betriebsphase

In der Betriebsphase entstehen Umweltwirkungen hauptsächlich durch den Stromverbrauch beim Fahren, Heben sowie durch die Elektronik und Steuerung. Die Umweltbilanz des Betriebs hängt stark von der Herkunft des verwendeten Stroms ab.

Durch die Kombination aus Akkubetrieb und einer Ladestation mit regenerativer Energieversorgung kann die Umweltbelastung im Betrieb deutlich reduziert werden. Dieser Ansatz entspricht nicht nur der AüP-Vorgabe, sondern stellt auch aus Sicht der Lebenszyklusbetrachtung eine sinnvolle Lösung dar.

Für den Betrieb des Roboters ist vorgesehen, Arbeitszyklen bevorzugt in die Nachtstunden zu verlagern. Dadurch kann die tagsüber durch die Photovoltaikanlage erzeugte Energie in der Batterie gespeichert und zeitversetzt genutzt werden. Dieses Betriebsmodell ermöglicht eine effiziente Nutzung der solar erzeugten Energie und reduziert die Notwendigkeit zusätzlicher Energiezufuhr während des Betriebs.

Der Nachtbetrieb bietet zusätzliche Vorteile, wie eine geringere Interaktion mit Personen oder Verkehr sowie eine gleichmässigere Auslastung des Systems. Insgesamt unterstützt dieses Konzept sowohl die energetische Effizienz als auch die Betriebssicherheit des Roboters.

Der Einsatz des Eisspeichers trägt zusätzlich zur Reduktion der Umweltwirkungen in der Betriebsphase bei. Durch die Nutzung von gespeicherter thermischer Energie können sowohl Heiz- als auch Kühlanforderungen der Garage weitgehend ohne zusätzliche elektrische Verbraucher abgedeckt werden. Dies erhöht den Energieverbrauch der regenerativ erzeugten Energie und verbessert die Gesamtenergieeffizienz des Systems.

## Wartung und Lebensdauer

Nachhaltigkeit hängt wesentlich davon ab, wie lange ein System sinnvoll genutzt werden kann. Der Roboter wurde daher modular aufgebaut, sodass viele Bauteile austauschbar, wiederverwendbar und standardisiert sind.

Die Flachs-Composite-Hülle ist als eigenständige Baugruppe ausgeführt und kann bei Bedarf ersetzt werden, ohne dass die gesamte Mechanik neu aufgebaut werden muss. Auch die 3D-gedruckten Innenbauteile sind so gestaltet, dass einzelne Komponenten separat nachgedruckt und ersetzt werden können. Die Metallgrundplatte dient als stabile Basis und bleibt als Träger erhalten.



Abbildung 49: Symbolbild Lebensdauer

Ergänzend ist vorgesehen, Regenwasser von der Garagendachfläche gezielt zu sammeln. Dieses Regenwasser kann in einem einfachen Speichersystem zwischengelagert und für die Reinigung des Roboters genutzt werden. Die Nutzung von Regenwasser reduziert den Bedarf an aufbereitetem Trinkwasser und unterstützt damit einen ressourcenschonenden Betrieb des Gesamtsystems.

Die regelmässige Reinigung des Roboters trägt zur Funktionserhaltung bei, da Verschmutzungen an Sensoren, Fahrwerk oder beweglichen Komponenten reduziert werden. Durch die Kombination aus Regenwassernutzung und geschützter Abstellung kann der Wartungsaufwand langfristig verringert werden.

## End-of-Life – Wiederverwendung statt Entsorgung

Für das Funktionsmuster ist keine Entsorgung im klassischen Sinne vorgesehen. Der Roboter wird nach Projektabschluss im Schulkontext ausgestellt und kann in zukünftigen Projekten weiterverwendet werden. Defekte Bauteile werden nach Möglichkeit ersetzt, anstatt das gesamte System zu entsorgen.

Gerade bei Verbundwerkstoffen wie Flachs-Composite ist das End-of-Life ein wichtiger Aspekt, da klassisches Recycling aufwendig ist. Daher wurde der Roboter so konstruiert, dass er zerlegbar ist und Materialgruppen möglichst trennbar bleiben. Der Fokus liegt klar auf Wiederverwendung vor Recycling.

## 6.3 Soziale Verantwortung und Teamaspekte

### Teamorganisation und Rollenverteilung

Unser Team bestand aus sieben Personen. Von Beginn an war uns wichtig, fair zusammenzuarbeiten und niemanden „hinten runterfallen“ zu lassen. Die Rollen wurden grundsätzlich klar nach Fachrichtungen verteilt (Maschinenbau, Systemtechnik sowie Energie- und Umwelttechnik), sodass jede Person einen nachvollziehbaren Verantwortungsbereich hatte. Gleichzeitig blieb die Aufgabenverteilung flexibel: Wenn jemand durch Krankheit, Unfall oder andere Gründe ausfiel, passten wir die Prioritäten an und verteilten Aufgaben neu. Sostellten wir sicher, dass das Projekt nicht an einzelnen Personen hing und der Fortschritt konstant blieb. Diese gegenseitige Verlässlichkeit und das Mitdenken füreinander sahen wir als zentralen Teil unserer sozialen Verantwortung im Projekt.

