



Konstruktion eines Werbegeschenks sowie Entwicklung einer automatisierten Anlage zur Montage des Produkts

Projektgruppenarbeit

des Studiengangs Mechatronik und Maschinenbau
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Heidenheim

von

**Annika Häberle, Christian Reile, Marvin Bullinger,
Frida Stähle, Franz Seibold,
Hannes Maurer**

23. Juni 2025

Bearbeitungszeitraum

24.03.2025 – 10.06.2025

Matrikelnummer

8377366, 7332456, 5508863, 4604530,
6041193, 2912216

Bearbeitungsort

DHBW Heidenheim, 89158 Heidenheim

Kurzfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurde eine vollautomatisierte Montageanlage entwickelt, die ein funktionales und zugleich ansprechendes Werbegeschenk montiert. Ziel war es, ein System zu entwerfen, das nicht nur technisch überzeugt, sondern auch visuell anspricht, Neugierde weckt und zum Mitdenken anregt – insbesondere bei technisch interessierten jungen Menschen.

Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der Handhabung von biegeschlaffen Bauteilen, deren automatisierte Montage erhöhte Anforderungen an die Steuerung, Mechanik und Fertigung stellte. Diese Herausforderung wurde erfolgreich gemeistert und verdeutlicht exemplarisch, wie präzise und zugleich flexibel moderne Automatisierungslösungen im kleinen Maßstab sein können.

Das montierte Produkt – ein alltagstauglicher und individuell erweiterbarer Gegenstand – soll als täglicher Begleiter fungieren und langfristig in Erinnerung bleiben. Als Werbegeschenk repräsentiert es nicht nur die Hochschule, sondern auch den technischen Anspruch und die kreative Vielfalt, die mit einem ingenieurwissenschaftlichen Studium verbunden sind.

Die Messeanlage ist so konzipiert, dass der gesamte Montageprozess offen einsehbar und nachvollziehbar ist. Damit wird Technik nicht verborgen, sondern bewusst erlebbar gemacht – ein zentraler Schritt, um Hemmschwellen abzubauen und Begeisterung für technische Zusammenhänge zu fördern. So leistet dieses Projekt nicht nur einen Beitrag zur praxisnahen Ausbildung, sondern wirkt auch als Impulsgeber für zukünftige Studierende, die Technik nicht nur verstehen, sondern mitgestalten möchten.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
1. Einführung	1
1.1. Aufgabenstellung	1
1.2. Zielsetzung	1
1.3. Vorgehensweise	2
2. Theoretische Grundlagen	4
2.1. Stand der Technik	4
2.2. Entwicklungsprozess nach dem V-Modell	5
2.2.1. Der morphologische Kasten	6
2.2.2. Auswahl- und Bewertungsmethoden	8
3. Umfeldanalyse	10
3.1. Rahmenbedingungen und Systemanforderungen	10
3.2. Marktrecherche	12
3.3. Patentrecherche	14
4. Konzeptentwicklung	17
4.1. Methodische Auswahl des Giveaways	17
4.2. Anlagenkonzept	21
4.2.1. Stapelmechanismus	21
4.2.2. Gummibandmontage	26
4.2.3. Bedieneinheit	30
4.3. Elektronikkonzept	32
5. Risikobewertung	34
5.1. Paarweiser Vergleich	34
5.2. T-Tabelle	35
5.3. Design-FMEA	36
5.4. CE-Konformität	37
6. Komponentenentwicklung	38
6.1. Gummibandmontage	38
6.1.1. Konstruktion	38
6.1.2. Kinematikberechnung	41
6.1.3. Elektronik und Programmierung	43

6.2.	Stapelmechanismus	44
6.2.1.	Konstruktion	44
6.2.2.	Konstruktive Berechnungen	55
6.2.3.	Elektronik	56
6.2.4.	Programmierung	58
6.3.	Gehäuse	58
6.4.	Bedienelement	60
6.5.	Elektrische Auslegung	62
6.5.1.	Spannungsversorgung	62
6.5.2.	Mikrocontroller	64
6.6.	Softwareablauf	65
7.	Technische Dokumentation	67
7.1.	Betriebsanleitung	67
7.2.	Wartungsanleitung	67
8.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	69
8.1.	Budgetplanung	69
8.2.	Kostenkalkulation für die Montagevorrichtung	70
8.3.	Kostenkalkulation der Werbegeschenke	72
9.	Zusammenfassung und Ausblick	76
Literatur		X
Anhang		XIII
A.	Individuelle Leistung	
B.	Morphologische Kästen	
C.	Lastenheft	
D.	Explosionszeichnungen und Stücklisten	
E.	Schaltpläne	
F.	Hautprogrammcode	

Abkürzungsverzeichnis

DHBW	Duale Hochschule Baden-Württemberg
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
HMI	Human Machine Interface
Beg. A.	Begeisterungsanforderungen
Leis. A.	Leistungsanforderung
Bas. A.	Basisanforderung
PWM	Pulsweitenmodulation
FDM	Fused Deposition Modeling
FMEA	Fehler- Möglichkeiten- und Einflussanalyse
NWA	Nutzwertanalyse

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Vereinfachte Version des Gantt-Zeitplans	3
2.1.	Veranschaulichung des V-Modells	5
3.1.	Positionierung zentraler Anbieter im MagSafe-Wallet-Markt	14
4.1.	Gewichtung der Kriterien	17
4.2.	Berechnung optimaler Variante	20
4.3.	Konzept 1: Ausschiebemechanismus	24
4.4.	Konzept 2: Ausschiebemechanismus	24
4.5.	Konzept 1: Linearbewegung zur Montage vorgespannter Gummibänder . .	27
4.6.	Konzept 2: Mehrachsiger Roboterarm zur Gummibandmontage	29
4.7.	Geplantes Bedienkonzept: Kombination aus Touch-Interface und sicherheitsgerichteten Hardwarekomponenten	31
4.8.	Blockdiagramm des geplanten Elektronikkonzepts mit vier dezentralen Mikrocontrollern und Raspberry Pi als Mastereinheit	32
6.1.	Alle Gelenke des Roboterarms.	39
6.2.	Metall Einsätze für den Servoantrieb	39
6.3.	Hohlraum Kabelmanagement des Roboterarms.	40
6.4.	Rundmagazin mit den Vormontierten Gummibändern.	40
6.5.	Alle Gelenke des Roboterarms.	41
6.6.	Auftretende Lagerkräfte durch externe Kraft auf die Drehplatte	45
6.7.	O-Anordnung mit Kegelrollenlager	46
6.8.	Radial- und Axiallager	47
6.9.	Kugelrollenlager	48
6.10.	Morphologischer Kasten Lagerkonzepte	49
6.11.	Drehscheibe	50
6.12.	Drehplattenbaugruppe (Darstellung ohne Hubmagnet und Befestigungsschrauben)	52
6.13.	Design des Stapelmagazins für die Magsafe-Platten	53
6.14.	Design des Schieberkörpers	54
6.15.	Programm-Ablaufplan	58
6.16.	Vollständige Montageeinrichtung mit Schutzgehäuse	60
6.17.	Beschaltung mit Stützkondensator	63

1. Einführung

Dieses Kapitel bietet einen kurzen Einblick in die Aufgabenstellung der Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Heidenheim, der Hochschule, in welcher dieses Projekt durchgeführt wurde. Zudem werden die Problemstellung und das Ziel des Projektes festgelegt. Anschließend wird das weitere Vorgehen aufgezeigt.

1.1. Aufgabenstellung

Im Rahmen der Projektgruppenarbeit im 6. Semester ist eine automatisierte Montagevorrichtung zu entwickeln, die ein mehrteiliges Werbegeschenk vollautomatisch montiert. Die Anlage muss zuverlässig, sicher und im Hinblick auf Form, Funktion und Wirtschaftlichkeit überzeugend ausgelegt sein. Neben dem funktionalen Aufbau sind auch gestalterische und kommunikative Aspekte – wie ein Werbeplakat und ein Werbevideo – Bestandteil des Projekts. Die entwickelte Lösung tritt am Ende des Semesters in einem Leistungsvergleich aller Gruppen gegeneinander an. Ziel ist es, eine technisch einwandfreie, kompakte und reproduzierbare Anlage zu konzipieren, die prototypisch funktioniert und das Potenzial zur Serienfertigung aufweist. Diese Aufgabenstellung fordert ein ingenieurwissenschaftlich fundiertes, gleichzeitig praxisnahes Vorgehen. Technische Konzeption, Kreativität, Wirtschaftlichkeit und Projektorganisation sind gleichermaßen entscheidend für den Projekterfolg.

1.2. Zielsetzung

Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer kompakten, modular aufgebauten Montagevorrichtung, die ein hochwertiges, funktionales Werbegeschenk – ein MagSafe-kompatibles Wallet mit integrierten Tools – vollautomatisch montiert. Dabei steht nicht nur die technische Umsetzung im Vordergrund, sondern auch die visuelle Inszenierung des Montageprozesses. Durch eine Vielzahl bewegter Baugruppen und einen offen sichtbaren, dynamischen Ablauf soll ein Prozess mit hoher Außenwirkung geschaffen werden, der das Interesse von Messebesuchern weckt und zum Verweilen einlädt. Die Anlage soll hinsichtlich Kompaktheit, Funktionalität und Gestaltungswirkung gleichermaßen überzeugen. Technische Innovation, hohe Zuverlässigkeit sowie eine kreative Umsetzung der Mechanik stehen im Fokus. Das

Endprodukt soll sich klar von bisherigen Projekten abheben, indem es ein alltagstaugliches, individuelles Give-away mit echtem Nutzwert hervorbringt – nicht nur ein Tool oder ein Wallet, sondern eine integrative Lösung. Die Umsetzung erfolgt in arbeitsteilig strukturierter Teamarbeit, bei der Konstruktion, Mechatronik, Softwareentwicklung und Dokumentation eng verzahnt agieren. Ziel ist ein montagefähiges System, das im Rahmen der gegebenen technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen maximale Wirkung erzielt – funktional, gestalterisch und kommunikativ.

1.3. Vorgehensweise

Die Projektbearbeitung erfolgt entlang eines wissenschaftlich fundierten Vorgehensmodells. Grundlage bildet das V-Modell, welches die systematische Entwicklung technischer Systeme durch eine phasenweise Strukturierung von Anforderungserhebung, Konzeptentwicklung, Realisierung und Verifikation unterstützt. Die zeitliche Planung erfolgt in Form eines Gantt-Diagramms [1] mit 12 Zeiteinheiten, das die wesentlichen Arbeitspakete und Meilensteine visualisiert (vgl. Abbildung 1.1).

Entscheidungen werden methodisch abgesichert getroffen. Zur Generierung und Bewertung von Lösungskonzepten kommen etablierte Verfahren wie der morphologische Kasten und die Nutzwertanalyse zum Einsatz. So wird sichergestellt, dass sowohl kreative als auch funktionale Kriterien systematisch in die Konzeptauswahl einfließen.

Weiterhin werden Aufgaben durch den Projektleiter auf jedes Gruppenmitglied verteilt. Dessen Aufgabe ist neben der Verteilung der Teilaufgaben auch die Überwachung der Durchführung dieser. In Anhang A1, ist der Vergleich von geplanten und durchgeföhrten Tätigkeiten jedes Gruppenmitgliedes zu erkennen.

Die einzelnen Projektphasen sind wie folgt gegliedert und in einem vereinfachten Gantt-Diagramm visualisiert (vgl. Abbildung 1.1):

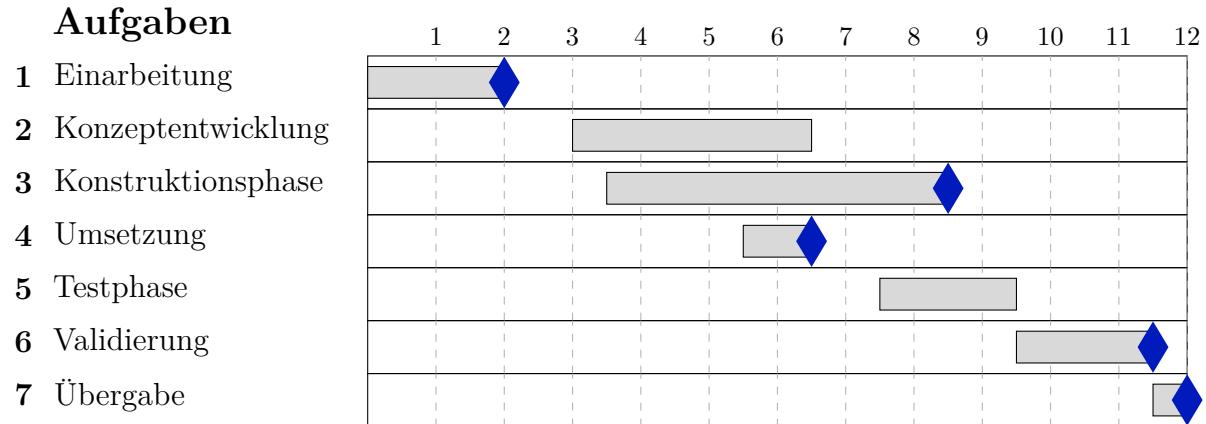


Abbildung 1.1.: Vereinfachte Version des Gantt-Zeitplans

Die blauen Markierungen sind die Meilensteine, welche wie folgt benannt sind:

1. **Meilenstein:** Erstellung eines Systemkonzeptes
2. **Meilenstein:** Herstellung der Einzelkomponenten
3. **Meilenstein:** Zusammenbau der Baugruppen
4. **Meilenstein:** Validierung abgeschlossen
5. **Meilenstein:** Projektübergabe

Im Anhang A2 der Arbeit befindet sich eine ausführliche Darstellung des agilen Gantt-Diagramms.

2. Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen dienen der systematischen Aufarbeitung relevanter Technologien und Methoden. Dabei werden sowohl die technischen Aspekte der MagSafe-Wallets als auch die Prinzipien methodischen Vorgehens – etwa zur strukturierten Konzeptentwicklung – dargestellt. Sie bilden die notwendige Basis, um im weiteren Projektverlauf fundierte Entscheidungen zu treffen und die Nachvollziehbarkeit der Entwicklung sicherzustellen.

2.1. Stand der Technik

Der Stand der Technik beschreibt die aktuellen technischen Entwicklungen im Bereich der MagSafe-Technologie und der Wallet-Designs. Die Analyse dieser bestehenden Lösungen bildet die Grundlage, um technologische Trends zu erkennen, bestehende Ansätze kritisch zu bewerten und daraus Anforderungen sowie Innovationspotenziale für die eigene Produktentwicklung abzuleiten.

Die MagSafe-Technologie, die in modernen Apple-Produkten verwendet wird, basiert auf Magneten des Typs N48H NdFeB, die mit einer Nickel-Copper-Nickel (NiCuNi) Beschichtung von 7 µm bis 13 µm versehen sind [2]. Diese Magneten werden im 3D-Druckfilament des „DailyM8“-Wallets integriert. Laut den Spezifikationen des Herstellers Apple, haben diese Magnete keinen negativen Einfluss auf Magnetstreifen von Karten oder die Elektronik von Mobiltelefonen [3]. Obwohl die verwendete Technologie etabliert und weithin anerkannt ist, bringt das Projekt keine grundlegenden Neuerungen in der Anwendung der MagSafe-Technologie.

Das Wallet-Design zeichnet sich durch die Integration von praktischen Alltagswerkzeugen, die in einem kompakten Format untergebracht sind. Die Produktion des Wallets erfolgt in einer automatisierten Fertigungsstraße, die den Einsatz eines Roboterarms umfasst. Dies ermöglicht eine effiziente und präzise Herstellung des Produkts [4]. Das Design des Wallets orientiert sich an den Designrichtlinien der DHBW und kombiniert funktionale Anforderungen mit einem modernen, benutzerfreundlichen Konzept. Durch die Integration von multifunktionalen Werkzeugen in das Wallet wird ein innovativer Mehrwert gegenüber herkömmlichen Geldbörsen geschaffen, der besonders die Technik interessierte Zielgruppe anspricht [5].

2.2. Entwicklungsprozess nach dem V-Modell

Das V-Modell ist ein etabliertes Vorgehensmodell im Bereich der System- und Softwareentwicklung, das insbesondere für komplexe Projekte angewendet wird. Dieses Vorgehen wurde vom Verband Deutscher Ingenieure (VDI) im Jahr 2004 auf mechatronische Systeme ausgeweitet und in der Norm VDI 2206:2021 festgehalten. Es stellt die Entwicklungsphasen in Form eines V dar (Abbildung 2.1), wobei die linke Seite die Definition und die rechte Seite die Verifikation und Validierung repräsentiert.[6]

Das Vorgehen zeichnet sich durch seine strukturierte Herangehensweise aus, die eine klare Trennung von Entwicklungs- und Testphasen ermöglicht. Durch diese Vorgehensweise werden Risiken minimiert und es ist möglich, die Anforderungen an das System durchgängig zu überprüfen. Die Verwendung des V-Modells in der Projektarbeit unterstützt die Integration verschiedener Disziplinen, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. [6]

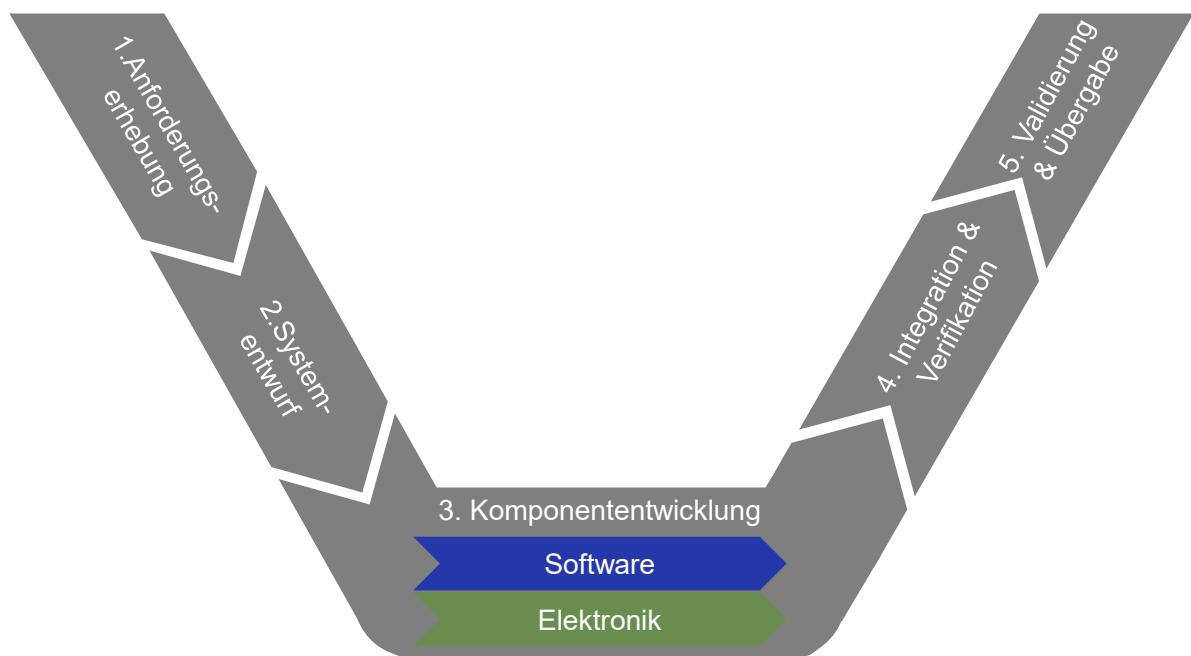


Abbildung 2.1.: Veranschaulichung des V-Modells

Der Entwicklungsprozess nach dem V-Modell wird in 5 Phasen gegliedert:[6]

- Anforderungserhebung:** In dieser Phase werden die Beschaffenheit, Fähigkeit oder Leistung, die ein Produkt erfüllen oder besitzen muss ermittelt und dokumentiert. Dies umfasst sowohl funktionale als auch nicht-funktionale Anforderungen. Ziel ist es, ein klares und vollständiges Verständnis der zu entwickelnden Funktionen zu erlangen.

2. **Systementwurf:** Der Systementwurf bildet die Grundlage für die spätere Entwicklung. Hierbei wird der grundlegende Aufbau und die Strukturierung des technischen Systems ermittelt und in einzelne Komponenten unterteilt, in dieser Projektarbeit Software und Elektronik. Zudem werden die einzelnen Komponentenanforderungen aus den Systemanforderungen abgeleitet, die essenziell für die Elektronikentwicklung sind.
3. **Komponentenentwicklung:** In der Komponentenentwicklungsphase werden die spezifizierten Komponenten entwickelt. Dies umfasst die Programmierung der Softwarekomponenten sowie die komplette Fertigung der Hardware. Dazu gehört auch die korrekte Auswahl der elektronischen Bauelemente anhand der Komponentenanforderungen sowie die Entwicklung von Schaltungsplänen und Platinenlayout
4. **Systemintegration und Verifikation:** Nach der Komponentenentwicklung werden die einzelnen Komponenten zum Gesamtsystem zusammengeführt (Integration). Dabei werden Integrationstests durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Komponenten korrekt zusammenarbeiten. Anschließend erfolgt die Verifikation, bei der eine Überprüfung des Systems in Bezug auf die Spezifikation bzw. Systemanforderungen erfolgt.
5. **Validierung und Übergabe:** Die Validierung stellt sicher, dass das Gesamtsystem die Anforderungen und Erwartungen der Endnutzer erfüllt. Dies kann durch Abnahmetests und Feldtests erreicht werden, bei denen das System in einer realen Umgebung betrieben wird. Die Validierung und Übergabe schließen den Entwicklungsprozess ab und umfassen die finale Überprüfung und Freigabe des Systems zur Nutzung.

Insgesamt bietet das V-Modell eine flexible Methode zur Entwicklung mechatronischer Systeme, die hohe Qualitätsstandards und Effizienz in der Entwicklung gewährleistet. Bei der Neuentwicklung eines Produkts ist es besonders wichtig, Entwicklungs- und Testphasen klar zu trennen und parallel durchzuführen, um Risiken zu minimieren und die Systemanforderungen sicherzustellen.[7]

In dieser Projektarbeit wird das V-Modell angewendet, da es die strukturierte Integration mehrerer Disziplinen ermöglicht. Dadurch wird nicht nur ein optimales Ergebnis erzielt, sondern auch eine nachvollziehbare Dokumentation gewährleistet.

2.2.1. Der morphologische Kasten

Der morphologische Kasten gehört zu den ältesten Kreativitätstechniken. Morphologie bezieht sich auf die Lehre von der Struktur, Form und Ordnung eines Sach- oder Sinn-

bereichs. Im Kontext von Kreativitätstechniken bedeutet dies, dass es sich um die Lehre vom geordneten Denken handelt. Der morphologische Kasten stellt dabei eine Struktur zur systematischen Lösungsfindung dar.[8]

Zunächst wird ein Problem in seine grundlegenden Bestandteile zerlegt. Für jedes einzelne Problemelement werden verschiedene Lösungsmöglichkeiten erarbeitet. Durch die Kombination dieser kategoriespezifischen Lösungen soll das Gesamtproblem bewältigt werden.[8]

Das Vorgehen beim morphologischen Kasten lässt sich in vier Teilbereiche unterteilen:[8]

1. **Problemstellung** Zuerst muss klargestellt werden, um welche Art von Problem es sich handelt. Soll beispielsweise ein bereits existierendes Produkt/Prozess optimiert werden oder geht es um eine Neuentwicklung? Das Objekt, um das es sich handelt, muss konkret beschrieben werden, damit alle Beteiligten eine klare Vorstellung davon haben, in welche Richtung die Ideen gehen sollen.
2. **Merkmalfestlegung** Die Merkmale, die auch als Faktoren oder Parameter bezeichnet werden, werden in der ersten Spalte, wie in Abbildung ?? dargestellt, untereinander aufgeführt. Sie beschreiben den Betrachtungsgegenstand und müssen bereits praktisch umsetzbar sein.
3. **Ausprägungsbestimmung** Neben den jeweiligen Merkmalen werden alle möglichen Ausführungsmöglichkeiten genannt, in die Spalten rechts von den Merkmalen eingetragen, wie in Abbildung ?? gezeigt. Dabei werden auch solche Ausprägungen berücksichtigt, die auf den ersten Blick wenig sinnvoll erscheinen mögen. So entsteht eine Matrix, die unter der Annahme, dass alle Parameter und Ausprägungen bedacht wurden, sämtliche Lösungen enthält.
4. **Kombination** Im letzten Schritt der Vorgehensweise des morphologischen Kastens wird für jeden Parameter jeweils eine Ausprägung ausgewählt und kombiniert. Dabei kann systematisch vorgegangen werden, indem alle möglichen Kombinationen durchlaufen werden (Abbildung 2.1 Blau und Grün markiert). Alternativ kann ein intuitives Vorgehen gewählt werden, bei dem alle als sinnvoll erachteten Varianten zusammengestellt werden. Bei einer hohen Anzahl von Parametern empfiehlt sich das systematische Vorgehen.

Die Vorteile des morphologischen Kastens liegen vor allem in seiner einfachen Handhabung und der Möglichkeit, Probleme einzeln zu betrachten und Lösungsmöglichkeiten unabhängig voneinander zu zusammenzustellen. Dies ist insbesondere bei einer Neuentwicklung, wie wir sie durchführen, von großem Vorteil.[8] Der morphologische Kasten der automatisierten Montageeinrichtung befindet sich im Anhang (vgl. Anhang B1)

Merkmal	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Energiequelle	Batterie	Akku	Solarzelle
Material Gehäuse	Kunststoff	Aluminium	Edelstahl
Lichtquelle	LED	Halogen	Xenon
Größe	Kompakt	Mittelgroß	Groß
Schalterart	Druckknopf	Schiebeschalter	Touch

Tabelle 2.1.: Morphologischer Kasten

2.2.2. Auswahl- und Bewertungsmethoden

Die Auswahl- und Bewertungsmethoden dienen dazu, die große Anzahl möglicher Lösungen aus dem Lösungsfindungsprozess, wie beispielsweise dem morphologischen Kasten, auf eine oder wenige Alternativen zu reduzieren. Weitere Gründe für den Einsatz dieser Verfahren sind die frühzeitige Erkennung von Risiken, die bestimmte Lösungsmöglichkeiten mit sich bringen. Außerdem wird die Forderung nach einer späteren Nachvollziehbarkeit der getroffenen Entscheidungen erfüllt. Dies wird durch geeignete Bewertungsverfahren sichergestellt, indem objektive Beurteilungen der Situation und die zu erwartenden Konsequenzen der einzelnen Handlungsalternativen festgehalten werden.

Bewertungsverfahren werden in verschiedenen Phasen des Produktentwicklungsprozesses angewendet. In der Planungsphase stehen Bewertungsaufgaben bezüglich der grundsätzlichen Ausrichtung und Positionierung des zu entwickelnden Produkts im Vordergrund. In der Konzeptfindung liegt der Fokus eher auf der vergleichenden Bewertung mehrerer Konzepte. Daher gibt es eine Vielzahl an Bewertungsverfahren, die auf bestimmte Anwendungen zugeschnitten sind. Man unterscheidet einfache, aufwändige und komplexe Verfahren, die sich hinsichtlich ihrer Eignung für verschiedene Entscheidungsaufgaben und des Zeitaufwands erheblich unterscheiden.[9]

Eine Bewertung soll den Wert bzw. die Stärken und Schwächen einer Lösung in Bezug auf das vorher definierte Zielsystem ermitteln. Dieses Zielsystem repräsentiert die Anforderungen an das Produkt sowie die allgemeinen Rahmenbedingungen, unter denen das Produkt entwickelt oder eingesetzt werden soll. Um die Eignung einer Lösung bezüglich des Zielsystems zu bewerten, sind gemeinsame Bewertungskriterien aufzustellen. Diese sind mit einheitlich erfassbaren und vergleichbaren Werten zu versehen (Wertungszahlen). Deren Summen (Wertigkeiten) werden als Vergleich gegenübergestellt. So wird durch den höchsten Wert die beste, durch den niedrigsten Wert die schlechteste Lösung dargestellt.[9]

Einfache Bewertungsverfahren sind beispielsweise die Argumentenbilanz, die Nutzwertanalyse und der paarweise Vergleich. Aufwändige Bewertungsverfahren umfassen die

2. Theoretische Grundlagen

technisch-wirtschaftliche Bewertung, das Rangfolgeverfahren oder die Präferenzmatrix. Ein komplexes Bewertungsverfahren ist die gewichtete Bewertung mittels scharfer, unscharfer und frei abgeschätzter Bewertungsgrößen nach Breiing und Knosala.[9]

Da die Nutzwertanalyse als einfaches Bewertungsverfahren für dieses Projekt am besten geeignet ist, wird im Folgenden diese Methode ausführlicher beschrieben.