### Kommunikation, Umgang mit Belastung und Konflikte

Damit alle im Team gehört wurden, achteten wir auf kurze, klare Absprachen, unabhängig davon, wer eine Idee eingebracht hatte. Entscheidungen wurden im Team kurz diskutiert und anschliessend festgehalten, damit es später keine Missverständnisse gab. Organisatorisch half uns eine einfache, aber konsequente Struktur (z. B. Aufgabenliste, Teams-Chat und kurze Protokolle), damit offene Punkte sichtbar blieben und alle denselben Informationsstand hatten.

Wenn etwas nicht wie geplant lief oder Stress aufkam, sprachen wir Probleme frühzeitig an. Statt zu warten, bis es „knallt“, klärten wir direkt: Was ist das Problem, was ist jetzt wichtig und wer übernimmt was? Das half uns, Konflikte klein zu halten und lösungsorientiert zu bleiben. Insgesamt zeigte sich, dass erfolgreiche Projektarbeit nicht nur technisch ist: Verbindlichkeit, Respekt, transparente Kommunikation und gegenseitige Unterstützung waren entscheidend, damit wir als Team zuverlässig arbeiten konnten.

## 6.4 Nutzen und Risiken der Technologie

### Gesellschaftlicher Nutzen

Das Projekt zeigt im Modellmaßstab, dass es grundsätzlich möglich ist, einen Roboter zu entwickeln, der Container autonom anfährt, aufnimmt und wieder verteilt. Für uns ist der gesellschaftliche Nutzen nicht nur die Funktion im Mini-Format, sondern vor allem die Idee dahinter: Wenn man das System real grösser skaliert, könnten solche Roboter in Zukunft körperlich belastende oder repetitive Logistikarbeiten unterstützen. Ein mögliches Einsatzgebiet wären zum Beispiel Quartierstrassen oder Areale mit mehreren Sammelstellen, wo Container regelmässig bewegt oder richtig verteilt werden müssen. Das könnte Prozesse effizienter machen und gleichzeitig Menschen entlasten.

Wichtig ist aber: So ein Einsatz macht nur Sinn, wenn Sicherheit, klare Regeln und eine saubere technische Absicherung erfüllt sind (z. B. im Umgang mit Verkehr, Fussgängern und schweren Lasten).

### Grenzen und Risiken der Automatisierung

Wir reflektieren bewusst auch die Grenzen:

- Sicherheit im Realbetrieb:  
In einer echten Umgebung (Autos, Fussgänger, unvorhersehbare Situationen) braucht es redundante Sensorik, sichere Bewegungsplanung, Notfallkonzepte und Tests/Zertifizierungen.
- Mechanische Risiken beim Heben schwerer Lasten:  
Skalierung auf „echte“ Container erhöht Anforderungen an Stabilität, Kippmoment, Greif-/Hubzverlässigkeit und Personensicherheit (Quetsch-/Kollisionsgefahr).
- Komplexität der Programmierung:  
Detailrobustheit (Edge-Cases, Verschleiss, Fehlpositionierungen) ist eine zentrale Herausforderung – im kleinen Modell erkennbar, im Grosssystem nochmals stärker.
- Arbeitswelt & Verantwortung:  
Automatisierung kann Tätigkeiten verändern/verlagern. Deshalb ist es wichtig, solche Systeme so zu entwickeln, dass sie Menschen unterstützen (Sicherheit/Ergonomie) statt unkontrolliert zu ersetzen (Einführungsstrategie, Qualifizierung, neue Aufgabenprofile).

Diese Reflexion entspricht der geforderten Auseinandersetzung mit technologischer Verantwortung und sozialen Einsatzgebieten.

## 6.5 Dokumentierte Massnahmen zur Nachhaltigkeit

Im Projekt haben wir mehrere konkrete Nachhaltigkeits-Massnahmen wirklich umgesetzt und auch so dokumentiert, dass man es nachvollziehen kann:

### M1 – Materialstrategie: Flachs-Composite

Wir haben Flachs-Composite als bewusst gewählten Werkstoff als äussere Hülle eingesetzt. Das Ziel war, bei der Materialwahl nicht einfach „Standard“ zu nehmen, sondern eine nachhaltigere Alternative zu berücksichtigen. Uns ist dabei wichtig, dass man nicht nur die Vorteile nennt, sondern auch die Grenzen: je nach Harzsystem, Herstellung und End-of-Life kann die Bilanz unterschiedlich ausfallen. Insgesamt zeigen Lebenszyklus-Analysen aber, dass Flachs-basierte Verbundmaterialien gegenüber klassischen Alternativen Potenzial haben.

### M2 – Energieeffizientes System + regeneratives Konzept

Der Roboter läuft mit Akku und ist an eine Ladestation angebunden. Die Ladestation ist vom Konzept her auf regenerative Energie (z. B. PV) ausgelegt. Zusätzlich hilft unser Monitoring über das Webinterface, um den Betrieb besser zu verstehen und daraus Optimierungen abzuleiten (z. B. unnötige Fahrwege vermeiden, Prozess effizienter machen).

### M3 – Abfallreduktion in der Fertigung

Wir haben beim Prototyping und beim 3D-Druck bewusst darauf geachtet, möglichst wenig Ausschuss zu produzieren. Es wurden keine Teile „einfach mal so“ gedruckt, sondern nur dann, wenn wir damit wirklich eine Funktion testen oder verbessern konnten. Dadurch ist insgesamt sehr wenig Abfall entstanden.

### M4 – Wiederverwendung von Bauteilen (Re-Use)

Wir haben bestehende Teile aus früheren Robotern weiterverwendet, wenn es funktional gepasst hat. Zusätzlich wurden erste Teile so geplant, dass sie auch in einem zweiten Roboter weitergenutzt werden konnten (z. B. als Plattform für die Systemtechnik zum Programmieren/Testen), während der Maschinenbau parallel den finalen Roboter weiterentwickelt hat.

### M5 – Modularität und Reparierbarkeit

Der Roboter ist so aufgebaut, dass einzelne Bereiche als Baugruppen funktionieren (z. B. Grundplatte/Chassis, Hubsystem, Elektronik-/Energieeinheit, Sensorik, Hülle). Das heisst: Wenn etwas kaputt ist oder verbessert werden soll, kann man gezielt ein Teil ersetzen, statt das ganze System neu zu bauen. Das verlängert die Lebensdauer und spart Material.

### M6 – Transparenz / Nachweisführung

Damit die Materialwahl nicht einfach nach „klingt nachhaltig“ aussieht, haben wir bei der Firma gezielt Unterlagen zum Flachs-Composite angefragt und diese als Nachweis abgelegt. So ist dokumentiert, dass der Flachs-Composite-Einsatz bei uns eine bewusste Entscheidung war und nicht zufällig passiert ist.

## 6.6 Fazit und Ausblick Nachhaltigkeit

Rückblickend hat sich gezeigt, dass Nachhaltigkeit im Projekt nicht einfach ein „Zusatzkapitel“ war, sondern wir das Thema von Anfang an mitgedacht haben. Das sieht man vor allem an der Materialwahl (Flachs-Composite als Aussenhülle), am elektrischen Energiesystem (Akkubetrieb + Ladestation mit regenerativem Konzept), am Monitoring über das Webinterface, und auch daran, wie wir gearbeitet haben: wenig Abfall, Teile wiederverwendet und den Roboter so aufgebaut, dass man ihn reparieren und umbauen kann, statt alles neu zu machen.

Trotzdem ist uns wichtig, dass wir nicht einfach so tun, als wäre alles automatisch „perfekt nachhaltig“. Gerade beim Flachs-Composite hängt viel davon ab, welches Harz verwendet wird und wie das Material am Ende weiterverwertet werden kann. Verbundwerkstoffe sind da grundsätzlich schwieriger als reine Metalle. Auch die Feuchteempfindlichkeit von Naturfaser-Materialien ist ein Punkt, den man bei einem echten Produkt sauber berücksichtigen müsste (Schutz, Beschichtung, konstruktive Auslegung). Und: unser Roboter ist bewusst ein Funktionsmuster im Modellmassstab. Wenn man so ein System für echte Container und im öffentlichen Raum einsetzen würde, kommen Themen wie Sicherheit, Zuverlässigkeit, Sensorik/Redundanz und klare Regeln/Zulassungen nochmals viel stärker dazu.

Für die nächsten Schritte würden wir deshalb vor allem drei Dinge weiter verbessern:

1. Design-for-Recycling / Design-for-Disassembly noch konsequenter umsetzen  
Also noch klarer trennen, welche Teile aus Metall, Kunststoff, Composite usw. sind, damit man am Ende einfacher zerlegen und wiederverwenden kann.
2. Materialstrategie weiterentwickeln (Harzsysteme / Wiederverwertbarkeit)  
Wenn möglich würden wir stärker auf Harzsysteme setzen, die besser recycelbar bzw. „re-work“-fähig sind. Damit würde Flachs-Composite am Lebensende nochmals mehr Sinn machen.
3. Energieeffizienz und Datennutzung aus dem Monitoring ausbauen  
Das Webinterface ist ein guter Start. Der nächste Schritt wäre, die Daten noch gezielter auszuwerten (z. B. Stromaufnahme in bestimmten Prozessschritten, Optimierung von Fahrwegen, Standby-Verbrauch), damit man die Effizienz nicht nur annimmt, sondern wirklich mit Zahlen belegen kann.