Das Ziel der Nutzwertanalyse ist die Ermittlung einer Rangfolge für alle Lösungsalternativen. Diese Methode unterscheidet zwischen der gewichteten und der nicht gewichteten Punktbewertung. Bei der gewichteten Punktbewertung werden die Kriterien entsprechend ihrer Bedeutung für den Erfolg des neuen Produkts oder Prozesses gewichtet. Das Vorgehen bei einer gewichteten Punktbewertung erfolgt wie folgt:[9]

1. **Bewertungskriterien festlegen:** Die Bewertungskriterien werden aus der Anforderungsliste entnommen.
2. **Gewichtung der Bewertungskriterien bestimmen:** Die Gewichtung der Kriterien zueinander wird üblicherweise durch Zahlen zwischen 0 und 1 ausgedrückt. Diese Zahlen müssen in der Summe 1 ergeben.
3. **Eigenschaften der Varianten beschreiben:** Die qualitativen und quantitativen Eigenschaften der Varianten werden in Bezug auf die Kriterien beschrieben.
4. **Eigenschaften mit Punkten bewerten:** Die festgelegten Eigenschaften der Lösungsvarianten werden nach einer festgelegten Skala (z.B. 0-10) bewertet.
5. **Punkte mit Gewichtung multiplizieren:** Durch die Multiplikation der Punkte der Varianten mit der Gewichtung werden die gewichteten Punktzahlen berechnet.
6. **Resultate aufsummieren:** Durch die Addition der Punkte jeder Lösungsalternative entsteht eine Rangfolge der Varianten. Die Lösung mit der höchsten Punktzahl ist die geeignete für die vorliegende Aufgabe.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in seiner universellen Einsetzbarkeit und der einfachen Handhabung. Es ist in kurzer Zeit durchführbar. Für eine erfolgreiche Durchführung muss ein ausreichender Kenntnisstand der Eigenschaften der Lösungsvarianten vorhanden sein. Zudem sollte die Bewertung in einem Team bestehend aus Experten durchgeführt werden.

3. Umfeldanalyse

Die Umfeldanalyse dient der systematischen Erfassung aller externen Einflussfaktoren auf die Produktentwicklung. Dazu gehören die Ableitung von Systemanforderungen, die Analyse bestehender Marktangebote sowie eine Patentrecherche. Ziel ist es, technische, rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen frühzeitig zu identifizieren und eine fundierte Grundlage für die Konzeptentwicklung und Abgrenzung eigener Lösungen zu schaffen.

3.1. Rahmenbedingungen und Systemanforderungen

Die Systemanforderungen für die Messeanlage sowie das zu montierende Werbegeschenk wurden im Rahmen gemeinsamer Gruppensitzungen systematisch aus der Projektaufgabenstellung und den praktischen Erfordernissen des Einsatzszenarios abgeleitet.

Ziel dieser Abstimmungen war es, sowohl technische als auch nutzerorientierte Anforderungen frühzeitig zu erfassen und in eine strukturierte, nachvollziehbare Anforderungsliste zu überführen. Um eine differenzierte Betrachtung zu ermöglichen, wurden die identifizierten Anforderungen in zwei Hauptkategorien unterteilt – Werbegeschenk sowie Montageanlage Anforderungen – und nach dem Kano-Modell priorisiert [10]:

- **Basisanforderung (Bas. A.)**: Diese Anforderungen sind unverzichtbar und müssen erfüllt sein, um die grundlegende Funktionalität zu gewährleisten.^[10]
- **Leistungsanforderung (Leis. A.)**: Diese Anforderungen steigern die Effizienz und Benutzerfreundlichkeit. Ihre Erfüllung führt zu Zufriedenheit.^[10]
- **Begeisterungsanforderungen (Beg. A.)**: Dies sind zusätzliche Funktionen oder Merkmale, die über die Erwartungen hinausgehen und die Benutzer bzw. Auftraggeber positiv überraschen. Ihre Erfüllung führt zu großer Zufriedenheit, während ihre Nichterfüllung keine Unzufriedenheit verursacht.^[10]

3. Umfeldanalyse

Nr.	Kategorie	Anforderung	Priorität
1	Werbegeschenk & Montageanlage	Die Entwicklung und Umsetzung der Anlage muss innerhalb eines fixen Bearbeitungszeitraums von 12 Wochen erfolgen.	Leis. A.
2	Werbegeschenk	Das Werbegeschenk muss aus mindestens drei Einzelteilen bestehen und darf maximal 10 € pro Stück kosten.	Bas. A.
3	Werbegeschenk	Das Werbegeschenk soll modular aufgebaut und durch Anbauteile erweiterbar sein, um die Kreativität zukünftiger Studierender zu fördern.	Beg. A.
4	Montageanlage	Die Anlage muss nach dem Start vollautomatisch ohne manuellen Eingriff arbeiten.	Bas. A.
5	Montageanlage	Die Abmessungen der gesamten Anlage dürfen 600 mm × 400 mm × 400 mm (B×T×H) und 12kg nicht überschreiten.	Bas. A.
6	Montageanlage	Die Energieversorgung muss < 50 V.	Bas. A.
7	Montageanlage	Die Anlage muss CE-Konform sein.[11]	Bas. A.
8	Montageanlage	Die Fertigung von zehn Einheiten muss in weniger als fünf Minuten abgeschlossen sein.	Leis. A.
9	Montageanlage	Die Bedienoberfläche der Anlage muss intuitiv und ohne Schulung nutzbar sein.	Leis. A.
10	Montageanlage	Für die Steuerung ist ein Arduino oder eine SPS zu verwenden; alle Bedienelemente und Schnittstellen müssen leicht zugänglich sein.	Leis. A.
11	Montageanlage	Die Gesamtkosten der Anlage dürfen maximal 750 € betragen; Sponsoring ist zulässig.	Leis. A.
12	Montageanlage	Der Aufbau der Anlage muss offen gestaltet sein, um Ansehlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Prozesse zu ermöglichen.	Beg. A.

Tabelle 3.1.: Systemanforderungsliste nach Kano

Die Systemanforderungen spiegeln den Anspruch wider, sowohl eine technisch attraktive Montageanlage zu realisieren als auch ein Werbegeschenk zu gestalten, das künftige Studierende auf intuitive und kreative Weise für Technik begeistert. Studien zeigen, dass viele erfolgreiche Unternehmer und Ingenieurinnen bereits frühzeitig technisches Interesse entwickelt haben [12] – meist lange vor Beginn eines Studiums. Steve Jobs brachte es auf den Punkt:

„Technology alone is not enough it's technology married with liberal arts [...] that makes our hearts sing.“^{[13].1}

Dieses Projekt zielt genau darauf ab – Technik sichtbar, erlebbar und motivierend zu machen. Wer Technik nicht nur konsumiert, sondern sie aktiv erweitert, erfährt ein tieferes Verständnis – ein entscheidender Impuls für Studien- und Berufswahl im MINT-Bereich. Genau darin liegt der besondere Wert: Technik nicht nur zu verstehen, sondern sie auch selbst mitgestalten zu können.

3.2. Marktanalyse

Die Marktanalyse ist ein zentrales Instrument zur Einschätzung unternehmerischer Chancen und Risiken innerhalb eines bestimmten Marktfelds [14]. Sie liefert essenzielle Erkenntnisse über Marktvolumen, Entwicklungstrends, Wettbewerbsstrukturen sowie über potenzielle Zielgruppen. Besonders im Bereich technologischer Accessoires wie MagSafe-Wallets, die sowohl funktionale als auch modische Aspekte bedienen, ermöglicht eine fundierte Marktanalyse die strategische Ausrichtung von Unternehmen.

Im Zentrum dieser Analyse steht der Markt für MagSafe-kompatible Wallets, also magnetische Kartenetuis, die sich rückseitig an MagSafe-fähigen iPhones anbringen lassen. Die Zielgruppe umfasst überwiegend technikaffine Konsument:innen mit iPhone-Modellen ab Generation 12, die eine minimalistische, mobile Lösung zur Aufbewahrung von Karten, Ausweisen und Bargeld bevorzugen. Dabei differenziert sich der Markt zunehmend nach funktionalen, ästhetischen und nachhaltigen Präferenzen, was zu einer deutlichen Segmentierung der Nachfrage führt.

In den letzten Jahren ist das Marktvolumen für Smartphone-Zubehör mit Fokus auf MagSafe-Produkte signifikant gestiegen. Seit der Einführung der MagSafe-Technologie im Oktober 2020 mit dem iPhone 12 hat sich insbesondere das Segment der magnetischen Geldbörsen etabliert. Laut einem Bericht von Valuates Reports wurde der globale Markt für MagSafe-Zubehör im Jahr 2024 auf 11,74 Milliarden US-Dollar geschätzt. Prognosen

^{[13].1} Steve Jobs, Gründer und langjähriger CEO von Apple Inc.

zufolge soll dieser Markt bis 2031 auf 16,14 Milliarden US-Dollar anwachsen, was einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 4,7 % entspricht. [15]

Wettbewerbsanalyse

Eine strukturierte Wettbewerbsanalyse zeigt, dass drei zentrale Anbieter mit unterschiedlichen Positionierungen am Markt agieren: Apple, Ridge und Lockcard. Die folgende Tabelle (vgl. Tabelle 3.2) gibt einen Überblick über deren Merkmale:

Nr.	Merkmal	Apple	Ridge	Lockcard
1	Preis	Ab 65 €	119–159 €	71 €
2	Materialien	Feingewebe, Leder	Kohlefaser, Aluminium, Titan, Gold, Edelstahl	Aluminium, Silikon
3	Kartenkapazität	Max. 3	Max. 6	Max. 15
4	Zusatzfunktionen	Tracking	Lebenslange Garantie	Cash Slider, modular
5	Designvarianten	5 Farben	Mehrere Varianten	Klassisch
6	Herstellung	International	International	Lokal (Deutschland)

Tabelle 3.2.: Vergleich zentraler Anbieter im MagSafe-Wallet-Markt

Apple profitiert von Systemintegration und Markenbindung. Ridge überzeugt durch Premium-Materialien und Garantie, Lockcard durch Nachhaltigkeit und Modularität. Während Apple in das „Wo ist?“-System integriert ist, bietet Ridge hochwertige Materialien und Lockcard die höchste Kartenkapazität.

Positionierung

Das folgende Positionierungskreuz ordnet die Anbieter nach Funktionalität und Lifestyle sowie nach Preisniveau ein (vgl. Abbildung 3.1):

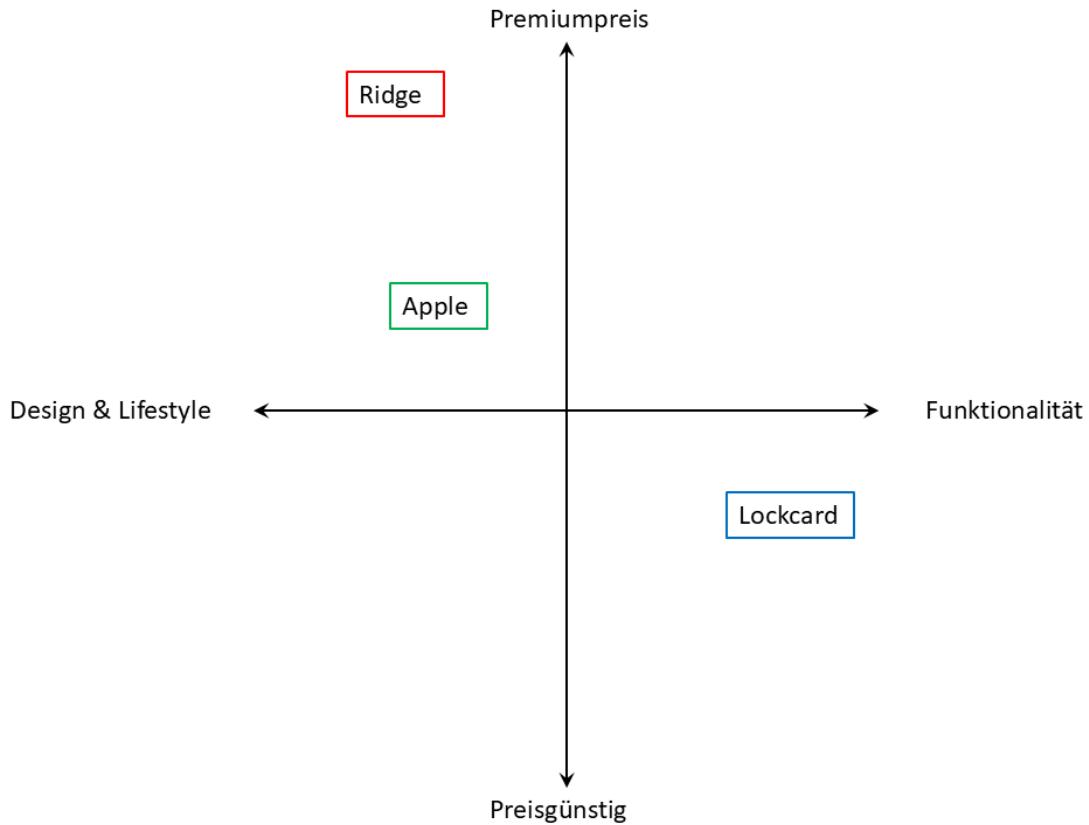


Abbildung 3.1.: Positionierung zentraler Anbieter im MagSafe-Wallet-Markt

Marktpotenzial

Die Marktpotenzialanalyse zeigt, dass trotz Apples Dominanz Nischenanbieter erfolgreich Marktanteile gewinnen, indem sie spezifische Zielgruppenbedürfnisse adressieren. Lockcard hat durch Internationalisierung und Produktporfolio-Ausbau besonders hohes Wachstumspotenzial. Funktionen wie NFC, App-Konnektivität und individuelle Designs treiben zusätzliches Marktpotenzial an.