Insgesamt können wir sagen: Der Nachhaltigkeitsbericht ist bei uns nicht nur Theorie, sondern spiegelt konkrete Entscheidungen und Massnahmen aus dem Projekt. Genau darum ist das Thema für Außenstehende nachvollziehbar und nicht nur eine Absichtserklärung

## 7 Reflexion Gruppendynamischer Prozess

### 7.1 Forming

In der Anfangsphase stand das Zusammenfinden des Teams im Vordergrund. Die Teammitglieder lernten sich kennen und brachten unterschiedliche fachliche Hintergründe, Erwartungen und Arbeitsweisen ein. Das Projekt wurde von allen als Chance gesehen, praktische Erfahrungen zu sammeln und sich persönlich weiterzuentwickeln. Erste Zielsetzungen und Planungen wurden erstellt. Diese basierten auf der Annahme stabiler personeller und organisatorischer Rahmenbedingungen. Die Rollenverteilung war zu diesem Zeitpunkt noch nicht klar ausgeprägt und wurde eher informell gehandhabt.



### 7.2 Storming

Im weiteren Verlauf traten erste Schwierigkeiten auf. Der krankheitsbedingte Ausfall der anfänglichen Projektleitung führte zu einer Phase mit unklaren Zuständigkeiten und fehlender Koordination. Dies hatte zur Folge, dass Aufgaben nicht sauber verteilt waren und einzelne Arbeiten liegen blieben oder doppelt ausgeführt wurden. Zusätzlich wirkten weitere Faktoren belastend auf das Team. Dazu zählten krankheitsbedingte Abwesenheiten, Militärdienst, geplante Urlaube sowie zeitweise fehlendes Engagement einzelner Teammitglieder. Diese Situation führte zu Spannungen innerhalb des Teams und beeinträchtigte den Projektfortschritt. In dieser Phase war die Unterstützung durch die Dozierenden besonders wichtig. Hervorzuheben ist Thomas Michel, der dem Team beratend zur Seite stand, organisatorische Hilfe leistete und auch in schwierigen Situationen ein offenes Ohr hatte.



### 7.3 Norming

Nach dieser instabilen Phase konnte sich das Team auf eine neue Projektleitung einigen. Diese Entscheidung brachte wieder klare Strukturen in das Projekt. Aufgaben und Verantwortlichkeiten wurden neu verteilt und nachvollziehbar festgelegt. Das Terminmanagement wurde konsequent eingeführt und überwacht. Ein zentrales Element dieser Phase war die Einführung eines wöchentlichen Teammeetings. Dieses Meeting diente dazu, den aktuellen Stand aller Teilbereiche transparent zu machen. Da nicht alle Teammitglieder in jedem Prozess direkt eingebunden waren, wurde so sichergestellt, dass alle über den Fortschritt informiert blieben und Abhängigkeiten früh erkannt wurden.



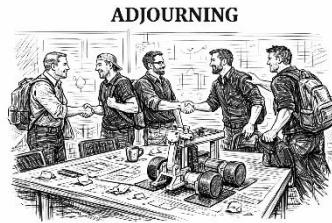
## 7.4 Performing

Mit den etablierten Strukturen arbeitete das Team zunehmend effizient und zielgerichtet. Die wöchentlichen Meetings wurden von Meilenstein MS3 bis Weihnachten konsequent durchgeführt und entwickelten sich zu einem festen Bestandteil der Zusammenarbeit. Technische und organisatorische Aufgaben griffen besser ineinander, und Entscheidungen konnten schneller und fundierter getroffen werden. Auch bestehende Differenzen wurden sachlich angesprochen. Eine gezielte Aussprache eine Woche vor Weihnachten half, das Thema fehlendes Engagement offen zu thematisieren und gemeinsame Erwartungen zu klären. Trotz weiterhin vorhandener Abwesenheiten konnte das Team in dieser Phase deutliche Fortschritte erzielen und das Projekt stabil vorantreiben.



## 7.5 Adjourning

In der Abschlussphase wurde der Projektverlauf gemeinsam reflektiert. Rückblickend wurden sowohl erfolgreiche Umsetzungen als auch Fehlpläne als wertvolle Erfahrungen eingeordnet. Die aufgetretenen Schwierigkeiten entsprachen realen Bedingungen aus der beruflichen Praxis und stellten für das Team einen wichtigen Lernprozess dar. Besonders der Umgang mit Ausfällen, Terminverschiebungen und personellen Veränderungen trug zur Weiterentwicklung von Organisationsfähigkeit, Kommunikation und Verantwortungsbewusstsein bei. Insgesamt wird die Zusammenarbeit als positive und nachhaltige Erfahrung bewertet, aus der alle Teammitglieder Erkenntnisse für zukünftige Projekte und den späteren Berufsalltag mitnehmen konnten.



## 8

# Selbstreflektionen Teammitglieder



### 8.1

#### Selbstreflektion Projektleitung Gil

Der Einstieg in das Projekt war für mich von gemischten Gefühlen geprägt. Einerseits freute ich mich auf die praktische Arbeit. Andererseits war mir bewusst, dass das Projekt zeitintensiv sein würde. Zusätzlich hatte ich Zweifel an meinen Fähigkeiten in Dokumentation und Präsentation. Diese Bereiche wollte ich gezielt verbessern.