Insgesamt zeigt sich der Markt für MagSafe-Wallets als wachstumsstark, differenziert und technologiegetrieben. Unternehmen, die sowohl funktionale als auch emotionale Bedürfnisse bedienen, verfügen über hohes Entwicklungspotenzial.

3.3. Patentrecherche

Patentrecherchen stellen ein zentrales Instrument im Innovationsprozess dar [16]. Sie dienen der systematischen Analyse des bestehenden Standes der Technik und helfen, technische Entwicklungen in einem rechtlichen Kontext einzuordnen. Ziel ist es, Konflikte

mit bestehenden Schutzrechten zu vermeiden, Innovationspotenziale zu identifizieren und strategische Entscheidungen über eigene Patent- oder Designanmeldungen fundiert treffen zu können. Patente sind darüber hinaus nicht nur juristische Dokumente, sondern auch technische Wissensquellen, die detaillierte Lösungsansätze dokumentieren, oft noch bevor diese am Markt sichtbar werden [16].

Fokus der Recherche

Im Rahmen dieser Recherche wurde der Fokus auf sogenannte „MagSafe Wallets“ gelegt – also magnetisch befestigbare Kartenetuis, die mit mobilen Geräten, insbesondere Smartphones, verbunden werden. Ziel war es, bestehende Schutzrechte zu identifizieren, technische Lösungen zu vergleichen und Gestaltungsspielräume für eigene Entwicklungen zu erkennen. Die Recherche erfolgte über die Datenbanken des USPTO sowie Google Patents unter Verwendung einschlägiger Suchbegriffe wie „Magnetic Wallet“, „MagSafe Accessory“ und „Magnetically attachable device“ [17].

Relevante Schutzrechte

Vier Schutzrechte wurden als besonders relevant eingestuft:

- **Nr. 1: US11839279B2** (Wulff et al., 2023): Magnetisch anbringbares Wallet mit präziser Ausrichtung und Schutz gegen Entmagnetisierung. Klare Ausrichtung auf MagSafe-Kompatibilität.
- **Nr. 2: US8138869B1** (Lauder et al., 2012): Grundlagenpatent für magnetisch haftendes Zubehör, nicht spezifisch für Wallets, liefert jedoch wichtige Vorarbeit.
- **Nr. 3: US20220103667A1** (Chiang et al., 2022): Smartphone-Wallet mit gezieltem Kartenschutz und magnetischer Positionierungsstruktur.
- **Nr. 4: US11864641B2** (Mora et al., 2024): Integration elektronischer Komponenten wie NFC oder drahtlose Energieübertragung.

Vergleich technischer Merkmale

Die Tabelle 3.3 verdeutlicht den technischen Fortschritt innerhalb dieses Marktsegments. Während ältere Schutzrechte auf einfache Befestigungssysteme fokussiert sind, zeigen neuere Entwicklungen eine zunehmende Integration elektronischer Funktionen, ein höheres Maß an Anwenderkomfort sowie technische Schutzmechanismen für mitgeführte Karten. Es

3. Umfeldanalyse

bestehen Innovationspotenziale – etwa durch die Verknüpfung magnetischer Befestigungen mit smarten Funktionen, modularen Erweiterungen oder verbesserten Sicherheitsmechanismen.

Patent Nr.	Magnetische Befestigung	Karten-schutz	Elektronik integriert	Positionierungs-system
1	✓	✗	✗	✓
2	✓	✗	✗	✗
3	✓	✓	✗	✓
4	✓	✓	✓	✓

Tabelle 3.3.: Vergleich technischer Merkmale ausgewählter Schutzrechte

Die durchgeführte Patentrecherche liefert somit eine fundierte Grundlage zur strategischen Bewertung eigener Ideen.

4. Konzeptentwicklung

Die Konzeptentwicklung umfasst die systematische Auswahl des Werbegeschenks sowie die Erstellung eines ersten technischen Konzepts für die Montageeinrichtung. Auf Basis definierter Anforderungen und methodischer Entscheidungsverfahren – wie Morphologischer Kasten und Nutzwertanalyse – werden verschiedene Lösungsansätze strukturiert entwickelt, bewertet und das optimale Konzept identifiziert.

4.1. Methodische Auswahl des Giveaways

Zur systematischen Bewertung und Auswahl der geeignetsten Alternative wurde eine Nutzwertanalyse (NWA) durchgeführt. Diese Methode erlaubt die vergleichende Bewertung mehrerer Entscheidungsalternativen anhand zuvor definierter Kriterien, deren Gewichtung und Nutzenbeiträge ermittelt wurden. Die NWA zählt zu den Multi-Kriterien-Entscheidungsverfahren und eignet sich besonders bei komplexen Entscheidungsprozessen mit qualitativen und quantitativen Einflussfaktoren [9].

Im ersten Schritt wurde ein Kriterienkatalog mit zehn bewertungsrelevanten Kriterien erstellt, die in einer Paarvergleichsmatrix gemäß dem Verfahren nach Saaty [18] hinsichtlich ihrer relativen Bedeutung zueinander verglichen wurden. Die entstehenden Summen der einzelnen Kriterien-Priorisierungen wurden anschließend zur Bestimmung kriterienspezifischer Gewichtungswerte normiert (vgl. Tabelle 4.1).

Kriterien	Kriterien Nr.										Summe	Kriterienspezifische Gewichtungswerte
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. Kosten	-	0	2	0	2	2	2	2	0	2	12	0,14
2. Sichere Verwendung	2	-	2	0	1	1	1	2	0	2	11	0,13
3. Kreativität & Attraktivität	0	0	-	0	1	1	1	2	0	1	6	0,07
4. Automatisierte Fertigung & Montage	2	2	2	-	2	2	2	2	1	2	17	0,20
5. Robustheit & Langlebigkeit	0	1	1	0	-	1	1	2	0	1	7	0,08
6. Hoher Nutzfaktor	0	1	1	0	1	-	1	2	0	2	8	0,09
7. Benutzerfreundlichkeit	0	1	1	0	1	1	-	2	0	2	4	0,05
8. Möglichkeit zur Präsentation des DHBW Logos	0	0	0	0	0	0	0	-	0	1	1	0,01
9. Einhaltung gesetzlicher Richtlinien	2	2	2	1	2	2	2	2	-	2	17	0,20
10. Design & Ästhetik	0	0	1	0	1	0	0	1	0	-	3	0,03
										Σ 86		
										Gesamtzahl möglicher Paarvergleiche		

Abbildung 4.1.: Gewichtung der Kriterien

4. Konzeptentwicklung

Daraufhin erfolgte die Bewertung der vier Entscheidungsalternativen („Daily M8“, „Anti-Stress“, „Puzzle Würfel“, „Goodie-Box“) (vgl. Tabelle 4.1) in Bezug auf jedes Kriterium. Auch hier kam eine Paarvergleichsanalyse zur Anwendung, um die relative Vorteilhaftigkeit der Alternativen zu ermitteln. Die Ergebnisse wurden zur Ermittlung der kriteriumsspezifischen Nutzenbeiträge herangezogen, indem die Gewichtungen mit den jeweiligen Punktwerten der Alternativen multipliziert wurden (vgl. Tabelle 4.2).

Tabelle 4.1.: Legende Alternativen

Bezeichnung	Alternative
A	Daily M8
B	Anti-Stress
C	Puzzle Würfel
D	Goodie-Box

Kriterien		Alternativen A B C D	Summe	Variantenspezifischer Gewichtungswert
1. Kosten	A	- 1 1 0	2	0,018
	B	1 - 1 0	2	0,018
	C	1 1 - 0	2	0,018
	D	2 2 2 -	6	0,054
2. Sichere Verwendung	A	- 2 1 1	4	0,036
	B	0 - 0 0	0	0,000
	C	1 2 - 1	4	0,036
	D	1 1 1 -	3	0,027
3. Kreativität & Attraktivität	A	- 2 2 2	6	0,054
	B	0 - 1 2	3	0,027
	C	0 1 - 2	3	0,027
	D	0 0 0 -	0	0,000
4. Automatisierte Fertigung & Montage	A	- 1 0 0	1	0,009
	B	1 - 0 0	1	0,009
	C	2 2 - 1	5	0,045
	D	2 2 1 -	5	0,045
5. Robustheit & Langlebigkeit	A	- 2 2 1	5	0,045
	B	0 - 1 0	1	0,009
	C	0 1 - 0	1	0,009
	D	1 1 2 -	4	0,036
6. Hoher Nutzfaktor	A	- 2 2 2	6	0,054
	B	0 - 1 0	1	0,009
	C	0 1 - 0	1	0,009
	D	0 0 2 -	2	0,018
7. Benutzer- freundlichkeit	A	- 2 2 1	5	0,045
	B	0 - 1 0	1	0,009
	C	0 1 - 0	1	0,009
	D	1 1 2 -	4	0,036
8. Möglichkeit Präsentation DHBW-Logos	A	- 2 2 1	5	0,045
	B	0 - 1 0	1	0,009
	C	0 1 - 0	1	0,009
	D	1 1 2 -	4	0,036
9. Einhaltung gesetzlicher Richtlinien	A	- 2 1 1	4	0,036
	B	0 - 1 0	1	0,009
	C	1 1 - 0	2	0,018
	D	1 1 2 -	4	0,036
10. Design & Ästhetik	A	- 2 2 2	6	0,054
	B	0 - 0 0	0	0,000
	C	0 2 - 2	4	0,036
	D	0 0 0 -	0	0,000
Summe		111		

Tabelle 4.2.: Alternativen-Bewertung

4. Konzeptentwicklung

Die abschließende Nutzensumme der Alternativen wurde durch Aggregation aller gewichteten Einzelwerte gebildet. Die höchsten Gesamtnutzenwerte erreichten die Alternativen A („Daily M8“) und D („Goodie-Box“) mit Werten von 0,03276 bzw. 0,032472, womit sie als die vorteilhaftesten Optionen im Rahmen der Bewertung identifiziert wurden (vgl. Abbildung 4.2).

Kriterien	Alternativen			
	A	B	C	D
1. Kosten	0,00252	0,00252	0,00252	0,00756
2. Sichere Verwendung	0,00468	0,0000	0,00468	0,00351
3. Kreativität & Attraktivität	0,00378	0,00189	0,00189	0,0000
4. Automatisierte Fertigung & Montage	0,0018	0,0018	0,009	0,009
5. Robustheit & Langlebigkeit	0,0036	0,00072	0,00072	0,00288
6. Hoher Nutzfaktor	0,00486	0,00081	0,00081	0,000162
7. Benutzerfreundlichkeit	0,00225	0,00045	0,00045	0,0018
8. Möglichkeit zur Präsentation des DHBW Logos	0,00045	0,00009	0,00009	0,00036
9. Einhaltung gesetzlicher Richtlinien	0,0072	0,0018	0,0036	0,0072
10. Design & Ästhetik	0,00162	0,0000	0,00108	0,0000
Summe	0,03276	0,01008	0,02484	0,032472

Abbildung 4.2.: Berechnung optimaler Variante

Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die Entscheidungsfindung nicht nur transparent, sondern auch methodisch fundiert erfolgt. Die Kombination von subjektiven Einschätzungen (durch Paarvergleiche) mit objektivierten Gewichtungen und aggregierten Nutzwerten bietet eine nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage [9].

4.2. Anlagenkonzept

Die Gesamtanlage ist in drei Funktionsbausteine gegliedert. Jeder Baustein übernimmt eine definierte Aufgabe im Prozessablauf. Die Aufteilung erfolgt mit Blick auf klare Zuständigkeiten während der Gruppenarbeit, einfache Inbetriebnahme, spätere Wartbarkeit und Modularität.

- **Funktionsbaustein 1 – Stapelmechanismus:** Bereitstellung und Übergabe von je einem Multitool und einer MagSafe-Platte. Der Stapelmechanismus stapelt diese Bauteile und übergibt sie an den nächsten Prozessschritt.
- **Funktionsbaustein 2 – Gummibandmontage:** Aufziehen eines elastischen Gummibands auf die MagSafe-Platte und das Multitool.
- **Funktionsbaustein 3 – Bedieneinheit:** Steuerung und Bedienung der Gesamtanlage. Über ein Human Machine Interface (HMI) erfolgt die Anwahl von Automatik- und Handbetrieb, Start, Stopp, Not-Halt und Zustandsanzeigen.

Die drei Funktionsbausteine bilden die Grundlage für den weiteren Aufbau und die technische Umsetzung. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Einheiten detailliert beschrieben, Bausteinanforderungen festgelegt und konzeptioniert.

4.2.1. Stapelmechanismus

Der Stapelmechanismus hat die Aufgabe, die Multitool-Platte und die Magsafe-Platte übereinander zu positionieren und dem nächsten Funktionsbaustein zu übergeben. Auch wenn dieser Vorgang auf den ersten Blick einfach erscheint, ergeben sich in der praktischen Umsetzung mehrere Herausforderungen. Beide Platten sind sehr dünn, was die Handhabung erschwert. Hinzu kommt, dass die Magsafe-Platte einen integrierten Dauermagneten enthält, wodurch beim Annähern an metallische Flächen und auch zwischen den Magsafe-Platten erhebliche Anziehungskräfte wirken. Diese Magnetkraft erfordert nicht nur eine hohe Anfangskraft zum kontrollierten Trennen der Platten, sondern kann auch zu ruckartigen Bewegungen führen. Die Gefahr besteht, dass sich die Bauteile verkanten, beschädigt werden oder der Prozess unkontrolliert abläuft.

Zur Abschätzung der magnetischen Anziehungskraft kann eine idealisierte Formel aus der Magnetostatik verwendet werden. Dabei ergibt sich die Kraft zwischen zwei parallelen Flächen bei einem kleinen Luftspalt zu:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot B^2}{2} \quad (4.1)$$

mit folgenden Parametern:

- F : magnetische Kraft in Newton (N)
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m: magnetische Feldkonstante
- A : wirksame Magnetfläche in m^2
- B : magnetische Flussdichte im Luftspalt in Tesla (T)

Angenommen, die Magsafe-Platte besitzt eine magnetische Kreisfläche mit einem Durchmesser von 20 mm und die Flussdichte beträgt $B = 0,4$ T. Dann ergibt sich:

$$A = \pi \cdot \left(\frac{0,02}{2}\right)^2 = 3,14 \cdot (0,01)^2 = 3,14 \cdot 10^{-4} m^2 \quad (4.2)$$

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot (0,4)^2}{2} \quad (4.3)$$

$$F \approx 3,15 \cdot 10^{-8} N \quad (4.4)$$

Für den konstruktiven Aufbau bedeutet dies, dass der eingesetzte Stapelmechanismus nicht nur eine entsprechende Kraft zuverlässig aufbringen muss, sondern auch eine sanfte, kontrollierte Bewegung sicherstellen sollte. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Platten durch das plötzliche Anhaften unkontrolliert zusammengezogen werden. Geeignete Maßnahmen zur Vermeidung solcher Effekte umfassen langsame Anfahrbewegungen, das Anheben mit definiertem Winkel zur Reduktion der Haftkraft sowie der gezielte Einsatz von Gegenfedern oder entmagnetisierenden Abstreifelementen. Ziel ist ein robuster, materialschonender und reproduzierbarer Stapelprozess.

Bevor ein konkretes Konzept entwickelt und evaluiert werden kann, müssen die übergeordneten Systemanforderungen und Überlegungen zu dem Prozess in spezifische Anforderungen für die einzelnen Funktionsbausteine überführt werden. Dies ist ein zentraler Schritt im V-Modell, um eine nachvollziehbare und strukturierte Systementwicklung sicherzustellen.

Systemanforderung		Bausteinanforderung	
Nr.	Anforderung	Nr.	Anforderung
4	Die Anlage muss nach dem Start vollautomatisch ohne manuellen Eingriff arbeiten.	4.1	Die Magneten dürfen nicht XY überschreiten.

Systemanforderung		Bausteinanforderung	
Nr.	Anforderung	Nr.	Anforderung
5	Die Abmessungen der gesamten Anlage dürfen $600 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ ($B \times T \times H$) nicht überschreiten.	5.1	Der Schiebemechanismus darf maximal $500 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ ($B \times T \times H$) einnehmen.
8	Die Fertigung von zehn Einheiten muss in weniger als fünf Minuten abgeschlossen sein.	8.1	Der Schiebemechanismus muss mindestens jeweils zehn Platten lagern können.
		8.2	Der Schiebemechanismus von Beginn bis Übergabe an den nächsten Funktionsbaustein muss < 20 Sekunden sein.
11	Die Gesamtkosten der Anlage dürfen maximal 750 € betragen; Sponsoring ist zulässig.	11.1	Der Schiebemechanismus darf nicht mehr als 150 € kosten.
12	Der Aufbau der Anlage muss offen gestaltet sein, um Beobachtbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Prozesse zu ermöglichen.	12.1	Die Fixierung der Platten darf nicht mehr als 20 mm des Werbegeschenkes verdecken.

Tabelle 4.3.: Komponentenanforderungsliste an den Schiebemechanismus

Konzept 1

Für den Stapelmechanismus werden zwei verschiedene Konzepte vorgestellt, die lediglich die Aufgabe des Ausschiebens und Nachladens der Platten erfüllen sollen. Hierbei ist der grundsätzliche Aufbau hinsichtlich der Position der Magazine in Bezug auf die Drehplatte gleich. Nur die Gestaltung des Schieberantriebs und der damit verbundenen Komponenten ist verändert. Konzept 1 ist wie in Abbildung 4.3 dargestellt aufgebaut:

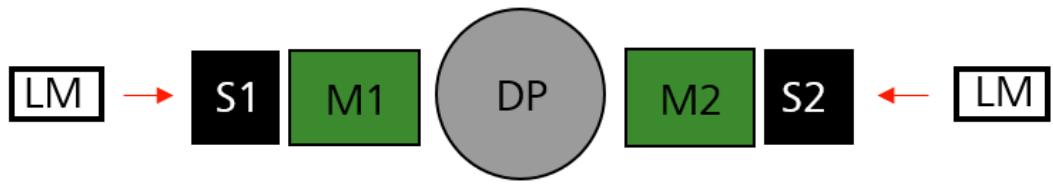


Abbildung 4.3.: Konzept 1: Ausschiebemechanismus

Die Drehplatte sitzt mittig zwischen den beiden Plattenmagazinen M1 und M2. Für jedes Magazin ist ein separater Schieber vorhanden (S1 und S2), der jeweils von einem elektrischen Linearmotor (LM) nach vorn und hinten bewegt wird. Dadurch ist ein gleichzeitiger Einschub der Platten in die Drehplatte möglich, was die gesamte Montagedauer erheblich verkürzt. Als Nachteil ist der hohe Platzbedarf anzusehen, den die beiden Linearmotoren generieren, da sie auf beiden Seiten hinter den Schiebern positioniert sind.

Konzept 2

Konzept 2 verfolgt einen sowohl platz- als auch kostengünstigeren Ansatz: Beide Schieber werden durch ein Verbindungsstück mechanisch gekoppelt, wodurch nur ein Antrieb am Verbindungsstück notwendig ist. Das Funktionsprinzip ist in Abbildung 4.4 dargestellt. Die Funktionen der Schieber bleiben vollständigen erhalten, jedoch ist ein gleichzeitiges Ausschieben der Platten nicht möglich.

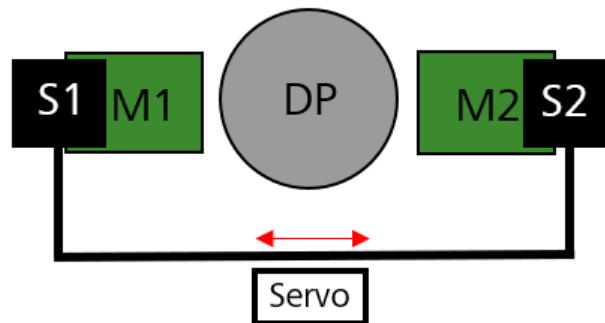


Abbildung 4.4.: Konzept 2: Ausschiebemechanismus

Allerdings können mit einem Hub gleichzeitig zwei Funktionen erfüllt werden. Wird die Platte aus M1 ausgeschoben, bewegt sich S2 automatisch nach hinten und ermöglicht ein Nachrutschen der Platten im M2. Negativ wirkt sich der exzentrische Grundaufbau der Ausschiebeeinheit aus, da hierdurch ein Drehmoment auf den Antrieb wirken wird,

4. Konzeptentwicklung

weshalb eine Führung des Verbindungsstückes nötig ist. Diese Variante ist erforderlich, damit die in Anforderung (5.1) definierten Abmaße erreicht werden und aufgrund von Anforderung (11.1) ist diese Variante ebenfalls vorzuziehen, da nur ein Motor als Antrieb erforderlich ist.

4.2.2. Gummibandmontage

Die Montage biegeschlaffer Bauteile stellt grundsätzlich eine besondere Herausforderung in automatisierten Prozessen dar [19]. Im vorliegenden Fall betrifft dies das Handling eines Gummibands, das im Rahmen der Gesamtmontage auf das Bauteil eingebracht werden muss. Im Gegensatz zu starren Komponenten weisen biegeschlaffe Teile keine definierte Geometrie in unbelastetem Zustand auf. Ihre Form verändert sich unter dem Einfluss von wirkenden Kräften, was eine präzise und wiederholbare Handhabung deutlich erschwert.

Das zentrale Problem ist die fehlende Eigensteifigkeit des Gummibands. Während ein starres Teil sicher gegriffen, positioniert und gefügt werden kann, neigt das Gummiband dazu, sich beim Greifen zu verformen und verdrehen. Dies kann zu unerwünschten Faltungen oder Verknotungen führen. Insbesondere in der Übergabephase zwischen Greifer und Werkstück besteht die Gefahr, dass das Gummiband nicht korrekt aufliegt oder sich aufgrund elastischer Rückstellkräfte wieder vom Bauteil ablöst.

Weitere Komplikationen ergeben sich aus der variierenden Bauteiltoleranz, Reibwerten der Oberfläche und der Reproduzierbarkeit der Entnahmeposition [20]. Schon kleine Abweichungen können dazu führen, dass das Gummiband nicht sauber gespannt oder asymmetrisch aufgesetzt wird, was wiederum die Funktion der Montageanlage und des Produktes beeinträchtigt.

Die automatisierte Gummibandmontage erfordert daher eine besonders sorgfältige Betrachtung in Bezug auf Materialeigenschaften, Bewegungsstrategie, Kraftführung und Positionierung. Ziel ist ein robuster, reproduzierbarer Prozess, der trotz der Flexibilität des Bauteils eine exakte und beschädigungsfreie Montage sicherstellt.

Systemanforderung		Bausteinanforderung	
Nr.	Anforderung	Nr.	Anforderung
Nr.	Anforderung	Nr.	Anforderung
4	Die Anlage muss nach dem Start vollautomatisch ohne manuellen Eingriff arbeiten.	4.2	Es müssen mindestens zehn Gummibänder ohne Zwischeneingriff montiert werden können.
		4.3	Es müssen mindestens zehn Gummibänder gelagert werden.

Systemanforderung		Bausteinanforderung	
Nr.	Anforderung	Nr.	Anforderung
5	Die Abmessungen der gesamten Anlage dürfen $600 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ ($B \times T \times H$) nicht überschreiten.	5.2	Die Gummibandmontage darf maximal $500 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ ($B \times T \times H$) einnehmen und 3kg wiegen.
8	Die Fertigung von zehn Einheiten muss in weniger als fünf Minuten abgeschlossen sein.	8.3	Die Gummibandmontage von Beginn bis Übergabe an den nächsten Funktionsbaustein muss < 10 sekunden sein.
11	Die Gesamtkosten der Anlage dürfen maximal 750 € betragen; Sponsoring ist zulässig.	10.2	Die Gummibandmontage darf nicht mehr als 250 € kosten.
12	Der Aufbau der Anlage muss offen gestaltet sein, um Ansehnlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Prozesse zu ermöglichen.	12.2	Die Gummibandmontage darf keine anderen Funktionsbausteine verdecken.

Tabelle 4.4.: Komponentenanforderungsliste an den Schiebemechanismus

Konzept 1

Ein Konzept zur Umsetzung der Gummibandmontage besteht darin, das Gummiband zunächst unter definierter Vorspannung zu fixieren und durch eine lineare Abzugsbewegung über das Bauteil zu spannen. Ein Aufbau dieses Prinzips ist in Abbildung 4.5 dargestellt.

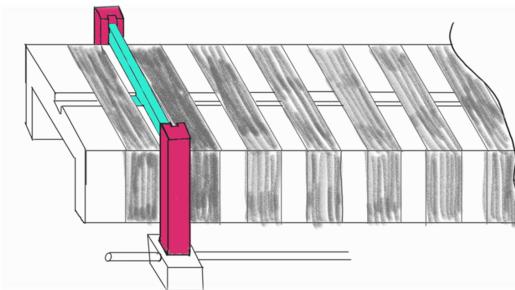


Abbildung 4.5.: Konzept 1: Linearbewegung zur Montage vorgespannter Gummibänder

Das Montagekonzept basiert auf dem Einsatz eines vertikal geführten Schwenkarms mit Greifstruktur, der das vorgespannte Gummiband abzieht und über die Magsafe- und Multitoolplatte positioniert. Der mechanische Ablauf ist prinzipiell einfach und verspricht eine hohe Reproduzierbarkeit (Tabelle 4.4, Bas. A., Nr. 4). Auch der Bauraum bleibt kompakt, und die Bewegung kann präzise geführt werden.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch eine Reihe von Einschränkungen: Zum einen bringt eine typische Lineareinheit mit Gewindestange ein nicht unerhebliches Eigengewicht mit sich. Je nach Ausführung liegt dieses zwischen ca. 2–4 kg, bereits ein drittel unseres Gesamtgewichtes betragen würde und gegen die Komponentenanforderung 5.2 stößt (Tabelle 4.4, Bas. A.)

Zudem bleibt das Konzept in Hinblick auf seine gestalterische und didaktische Wirkung vergleichsweise zurückhaltend. Die Funktion ist zwar technisch nachvollziehbar, bietet jedoch weder visuell noch konzeptionell besondere Innovationsmerkmale (Tabelle 4.4, Beg. A., Nr. 12). Im Kontext einer Messeanlage, deren Ziel auch die Begeisterung für Technik ist, wirkt das Konzept eher technisch-konservativ. Aspekte wie Modularität, Interaktion oder kreative Außenwirkung lassen sich damit nur eingeschränkt realisieren.

Vor diesem Hintergrund wird das Konzept zwar als grundlegend funktional eingestuft, erreicht jedoch weder in Bezug auf das Gewicht noch auf den Innovationsgrad das Potenzial alternativer Lösungsansätze.

Konzept 2

Ein alternatives Konzept zur Gummibandmontage setzt vollständig auf den Einsatz eines mehrachsigen Roboterarms, der alle Bewegungen zum Greifen, Führen und Spannen des Gummibands übernimmt. Ein schematischer Aufbau ist in Abbildung 4.6 dargestellt.