Zu Beginn ordnete ich mich bewusst unter. Mein Fokus lag auf dem Bereich Maschinenbau und Konstruktion. Ziel war es, meine konstruktiven Fähigkeiten mit Creo Parametric zu erweitern. Durch den krankheitsbedingten Ausfall der Projektleitung ging der Projektüberblick zeitweise verloren. Aus diesem Grund übernahm ich die Projektleitung. Diese Rolle war anspruchsvoll. Ich verstand mich nicht als vorgesetzte Person, sondern als koordinierende Leitung. Die Motivation im Team war unterschiedlich ausgeprägt. Dies erschwerte die Aufgabenverteilung und die Terminplanung.

Die grösste Herausforderung lag im administrativen Bereich. Dokumentation, Präsentationen und organisatorische Aufgaben nahmen viel Raum ein. Gleichzeitig konnte ich genau in diesen Bereichen wichtige Fortschritte erzielen. Der Umgang mit Präsentationstools und strukturiertem Arbeiten verbesserte sich deutlich. Fachlich war ich vor allem in der Konstruktion tätig. Ich unterstützte die Entwicklung des Roboters aktiv. Zusätzlich entwickelte sich ein besseres Verständnis für realistische Terminplanung. Einige Ziele erwiesen sich als zu ambitioniert. Andere mussten im Projektverlauf angepasst werden. Dadurch wurde eine klare Priorisierung notwendig. Das Projekt zeigte, dass auch einfache Konzepte eine präzise Konstruktion und eine saubere Prozessabstimmung erfordern.

Der Projektverlauf hat mir gezeigt, wie wichtig klare Kommunikation, realistische Zielsetzungen und strukturierte Arbeitsweise sind. Die gewonnenen Erfahrungen bilden eine solide Grundlage für zukünftige Projektarbeiten.



### 8.2

#### Selbstreflektion Projektleitung Stv. Lars

Für dieses Projekt war ich sehr motiviert. Das ganze Team machte am ersten Treffen bereits einen sehr kompetenten Eindruck. Da ich mich selbst fordern wollte, habe ich von Anfang an vorgeschlagen, den Lead bezüglich Software zu übernehmen. Ich wollte meine Kompetenzen diesbezüglich auch ausbauen, da es mir schwerfällt, Arbeiten abzugeben. Im Grossen und Ganzen ist mir dies halbwegs gelungen. Ich habe schlussendlich sehr viel selbst gemacht, was mir auch grossen Spass bereitet hat.

Mit diesem Projekt habe ich sehr viel gelernt; über neue Technologien, Zusammenarbeit sowie auch über Projekte in diesem Umfang.

In einem nächsten Projekt würde ich die Verantwortlichkeiten der verschiedenen Teilprojekte besser verteilen, da meinen Kollegen teilweise wohl unklar war, was sie überhaupt machen könnten.

Als positiv empfand ich die grundsätzliche Planung der Softwarearchitektur sowie Findung der Sensoren. Anfangs hatten wir sehr viele Probleme mit Sensoren und PCB's, welche wir von der Werkstatt des ZBW genommen hatten und nicht funktionierten. Dies kostete uns viel Zeit und bei einem nächsten Mal würde ich von Anfang an alles neu kaufen.

Rückblickend würde ich Aufgaben klarer verteilen sowie Deadlines setzen, wann diese erledigt sein müssen. Das hätte mich auch entlastet.

Alles in allem ist das ganze Projekt etwas, auf das ich mit Stolz zurückblicken kann. Das ganze Team hat sehr viele Stunden investiert und wir konnten bereits frühzeitig grosse Erfolge feiern, so dass in den letzten Wochen nur noch Kleinigkeiten anstanden.



### 8.3 Selbstreflexion Projektmitglied Michi

Ich habe mich sehr auf den Start dieses Projekts gefreut, da ich gerne praxisnahe technische Projekte umsetze und bereits Vorerfahrungen in ähnlichen Bereichen mitbrachte. Schon zu Beginn war mir klar, dass ich nicht die Rolle des Projektleiters übernehmen wollte, sondern mich auf die mechanische Konzeption und den Bau des Roboters konzentrieren möchte. Diese Rolle entsprach meinen Stärken und Interessen, insbesondere im Bereich Konstruktion, Funktionstest und Prototypenbau.

Von Anfang an konnte ich mich aktiv mit eigenen Ideen in das Projekt einbringen. Das gemeinsame Ziel wurde rasch definiert, wodurch eine zielgerichtete Arbeitsweise möglich war. Kurz nach der Konzeptfindung begann ich mit der Herstellung erster Probeteile, um grundlegende Funktionen frühzeitig zu testen und mögliche Schwachstellen zu erkennen. Nach der erfolgreichen Validierung des Konzepts starteten wir mit der detaillierten Konstruktion des Roboters.

Während des Projekts konnte ich mir viel neues Wissen aneignen. Besonders wertvoll war für mich der vertiefte Einstieg in den 3D-Druck, den ich zuvor nur theoretisch kannte. Diese Fertigungsmethode ermöglichte schnelle Iterationen und Anpassungen und erwies sich als sehr geeignet für den Prototypenbau.