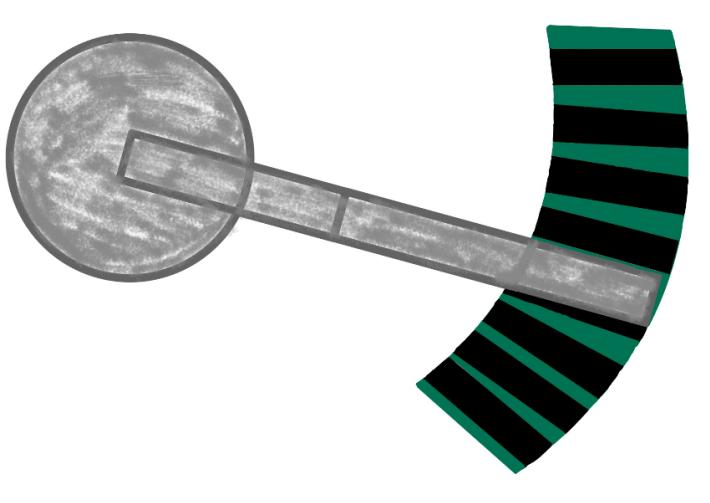


Abbildung 4.6.: Konzept 2: Mehrachsiger Roboterarm zur Gummibandmontage

Im Gegensatz zu Konzept 1 wird bei dieser Lösung vollständig auf eine Lineareinheit verzichtet. Stattdessen führt der Roboterarm eine präzise Bahnbewegung aus, mit der das vorgespannte Gummiband über die Magsafe- und Multitoolplatte gezogen wird. Die Bewegungsführung erfolgt ausschließlich über die internen Freiheitsgrade des Roboters, wodurch komplexe Abläufe und definierte Aufziehpfade realisierbar sind, jedoch nicht realisiert werden müssen.

Der wesentliche Vorteil dieses Konzepts liegt im hohen Innovationsgrad und der besonderen Außenwirkung – insbesondere im Messekontext. Die offene Sichtbarkeit des Montageprozesses (vgl. Tabelle 4.4, Nr. 12) sowie das klar strukturierte Zusammenspiel von Greifen, Positionieren und Spannen machen diesen Ansatz zu einem zentralen Blickfang innerhalb der Gesamtanlage. Gleichzeitig bietet der Einsatz eines Roboterarms ein hohes Maß an technischer Flexibilität, insbesondere im Hinblick auf Erweiterungen wie Prüf-, Sortier- oder Übergabefunktionen (vgl. Nr. 4.2, 8.4).

Auch unter praktischen Gesichtspunkten erfüllt das Konzept zentrale Anforderungen hinsichtlich Bauraum und Masse. Die gesamte Gummibandmontage bleibt innerhalb des vorgegebenen Bauraums von $500 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ (vgl. Tabelle 4.4, Nr. 5.2). Moderne Servoantriebe mit einem Drehmoment von 45 Ncm bringen bei einer Baugröße von etwa 100 g pro Achse. Selbst bei einem Aufbau mit vier Achsen ergibt sich daraus ein geschätztes Antriebssystemgewicht von unter 500 g, wodurch die geforderte Maximalmasse von 3 kg eingehalten wird.

Zusätzlich lassen sich bei geschickter Auslegung der Mechanik und Serienfertigung marktübliche Roboterkomponenten im Budgetrahmen von 250 € für die Gummibandmontage realisieren (vgl. Tabelle 4.4, Nr. 11.2). Damit erfüllt dieses Konzept nicht nur die funktionalen und wirtschaftlichen Anforderungen, sondern trägt auch wesentlich zur technischen

Aufwertung der Gesamtanlage bei – insbesondere durch seine Offenheit, Modularität und hohe visuelle Anziehungskraft (vgl. Nr. 12.2).

4.2.3. Bedieneinheit

Für die sichere und intuitive Steuerung der Gesamtanlage muss frühzeitig ein geeignetes Bedienkonzept entwickelt werden. Grundlage hierfür war die systematische Ableitung technischer Anforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Ziel ist es, eine Lösung zu finden, die sowohl den rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. CE-Konformität) als auch den funktionalen Ansprüchen an Komfort, Flexibilität und Erweiterbarkeit genügt. Die resultierenden Anforderungen sind in Tabelle 4.5 dargestellt.

Systemanforderung		Komponentenanforderung	
Nr.	Anforderung	Nr.	Anforderung
1	Die Anlage muss im Automatik- und Handbetrieb steuerbar sein.	1.1	Es müssen sowohl digitale Eingaben (z. B. Taster) als auch Touch-Eingaben möglich sein.
7	Die Anlage muss CE-Konform sein.	7.1	Not-Halt und Zustandsanzeige müssen physisch vorhanden sein.
		7.2	Sicherheitsrelevante Signale dürfen nicht ausschließlich über Software ausgelöst werden.
		7.3	Die Maschine muss Spannungsfrei gemacht werden können und gegen wiederenschalten sicherbar sein.
3	Die Bedienung muss intuitiv und robust sein.	3.1	Touch-Bedienoberfläche muss übersichtlich und reaktionsschnell sein.

Tabelle 4.5.: Komponentenanforderungsliste an die Bedieneinheit

Im Rahmen der Konzeptionsphase wurde ein hybrides Bedienkonzept erarbeitet, das den sicherheitsrelevanten Anforderungen der CE-Konformität in vollem Umfang gerecht werden soll. Ziel ist es, eine Bedieneinheit zu entwerfen, die ein modernes Touch-Panel für die Visualisierung und Eingabe betriebsbezogener Funktionen mit physisch ausgeführten

Bedienelementen für sicherheitskritische Aufgaben kombiniert. Gedacht ist hierbei an einen mechanischen Not-Halt-Schalter, einen Betriebsartwahlschalter sowie eine dauerhaft aktive LED-basierte Zustandsanzeige zur klaren Visualisierung des Maschinenstatus.

Besonderes Augenmerk liegt auf der Einhaltung funktionaler Sicherheitsanforderungen. So darf beispielsweise der Not-Halt nicht ausschließlich softwareseitig realisiert werden, und sicherheitsrelevante Signale müssen auch bei einem Ausfall der Visualisierung zuverlässig verfügbar bleiben (vgl. Tabelle 4.5, Anforderung 7.2). Ebenso wird vorgesehen, dass die Maschine spannungsfrei geschaltet und gegen ungewolltes Wiedereinschalten gesichert werden kann (7.3). Diese Anforderungen orientieren sich an der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG sowie relevanten Normen wie DIN EN ISO 13849 und DIN EN ISO 12100. [21] [22]

Das geplante Bedienkonzept soll sowohl den Automatik- als auch den Handbetrieb der Anlage ermöglichen 1), wobei eine duale Eingabemöglichkeit über digitale Bedienelemente (z. B. Taster) und über eine Touch-Bedienoberfläche gegeben sein soll (1.1). Letztere wird in der Entwurfsphase so konzipiert, dass sie übersichtlich und reaktionsschnell ist und somit den Anforderungen an eine intuitive und robuste Bedienung gerecht wird (3.1). Die Touch-Komponente soll eine flexible, menügesteuerte Nutzerführung ermöglichen, während die mechanischen Bedienelemente eine haptische Rückmeldung bieten und die CE-relevanten Anforderungen abdecken (7, 7.1, 7.2, 7.3).

Die Kombination dieser beiden Bedienformen wird derzeit als aussichtsreiches Konzept verfolgt. Sie verspricht eine hohe Benutzerfreundlichkeit und Erweiterbarkeit bei gleichzeitiger normgerechter Umsetzung sicherheitskritischer Funktionen. Eine schematische Darstellung des geplanten Bedienkonzepts ist in Abbildung 4.7 zu sehen.



Abbildung 4.7.: Geplantes Bedienkonzept: Kombination aus Touch-Interface und sicherheitsgerichteten Hardwarekomponenten

4.3. Elektronikkonzept

Es wurde ein modulares Elektronikkonzept erarbeitet, das den Anforderungen an funktionale Sicherheit, Entwicklungsflexibilität und normgerechte Umsetzung entspricht. Für die Steuerung der Anlage ist ein verteilter Aufbau vorgesehen: Jede der drei Funktionsbaugruppen soll durch einen eigenen Mikrocontroller sog. Slaves angesteuert werden. Diese verteilte Architektur ermöglicht die parallele Entwicklung einzelner Teilfunktionen und reduziert den Integrationsaufwand erheblich, was insbesondere im Hinblick auf den definierten Bearbeitungszeitraum von 12 Wochen (vgl. Systemanforderung Nr. 1) von Vorteil ist. [23]

Eine zentrale Mastereinheit übernimmt die Koordination der Baugruppen über eine standardisierte Kommunikationsschnittstelle wie I2C. Neben der Steuerung übergeordneter Prozesse ist er für das Logging sowie für die Anbindung der Bedieneinheit verantwortlich. Zur Absicherung sicherheitskritischer Ereignisse, wie z. B. eines Not-Halts, ist ein hardwarebasierter Interrupt vorgesehen. Die Ansteuerung erfolgt über GPIO-Leitungen, wobei die Latenzzeiten laut interner Messung zwischen 3 und 5 µs im Kernel-Modus und maximal 10 ms im Echtzeitbetrieb ohne Realtime-Kernel betragen. Damit ist eine normkonforme Reaktionszeit gemäß CE-Anforderungen gewährleistet (vgl. Systemanforderung Nr. 7 und 3). [24]

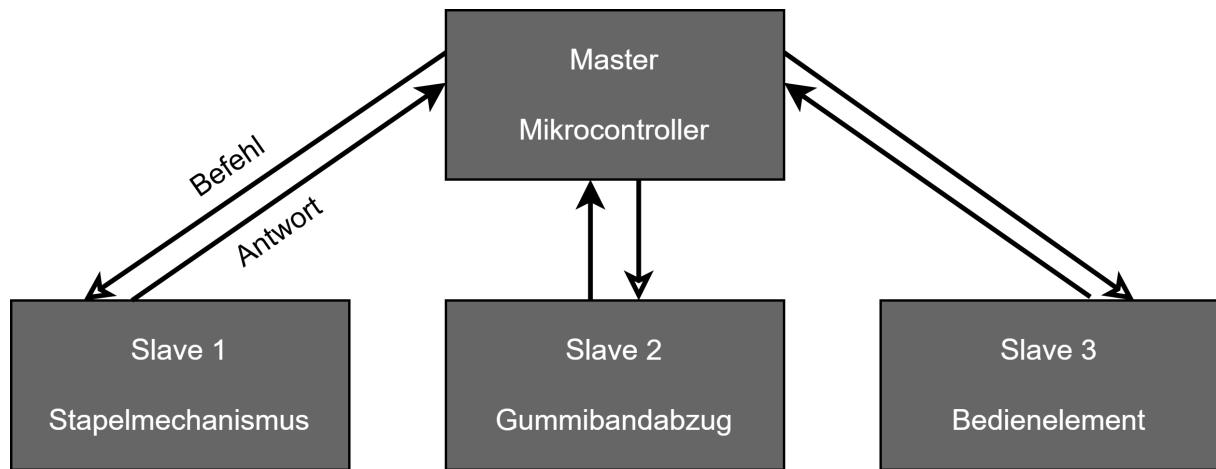


Abbildung 4.8.: Blockdiagramm des geplanten Elektronikkonzepts mit vier dezentralen Mikrocontrollern und Raspberry Pi als Mastereinheit

Die Sicherheitsarchitektur sieht darüber hinaus vor, dass im Not-Halt-Fall die Versorgung der Motortreiber vollständig spannungsfrei geschaltet wird. Hierbei wird die Energiezufuhr durch ein separates Abschaltrelais hardwareseitig unterbrochen. Da die Energieversorgung der Anlage auf < 50 V DC begrenzt ist (Systemanforderung Nr. 6), kann auf eine aufwändige

Schutzkleinspannungs-Überwachung verzichtet werden, ohne sicherheitsrelevante Vorgaben zu verletzen.

Zur Umsetzung des modularen Konzepts sind steckbare Verbindungseinheiten mit klar definierten Schnittstellen vorgesehen. Dies erlaubt nicht nur den Austausch defekter Baugruppen mit geringem Aufwand, sondern unterstützt auch die Erweiterbarkeit der Anlage über zukünftige Funktionseinheiten. Der Raspberry Pi überwacht zusätzlich zyklisch die Kommunikation mit den Modulen und meldet Störungen über die Bedieneinheit.

Zusammengefasst ergeben sich aus den Systemanforderungen dann folgende Anforderungen an die Elektronik:

Systemanforderung		Bausteinanforderung	
Nr.	Anforderung	Nr.	Anforderung
Nr.	Anforderung	Nr.	Spezifikation
1	Entwicklung und Umsetzung innerhalb von 12 Wochen	1.1	Parallele Entwicklung durch modulare Mikrocontrollerstruktur
7	Die Anlage muss CE-Konform sein.	7.5	GPIO-Interrupt mit < 10 ms Reaktionszeit
7	Die Anlage muss CE-Konform sein.	7.6	Motortreiber werden vollständig stromlos geschaltet
		7.7	Motortreiber werden vollständig stromlos geschaltet
6	Energieversorgung < 50 V DC	6.1	Auswahl geeigneter Niederspannungskomponenten.

Tabelle 4.6.: System- und Komponentenanforderungen – Elektronikkonzept

Die Konzeptionierungsphase ist damit erfolgreich abgeschlossen. Sämtliche System- und Komponentenanforderungen wurden definiert. Auf dieser Grundlage kann nun gemäß V-Modell mit der Entwicklung und Ausarbeitung der einzelnen Funktionsbausteine begonnen werden.

5. Risikobewertung

Die Risikobewertung dient der systematischen Identifikation und Bewertung potenzieller Gefährdungen im Zusammenhang mit der Montageeinrichtung. Mittels T-Tabelle und Fehler- Möglichkeiten- und Einflussanalyse (FMEA) werden Risiken frühzeitig erkannt und geeignete Maßnahmen zur Risikominderung definiert. Ergänzend wird eine CE-konforme Risikobeurteilung erstellt, um die sicherheitstechnischen Anforderungen und die rechtliche Konformität des Systems sicherzustellen. [25]

Das Lastenheft, in welchem alle Anforderungen an das Projekt zusammengefasst sind, befindet sich im Anhang C1. Diese Anforderungen sind, wie bereits in Kapitel 3.1 erläutert, ebenfalls mit Hilfe des KANO-Modells kategorisiert worden. Mit Hilfe dieser Angaben, kann nun die Analyse des Risikos des Projekts durchgeführt werden. [10]

5.1. Paarweiser Vergleich

Zur objektivierten Bewertung der Bedeutung einzelner Projektanforderungen wurde die Methode des paarweisen Vergleichs angewandt. Diese Technik basiert auf der systematischen Gegenüberstellung von Anforderungen in Zweiergruppen, um deren relative Wichtigkeit quantifizierbar zu machen. Der paarweise Vergleich ermöglicht eine konsistente Gewichtung, insbesondere bei einer großen Anzahl von Anforderungen, und reduziert die Subjektivität in der Priorisierung durch eine strukturierte Entscheidungsfindung. [18]

Im vorliegenden Projekt wurde die Methode ausschließlich auf diejenigen Anforderungen angewandt, die gemäß dem KANO-Modell als Leistungs- oder Begeisterungsanforderungen klassifiziert wurden. Basisanforderungen hingegen, deren Nichterfüllung zu hoher Unzufriedenheit führt, wurden vom Vergleich explizit ausgeschlossen und direkt mit der Maximalgewichtung von 10 versehen, da ihre Erfüllung als selbstverständlich vorausgesetzt wird. [10]

Insgesamt wurden 26 Leistungs- und Begeisterungsanforderungen paarweise miteinander verglichen (vgl. Anhang C2). Die resultierenden Bewertungen wurden anschließend auf einen normierten Skalenwert mit Maximalwert 10 übertragen. Dieser normierte Wert spiegelt die relative Wichtigkeit der jeweiligen Anforderung im Gesamtkontext wider. Eine höhere Gewichtung impliziert eine größere Bedeutung für die spätere Ausgestaltung des

Produkts. Die zugehörigen Anforderungsnummern können dem Lastenheft entnommen werden.

Neben den Basisanforderungen erhielt eine weitere Anforderung die maximale Gewichtung von 10: Anforderung 9 – „Eingreifen während des Prozesses ist nicht möglich“. Diese herausgehobene Bewertung resultiert aus der sicherheitstechnischen Relevanz der Anforderung. Bewegliche mechanische Komponenten in Kombination mit elektrischen Antrieben stellen die primäre Gefahrenquelle für Personen- und Sachschäden dar. Durch das vollständige Verhindern manueller Eingriffe während des Betriebs wird das Risiko signifikant reduziert, da sich potenziell gefährliche Bewegungen ausschließlich im geschützten Automatikmodus abspielen. Ein Eingriff ist somit nur im sicheren Stillstandszustand möglich – ein zentrales Prinzip technischer Risikominderung nach DIN EN ISO 12100. [22]

5.2. T-Tabelle

Die T-Tabelle ermittelt die Relevanz technischer Funktionen durch die Analyse ihrer Wechselwirkungen mit den gestellten Anforderungen. Grundlage dafür ist die jeweilige Anforderungsgewichtung aus dem paarweisen Vergleich; Basisanforderungen erhalten automatisch den Maximalwert von 10.

In der T-Tabelle wird bewertet, wie stark jede Funktion zur Erfüllung einzelner Anforderungen beiträgt. Die Beiträge werden mit der Gewichtung der jeweiligen Anforderungen multipliziert, sodass in die Analyse nicht nur der Umfang, sondern auch die Wichtigkeit der adressierten Anforderungen eingeht. Funktionen, die stark mit hoch gewichteten Anforderungen verknüpft sind, erhalten dadurch eine höhere Gesamtbewertung als solche, die primär weniger relevante Anforderungen erfüllen. [26]

Das Ergebnis ist ein normierter Funktionswert auf einer Skala von 0 bis 10, der angibt, wie kritisch eine Funktion für das System insgesamt ist. Funktionen mit hohem Wert erfordern besondere Aufmerksamkeit hinsichtlich Ausfallsicherheit, Robustheit und Designqualität.

Die Auswertung der T-Tabelle unter Einbeziehung aller 34 Anforderungen zeigt, dass die Sicherheitsfunktion den höchsten Stellenwert im System einnimmt. Ebenfalls von zentraler Bedeutung sind die Funktionen zur Beförderung der Einzelteilkomponenten. (vgl. Anhang C3)

5.3. Design-FMEA

Im Rahmen der Design-FMEA wurden potenzielle Fehler systematisch in Form von Fehler–Folge–Ursache–Ketten erfasst und den zuvor definierten Funktionen der T-Tabelle zugeordnet. Jede Kette wurde hinsichtlich Schwere (S), Auftretenswahrscheinlichkeit (A) und Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) bewertet. Aus diesen drei Faktoren wurde die Risiko-Prioritätszahl ($RPZ = S \times A \times E$) berechnet.

Auf Basis vordefinierter Schwellenwerte erfolgt eine Klassifikation in Task Priorities (TP): Low, Medium oder High. Nur bei TP = High werden konkrete Maßnahmen zur Risikominderung definiert. Nach Umsetzung dieser Maßnahmen wird die gleiche Fehlerkette erneut bewertet, wobei insbesondere die Reduktion der RPZ und eine Herabstufung der TP erwartet werden, da in der weiteren Bewertung die Maßnahme berücksichtigt wird. Die Wirksamkeit der Maßnahme zeigt sich in einer nachweislich geringeren Risikobewertung. [25]

Im Rahmen der durchgeführten Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) wurden mehrere Maßnahmen definiert – nicht nur zur Reduktion schwerwiegender Risiken (TP = High), sondern auch zur gezielten Minimierung von Fehler–Folge–Ursache–Ketten, die der Kategorie Medium zugeordnet wurden. Ziel war eine umfassende Risikoabsicherung über das Mindestmaß hinaus. (siehe Anhang C4)

Mit Hilfe dieser Bewertungen und daraus resultierenden RPZ, kann ein Pareto-Diagramm entworfen werden. Das Pareto-Diagramm ist ein etabliertes Analysewerkzeug zur Visualisierung und Priorisierung von Einflussgrößen nach dem 80/20-Prinzip. Es stellt die Risikobeiträge (z. B. RPZ-Werte in der FMEA) in absteigender Reihenfolge dar und ergänzt diese um eine kumulierte Prozentkurve. Dadurch wird sichtbar, welche wenigen Ursachen für den Großteil des Gesamtrisikos verantwortlich sind. Ziel ist es, Ressourcen effizient dort einzusetzen, wo das größte Risikopotenzial besteht. In der FMEA-Praxis dient das Pareto-Diagramm insbesondere dazu, systemrelevante Fehler–Folge–Ursache–Ketten zu identifizieren und gezielte Maßnahmen an den richtigen Stellen einzuleiten.

Die Darstellung basiert auf den RPZ-Werten der durchgeführten Design-FMEA und ordnet die Fehlerarten den betroffenen Funktionen zu. Es zeigt sich, dass bereits die ersten fünf Fehlerketten rund 80 % des Gesamtrisikos abdecken. Zwei Fehlerarten (Positionen 8 und 7) weisen mit einem RPZ von 210 die höchsten Einzelrisiken auf. Sie stellen damit eine signifikante Gefährdung dar und müssen prioritär behandelt werden.

Die grün dargestellten RPZ-Werte nach Maßnahmen („RPZ New“) verdeutlichen, dass bei mehreren dieser kritischen Fehlerketten bereits wirksame Maßnahmen zur Risikominderung getroffen wurden, was sich in einer deutlichen Reduktion der RPZ zeigt (z. B. Position 5

und 48). Dies unterstreicht die Effektivität des FMEA-Prozesses und die gezielte Auswahl der Maßnahmen. (siehe Anhang C5)

Daraus lässt sich ableiten, dass durch die Fokussierung auf wenige, hochpriorisierte Risiken eine substantielle Verbesserung der Systemsicherheit und Fehlerrobustheit erreicht werden konnte.

5.4. CE-Konformität

Die CE-Konformitätserklärung stellt den abschließenden Nachweis dar, dass eine Maschine den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG entspricht. Zentrale Voraussetzung hierfür ist die systematische Durchführung einer Risikobeurteilung gemäß DIN EN ISO 12100:2011. [22] [27]

Im Rahmen dieser Risikobeurteilung wurde die Maschine in einzelne Lebensphasen und zugehörige Aufgaben unterteilt. Für jede Kombination wurden potenzielle Gefährdungen identifiziert, typisiert (z. B. mechanisch, elektrisch, thermisch), sowie das jeweilige Gefährdungsergebnis beschrieben. Anschließend erfolgte eine Risikobewertung anhand der Parameter:

- Häufigkeit (F) der Exposition,
- Wahrscheinlichkeit (W) des Eintretens,
- Möglichkeit der Vermeidung (P) sowie
- Schwere (S) der möglichen Verletzungsfolge.

Daraus wurde ein Risikolevel abgeleitet. Überschreitet das Ergebnis einen definierten Grenzwert, sind technische, organisatorische oder konstruktive Maßnahmen zur Risikominde rung zwingend umzusetzen. Im Anschluss erfolgt eine zweite Bewertung, um den Erfolg dieser Maßnahmen zu validieren.

Erst wenn für alle Gefährdungsszenarien ein vertretbares Restrisiko nachgewiesen ist, kann die Maschine als sicher gelten und die CE-Konformitätserklärung unterzeichnet werden. (vgl. Anhang C)

6. Komponentenentwicklung

Die Komponentenentwicklung umfasst die detaillierte Auslegung der einzelnen Baugruppen der Montageeinrichtung. Neben der mechanischen Konstruktion werden auch die elektronische Ansteuerung sowie die softwareseitige Implementierung betrachtet. Ziel ist es, alle Teilsysteme funktional und strukturell so zu gestalten, dass sie nahtlos in das Gesamtsystem integriert werden können und die definierten Komponentenanforderungen erfüllen. Explosionszeichnung zu den Komponenten befinden sich in Anhang D.

6.1. Gummibandmontage

Die Komponente Gummibandmontage kann grundsätzlich in zwei Hauptbaubaugruppen unterschieden werden, einmal den Roboterarm welcher und einmal das Magazin auf welchem die Gummibänder vorgespannt werden. Im Nachfolgenden wird erklärt, wie dies umgesetzt wurde, um alle Komponentenanforderungen zu erfüllen.

6.1.1. Konstruktion

Bei der Konstruktion des Roboterarms zur Gummibandmontage standen mehrere Entwurfsbestimmende Anforderungen im Vordergrund. Zunächst musste die Anzahl der Freiheitsgrade festgelegt werden, um die Montagefunktion vollautomatisch und ohne manuelle Eingriffe durchführen zu können (Tabelle 4.4, Nr. 4.2). Für das gezielte Abschieben der Gummibänder aus unterschiedlichen Winkeln ist eine kinematische Struktur mit mindestens vier Achsen erforderlich. Wenn jedoch wie geplant mehrere Funktionen mit dem Roboterarm umgesetzt sollen, wie beispielsweise das Ausgeben des Werbegeschenkes, dann ist zwingend das Schwenken des Greifers notwendig. Aus diesem Grund wurde sich für eine Kinematik mit fünf Achsen entschieden, um die Flexibilität zu haben, auch andere Funktionen zu übernehmen.

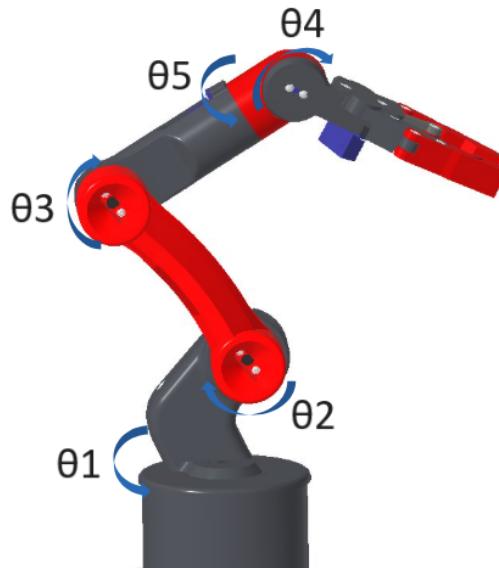


Abbildung 6.1.: Alle Gelenke des Roboterarms.

Eine besondere Herausforderung stellt die Kombination aus begrenztem Bauraum und erforderlicher Präzision dar. Die zulässigen Maximalabmessungen der Gummibandmontage von $500 \times 150 \times 300\text{mm}$ (Tabelle 4.4, Anforderung 5.2) führen in der Auslegung der Kinematik zu einem konstruktiven Zielkonflikt: Aufgrund der vergleichsweise großen Abmessungen leistungsstarker Servomotoren ist der verfügbare Bauraum für weitere mechanische Übersetzungen stark eingeschränkt. Eine zusätzliche Reduktion zur Verbesserung der Positioniergenauigkeit kann daher nicht integriert werden, ohne die geforderte Baugröße zu überschreiten.

Gleichzeitig war die Kraftübertragung in den Gelenken ein kritischer Punkt für die zuverlässige Funktion des Arms. Erste Versuche mit Kunststoffzahnräden zeigten im Testaufbau ein deutliches Versagen unter Last. Die auftretenden Torsionskräfte führten zu Spiel im System und beeinträchtigten die Wiederholgenauigkeit erheblich. Um diesem Problem zu begegnen und dennoch im vorgegebenen Bauraum zu bleiben, wurde entschieden, gezielt Metallzahnkränze (Abbildung 6.5 einzusetzen. So konnten die Gelenke stabilisiert und die Positioniergenauigkeit des Systems signifikant verbessert werden – von ursprünglich $+/- 3\text{mm}$ auf etwa $+/- 1\text{mm}$ (vgl. Tabelle 4.4, Anforderung 4.2).