Durch meine Erfahrungen aus dem Motorsport kam ich zudem früh mit Flachs-Composite-Materialien in Kontakt. Für mich war daher von Beginn an klar, dass ich die Verkleidung des Roboters aus diesem nachhaltigen Verbundwerkstoff herstellen möchte. Ich nahm selbstständig Kontakt mit der Firma BComp in Fribourg auf und konnte sie von unserem Projekt überzeugen. Dadurch wurden wir mit Material gesponsert, was mir die Möglichkeit gab, erste praktische Erfahrungen mit diesem nachhaltigen Werkstoff zu sammeln. Dies stellte für mich einen besonderen Mehrwert des Projekts dar.

Die fachliche Begleitung durch die Dozenten empfand ich insgesamt als sehr unterstützend und hilfsbereit. Bei der Bewertung der Meilensteine hatte ich jedoch teilweise Mühe, da die Bewertungskriterien für mich nicht immer nachvollziehbar waren.

Grundsätzlich wirft der Projektablauf bei mir einige Fragen auf. Meiner Meinung nach ist das Projekt stark theoretisch geprägt. Insbesondere in der Anfangsphase wurde sehr viel Zeit für Planung aufgewendet, während die praktische Umsetzung erst spät beginnen konnte. Zudem ist für mich schwer nachvollziehbar, weshalb die Dokumentation abgegeben werden muss, bevor der Roboter vollständig fertiggestellt ist. Ein solches Projekt ist aus meiner Sicht nie vollständig abgeschlossen, da man mit jeder Anwendung neue Erkenntnisse gewinnt. Ich würde es bevorzugen, wenn zuerst die Roboterabgabe erfolgen würde und die Dokumentation darauf aufbauend erstellt werden könnte.

Trotz dieser Punkte ziehe ich insgesamt ein positives Fazit aus dem Projekt. Ich konnte meine praktischen Fähigkeiten gezielt einsetzen, neues technisches Wissen aufbauen und wertvolle Erfahrungen im Bereich nachhaltiger Materialien, Prototypenbau und interdisziplinärer Zusammenarbeit sammeln.



## 8.4 Selbstreflexion Projektmitglied Dario

Bei Teamarbeiten mache ich mir immer Sorgen, dass ich mit Unvernünftigen zusammengesetzt werde. Deshalb war ich am ersten Tag bei der Teamfindung aufgeregt. Nachdem man sich kennengelernt hat war meine Motivation auf höchstem Niveau. Ich hatte von meinen Teammitglieder einen super Eindruck und war zuversichtlich, dass das Projekt im Sinne der AÜP eine gute Sache werden wird.

Bei der ersten Sitzung wurde ich als Teamchef vorgeschlagen. Da ich selbst hohe Ansprüche an mich habe und auch schon im Berufsleben Erfahrungen mit Projektverantwortung hatte, wurde ich Teamchef. Das mich die anderen als Kompetent sahen, obwohl ich der jüngste im Team bin, nahm ich als grosse Kompliment zu Kenntnis. Zu Beginn hatte ich mühe andere Denkweisen nachzuvollziehen, zuzulassen und Arbeit abzugeben. Später im Projekt als die Gesamtentwicklung am meisten vorwärts ging, musste ich aus gesundheitlichen Gründen mehrere Wochen ausfallen. Da ich so lange abwesend war habe ich den Posten als Teamchef abgegeben. Ich fühlte mich schlecht und es war auch unfair den andern gegenüber. Nachdem Ausfall wurde ich von meinen Kollegen wieder voll aufgenommen und konnte mich gut einbringen. Ich bin sehr dankbar das dies, auch mit einigen Meinungsverschiedenheiten, so gut funktioniert hat.

Gegen Ende hatte ich nochmals gute Laune da ich die Funktionen des CAD-Programms CREO richtig zur Geltung kriegen konnte. Das Projekt ist sehr zeitintensiv, daher finde ich es schade, dass man die Schlussdokumentation vor dem eigentlichen Finish des Roboters abgeben muss. In dieser Reihenfolge könnte man auch die Arbeit fairer aufteilen und die Dokumentation denen überlassen die am wenigsten Stunden am Projekt dran waren. Für mich war das AÜP eine sehr lehrreiche Phase in meinem Leben.



## 8.5 Selbstreflexion Projektmitglied Ylber

Im Rahmen der ausbildungsübergreifenden Projektarbeit hatte ich die Möglichkeit, an einem komplexen technischen Projekt mitzuwirken, bei dem ein autonomer Recyclingroboter entwickelt wurde. Die Zusammenarbeit in einem interdisziplinären Team stellte dabei eine besondere Herausforderung dar, da verschiedene Fachrichtungen mit unterschiedlichen Sichtweisen und Arbeitsweisen zusammenarbeiteten. Gerade dieser Austausch machte das Projekt für mich jedoch besonders interessant und lehrreich.

Mein Aufgabenbereich lag hauptsächlich im Bereich der Elektronik sowie in der Dokumentation für Elektronik und Software. Zu meinen zentralen Tätigkeiten gehörte das Erstellen und laufende Anpassen des Elektroschemas sowie das strukturierte Festhalten der elektronischen und softwarebezogenen Konzepte in der Projektdokumentation. Dabei war es mir wichtig, die technischen Zusammenhänge verständlich und nachvollziehbar darzustellen.

Besonders gut gelungen ist mir das Zeichnen des Elektroschemas. Durch die grafische Darstellung der elektronischen Komponenten und deren Zusammenspiel konnte ich sowohl mir selbst als auch dem Team einen besseren Überblick über das Gesamtsystem verschaffen.

Eine der grössten Herausforderungen bestand darin, dass sich die Elektronik während des Projekts mehrfach veränderte. Es kamen neue Komponenten hinzu oder bestehende Lösungen wurden angepasst, was zur Folge hatte, dass das Elektroschema regelmässig überarbeitet werden musste. Diese Situation erforderte Flexibilität und eine gute Abstimmung mit den anderen Teammitgliedern, war jedoch gleichzeitig eine wertvolle Erfahrung im Umgang mit Änderungen während eines laufenden Projekts.

Durch die Projektarbeit konnte ich meine Kenntnisse im Bereich Elektroschema zeichnen, Verdrahten und im allgemeinen Umgang mit elektronischen Komponenten deutlich erweitern. Zudem habe ich gelernt, wie wichtig eine funktionierende Teamarbeit und klare Kommunikation sind, insbesondere bei interdisziplinären Projekten.

Rückblickend würde ich mich in zukünftigen Projekten noch aktiver ins Team einbringen, insbesondere bei gemeinsamen Entscheidungsprozessen. Insgesamt war die AÜP für mich eine sehr wertvolle Erfahrung, aus der ich sowohl fachlich als auch persönlich wichtige Erkenntnisse mitnehmen konnte.



## 8.6 Selbstreflexion Projektmitglied Miran

Die ausbildungsübergreifende Projektarbeit stellte für mich eine neue und herausfordernde Erfahrung dar. Das Ziel, einen Roboter zu entwickeln, der Container selbstständig erkennt, transportiert und anschliessend zur Ladestation zurückfährt, erforderte eine enge Zusammenarbeit verschiedener Fachrichtungen. Die Arbeit in einem Team aus Maschinenbauern, Energie- und Umwelttechnikern sowie Systemtechnikern empfand ich als sehr motivierend, da unterschiedliche fachliche Schwerpunkte in das Projekt eingebracht wurden.

Mein Beitrag zum Projekt lag vor allem im Bereich der Sensorik und Programmierung des Antriebs. Ich war für die Implementierung der TOF-Sensoren zur Ansteuerung des Antriebs sowie für die Containererkennung mit der PixyCam zuständig. Darüber hinaus war ich an der Verdrahtung beteiligt und unterstützte die Inbetriebnahme. Besonders die Arbeit mit neuen Sensoren stellte für mich eine Lernchance dar, da ich mein Wissen im Bereich Programmierung praxisnah erweitern konnte.

Im Verlauf des Projekts kam es regelmässig zu technischen Problemen, die sowohl die Software als auch mehrheitlich die Hardware betrafen, welche uns viele Stunden bis in den späten Abend gekostet haben. Dadurch konnte ich meine Herangehensweise an die Fehlersuche verbessern und lernte, Probleme systematisch zu analysieren und Lösungswege gezielt zu testen. Der Austausch mit den anderen Teammitgliedern spielte dabei eine wichtige Rolle, da unterschiedliche Fachkenntnisse zu zielführenden Lösungen beitrugen. In der Endphase des Projekts war der Zeitdruck deutlich spürbar, insbesondere während der Tests und der Optimierung. Rückblickend betrachte ich die Projektarbeit jedoch als sehr wertvoll, da ich nicht nur fachliche Kompetenzen, sondern auch Erfahrungen in der ausbildungsübergreifenden Zusammenarbeit sammeln konnte. Diese Erkenntnisse werden mir bei zukünftigen technischen Projekten von grossem Nutzen sein.



## 8.7 Selbstreflexion Projektmitglied Joel

Zu Beginn der ausbildungsübergreifenden Projektarbeit war ich gespannt auf das Robotikprojekt, da es sowohl technisch als auch organisatorisch eine anspruchsvolle Aufgabe darstellte. Besonders interessant fand ich die Zusammenarbeit mit Studierenden aus verschiedenen Fachrichtungen, da unterschiedliche Denkweisen und Lösungsansätze zusammenkamen. Gleichzeitig war mir bewusst, dass ich in den Bereichen Programmierung und Maschinenbau nur wenig Vorerfahrung hatte.

Im Verlauf des Projekts zeigte sich, dass ich als einziger Studierender aus der Fachrichtung Energie und Umwelt zwar viel dazulernen konnte, jedoch über längere Phasen nur eingeschränkt aktiv an den technischen Kernaufgaben mitwirken konnte. Viele Arbeiten betrafen vor allem die Programmierung sowie die mechanische Konzeption und Teilefertigung. In diesen Phasen unterstützte ich das Team vor allem bei organisatorischen Aufgaben wie Terminplanung, Koordination und der Schlussdokumentation.

Die Zusammenarbeit im Team funktionierte insgesamt gut. Die Kommunikation war offen und konstruktiv, und der interdisziplinäre Austausch zwischen Mechanik, Elektrotechnik und Systemtechnik war für mich sehr lehrreich. Besonders wertvoll war es, ein besseres Verständnis für die Gesamtzusammenhänge eines solchen Projekts zu gewinnen.

Rückblickend habe ich viel gelernt, empfand jedoch die Projektdauer im Verhältnis zu meinem tatsächlichen Beitrag als eher lang. Für meine Fachrichtung Energie und Umwelt war das Projekt nur bedingt passend. Auch wenn es eine wertvolle Erfahrung war, würde ich es für zukünftige Energie- und Umweltklassen nicht uneingeschränkt weiterempfehlen. Insgesamt bin ich dennoch dankbar für die gewonnenen Erkenntnisse und die Einblicke in andere Fachrichtungen.

# 9 Verzeichnisse

## 9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Symbolbild .....	1
Abbildung 2: Morphologischer Kasten Mechanik .....	5
Abbildung 3: Bewertungskriterien .....	6
Abbildung 4: Ökologische Kriterien .....	7
Abbildung 5: Tabelle Auswertung .....	7
Abbildung 6: Rahmenmaterial .....	8
Abbildung 7: Rahmenbauweise .....	8
Abbildung 8: Montagemethode .....	8
Abbildung 9: Rad .....	8
Abbildung 10: Räder .....	9
Abbildung 11: Gabelstapler .....	9
Abbildung 12: Linearantrieb .....	9
Abbildung 13: Schienensystem .....	9
Abbildung 14: Abladesystem .....	9
Abbildung 15: Kommunikation Mikrocontroller .....	10
Abbildung 16: Time of Flight .....	10
Abbildung 17: DC-Motoren .....	10
Abbildung 18: Lithium-Ionen-Zellen .....	10
Abbildung 19: Ablaufsteuerung .....	11
Abbildung 20: Prototyp Gabel .....	12
Abbildung 21: Prototyp Räder .....	13
Abbildung 22: Prototyp mit Kamera .....	13
Abbildung 23: CAD – Erste Zeichnung .....	14
Abbildung 24: Gabelsystem .....	14
Abbildung 25: Bodenplatte .....	15
Abbildung 26: Halterung Mikrocontroller .....	15
Abbildung 27: Kabelführung .....	16
Abbildung 28: Container und Schacht .....	16
Abbildung 29: EcoDrop3 mit Ladestation und Außenhülle .....	17
Abbildung 30: Urmodell 3D Druck .....	18
Abbildung 31: Form für Hauptkörper .....	18
Abbildung 32: Verkleidung .....	19
Abbildung 33: Unterstand .....	20
Abbildung 34: Akkuzellen mit BMS .....	21
Abbildung 35: Strom- und Spannungsversorgung .....	21
Abbildung 36: Arduino Mega .....	21
Abbildung 37: ToF-Sensor .....	22
Abbildung 38: Pixycam .....	22
Abbildung 39: Endschalter .....	22
Abbildung 40: Motorentreiber .....	23
Abbildung 41: Diverse Motoren .....	23
Abbildung 42: Elektroschema .....	26
Abbildung 43: Roboter in Ladestation .....	42
Abbildung 44: Webinterface .....	43
Abbildung 45: Symbolbild Nachhaltigkeit .....	44

Abbildung 46: Flachs Composite.....	45
Abbildung 47: Flachspflanze .....	45
Abbildung 48: Powerrips und AmpliTex.....	46
Abbildung 49: Symbolbild Lebensdauer.....	49

## 10 Anhang

### 10.1 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Projektarbeit selbstständig erarbeitet und dokumentiert haben und dabei ausschliesslich die vorgegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet wurden.

Verfasser	Ort und Datum	Unterschrift
Gil Schnyder	St. Gallen, 21.01.2026	
Lars Hinder	St. Gallen, 21.01.2026	
Joel Gradenecker	St. Gallen, 21.01.2026	
Dario Gaiswinkler	St. Gallen, 21.01.2026	
Miran Bajrami	St. Gallen, 21.01.2026	
Ylber Memeti	St. Gallen, 21.01.2026	
Michael Suter	St. Gallen, 21.01.2026	

## 10.2 Quellennachweis

ZbW St. Gallen: <i>Ausbildungsübergreifende Projektarbeit (AÜP) – Handbuch 2025/2026</i>
Aufgabenstellung
Bewertungskriterien
OpenAI: <i>ChatGPT (Sprachmodell zur Unterstützung bei Textformulierung, Strukturierung und sprachlicher Überarbeitung), Nutzung 2025/2026.</i>
Herstellerdatenblätter (z. B. Arduino, Motoren, Sensoren)
Webseiten zu Nachhaltigkeit / Materialien