Abbildung 6.2.: Metall Einsätze für den Servoantrieb

Ein weiteres konstruktives Problem stellt die Kabelführung dar. Durch die mehrfachen Rotationen und kompakten Gelenksegmente ist ein sauberer Kabelverlauf nur über gezielte Hohlräume innerhalb der Gelenke realisierbar. Diese wurden in die Konstruktion integriert, um Kabelbrüche zu vermeiden und eine optisch ansprechende Anlage zu gewährleisten.

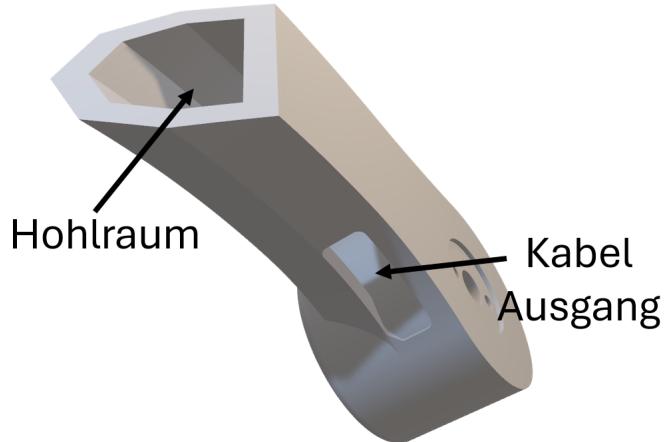


Abbildung 6.3.: Hohlraum Kabelmanagement des Roboterarms.

Die Form des Gummibandmagazins ist aus funktionaler Sicht von zentraler Bedeutung. Zwar stellt die Vorgabe, dass mindestens zehn Gummibänder ohne Zwischeneingriff montiert werden müssen (Tabelle 4.4, Anforderung 4.2), einen maßgeblichen Rahmen für die Dimensionierung dar. Ausschlaggebend für die Geometrie ist jedoch die Überlegung, wie sich das Gummiband mit minimalem mechanischem Aufwand und möglichst wenigen Bewegungssachsen montieren lässt.

Ein rundes Magazin (Bild 6.4) ermöglicht die radiale Anordnung der Gummibänder, sodass der Roboterarm das Band mit nur einer einzigen Rotationsachse abschieben kann. Diese Reduktion auf eine aktiv angesteuerte Achse minimiert die Komplexität und erhöht die Wiederholgenauigkeit. Bei einem linearen Magazin wäre hingegen eine zusätzliche translatorische Bewegung erforderlich, um zwischen den einzelnen Bandpositionen zu wechseln. Dies würde bedeuten, dass mehrere Achsen angesteuert werden müssten, was die Mechanik sowie die Regelung aufwendiger macht.

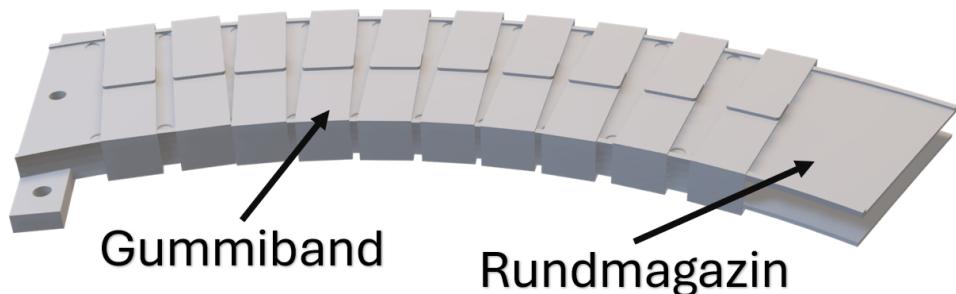


Abbildung 6.4.: Rundmagazin mit den vormontierten Gummibändern.

Durch das gewählte runde Design erfolgt die Entnahme der Gummibänder entlang einer konstanten Bahn mit einer einfachen Schiebebewegung, was sowohl die mechanische Komplexität reduziert als auch die Einhaltung der geforderten Zykluszeit von unter zehn Sekunden pro Vorgang ermöglicht (Tabelle 4.4, Anforderung 8.4).

Insgesamt ist die Konstruktion so ausgelegt, dass sie alle festgelegten Komponentenanforderung erfüllt.

6.1.2. Kinematikberechnung

Die inverse Kinematik beschreibt das mathematische Verfahren zur Bestimmung der Gelenkwinkel, die notwendig sind, damit ein Roboter eine bestimmte Position und Orientierung im Raum einnimmt. Während bei der Vorwärtskinematik aus bekannten Gelenkwinkeln die Position und Orientierung des Endeffektors berechnet werden, verfolgt die inverse Kinematik den umgekehrten Ansatz: Aus einer vorgegebenen Zielposition $\vec{p} = (x, y, z)$ sowie einer gewünschten Endeffektororientierung ϕ wird ermittelt, welche Gelenkwinkel θ_1 , θ_2 , θ_3 und θ_4 erforderlich sind, um diese Position bzw. Pose zu erreichen. [28]

Dieses Verfahren ist insbesondere in Anwendungen von Bedeutung, bei denen der Roboter Positionen im Raum anfahren muss. Für den in dieser Arbeit betrachteten Roboterarm mit fünf Freiheitsgraden und ausschließlich rotatorischen Gelenken wird ein geometrisch-trigonometrischer Lösungsansatz verwendet. Dieser bietet den Vorteil einer direkten und exakten Berechnung der Gelenkwinkel ohne iterative Näherungsverfahren.

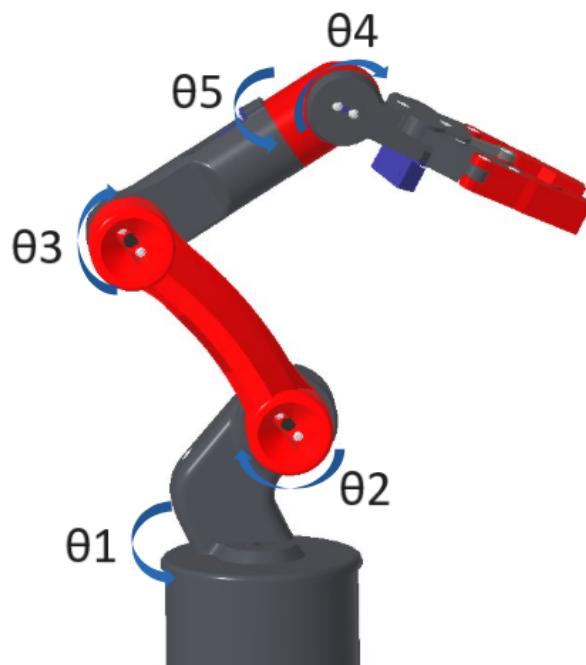


Abbildung 6.5.: Alle Gelenke des Roboterarms.

Im ersten Schritt wird die horizontale Ausrichtung des Roboters berechnet. Diese ergibt sich aus der Projektion der Zielposition auf die xy -Ebene. Der Winkel θ_1 beschreibt die Drehung des Arms um die vertikale Achse, sodass der Arm in Richtung des Zielpunkts zeigt:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (6.1)$$

Anschließend wird die Position in die xz -Ebene (Seitenansicht) projiziert, um die verbleibenden Winkel bestimmen zu können. Dazu werden zunächst die horizontale Entfernung r und die relative Höhe z' zwischen Basis und Zielpunkt berechnet:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (6.2)$$

$$z' = z - l_1 \quad (6.3)$$

Diese beiden Größen spannen ein rechtwinkliges Dreieck zwischen dem Schultergelenk (nach l_1) und dem Zielpunkt auf. Die direkte Entfernung c zwischen diesen beiden Punkten ergibt sich über den Satz des Pythagoras:

$$c = \sqrt{r^2 + z'^2} \quad (6.4)$$

Nun lässt sich der Winkel θ_3 bestimmen. Dieser beschreibt den Winkel im Ellbogengelenk und ergibt sich aus dem Kosinussatz, da alle drei Seitenlängen des entstandenen Dreiecks bekannt sind:

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{c^2 - l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot l_2 \cdot l_3} \right) \quad (6.5)$$

Um den Winkel θ_2 zu bestimmen, wird zunächst der Winkel α berechnet, der die Richtung vom Schultergelenk zum Zielpunkt beschreibt. Anschließend wird β ermittelt, der den inneren Winkel des Gelenkdreiecks zwischen l_2 und l_3 darstellt:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{z'}{r} \right) \quad (6.6)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{l_3 \cdot \sin(\theta_3)}{l_2 + l_3 \cdot \cos(\theta_3)} \right) \quad (6.7)$$

Der Winkel θ_2 ist die Differenz dieser beiden Hilfswinkel:

$$\theta_2 = \alpha - \beta \quad (6.8)$$

Der letzte Gelenkwinkel θ_4 kompensiert die zuvor aufgebauten Winkel, um die gewünschte Endeffektor-Orientierung ϕ zu erreichen. Er ergibt sich daher durch:

$$\theta_4 = \phi - \theta_2 - \theta_3 \quad (6.9)$$

Zur Überprüfung der Lösung kann aus den berechneten Gelenkwinkeln die Endeffektorposition erneut berechnet werden. Diese sogenannte Vorwärtseinematik sollte das ursprüngliche Ziel (x, y, z) reproduzieren:

$$x = \cos(\theta_1) \cdot [l_2 \cdot \cos(\theta_2) + l_3 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)] \quad (6.10)$$

$$y = \sin(\theta_1) \cdot [l_2 \cdot \cos(\theta_2) + l_3 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)] \quad (6.11)$$

$$z = l_1 + l_2 \cdot \sin(\theta_2) + l_3 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \quad (6.12)$$

Durch diese schrittweise Herangehensweise lässt sich die inverse Kinematik für einen 4-Achs-Roboterarm verständlich und präzise berechnen. Die analytische Lösung bietet eine zuverlässige Methode zur Positionssteuerung ohne den Einsatz numerischer Optimierung oder iterativer Verfahren.

6.1.3. Elektronik und Programmierung

Ein zentrales Konstruktionsmerkmal bei mehrachsigen Robotersystemen ist die Fehlerfortpflanzung entlang der kinematischen Kette. Da der Roboterarm aus einer seriellen Anordnung mehrerer Gelenke besteht, wirkt sich jede Abweichung eines Servos unmittelbar auf alle nachfolgenden Glieder aus. Schon ein geringer Positionsfehler im ersten Gelenk führt zu einem größeren Absolutfehler an der Werkzeugspitze. Dieser Effekt wächst mit jeder zusätzlichen Achse, da sich die Positionsgenauigkeit summiert und überlagert. Um diesen Fehlerketten entgegenzuwirken, ist eine Auslegung des Antriebsmoments nötig.

Zur Bestimmung des benötigten Drehmoments wurde die klassische Hebelgesetz-Formel verwendet:

$$M = F \cdot r \quad (6.13)$$

wobei:

- M das benötigte Moment in Newtonmeter [Nm] ist,
- F die wirkende Kraft in Newton [N] und
- r der Abstand vom Rotationszentrum (Armlänge) in Metern [m].

Das maximale Gewicht, das vom unteren Gelenk getragen werden muss, setzt sich zusammen aus dem Eigengewicht des Servos (80 g), dem Gewicht der 3D-Druck-Komponenten (450 g) und dem Produktgewicht des Daily Mate (50 g). Die Gesamtmasse beträgt:

$$m_{\text{gesamt}} = 0,080 + 0,450 + 0,050 = 0,580 \text{ kg} \quad (6.14)$$

$$F = m_{\text{gesamt}} \cdot g = 0,580 \cdot 9,81 = 5,69 \text{ N} \quad (6.15)$$

Mit einem Hebelarm von $r = 0,25 \text{ m}$ ergibt sich:

$$M = 5,69 \cdot 0,25 = 1,42 \text{ Nm} \quad (6.16)$$

Zur Berücksichtigung von Reibung, Fertigungstoleranzen und dynamischen Lastspitzen wird ein Sicherheitszuschlag von 0,5 Nm aufgeschlagen:

$$M_{\text{gesamt}} = 1,42 + 0,50 \approx 2,00 \text{ Nm} \quad (6.17)$$

Das resultierende Sollmoment beträgt somit 1,92 Nm. Verwendet wurde ein Hochleistungsservo mit einem maximalen Drehmoment von 45 kgcm (entspricht 4,41 Nm), der damit die berechneten Anforderungen zuverlässig erfüllt und ausreichende Leistungsreserven für Reibungsverluste und Toleranzen bereitstellt.

6.2. Stapelmechanismus

Für den Stapelmechanismus wird das zweite Konzept aus Kapitel 4.2 angewendet. Die folgenden Kapitel beziehen sich auf sich auf die Realisierung und den Aufbau des Stapelmechanismus.

6.2.1. Konstruktion

Die Konstruktion des Stapelmechanismus besteht im wesentlichen aus zwei einzelnen Baugruppen:

- Drehplatten-Baugruppe
- Schieber-Baugruppe

Die **Drehplatten-Baugruppe** setzt sich aus folgenden mechanischen Komponenten zusammen:

- Lagerung

- Drehscheibe
- Lagergehäuse
- Lagergehäusehalterung

Lagerung:

Die Drehplatte muss gelagert werden, sodass diese eine festgelegte Drehachse besitzt, welche angetrieben werden kann. Aufgrund der Auslegung des Montagekonzepts ist das Einwirken von großen Kräften in axialer und radialer Richtung auf die Drehplatte möglich. Dies ist der Fall, wenn z.B. der Roboter die vorgespannten Gummibänder vom Magazin abschiebt und dabei auf die Drehplatte drückt oder wenn die Linearführung ein Teil in die Nut einschiebt. Die mögliche einwirkende Kraftrichtungen sind in Abbildung 6.6 durch gelbe Pfeile dargestellt. Die einwirkende Kraft wird rot abgebildet, wobei die Richtung und Position beliebig wählbar ist, da der Roboter die Drehplatte an verschiedenen Punkten belasten kann. Das Moment M der Drehachse wirkt durch den Antrieb auf die Lagerung. [29]

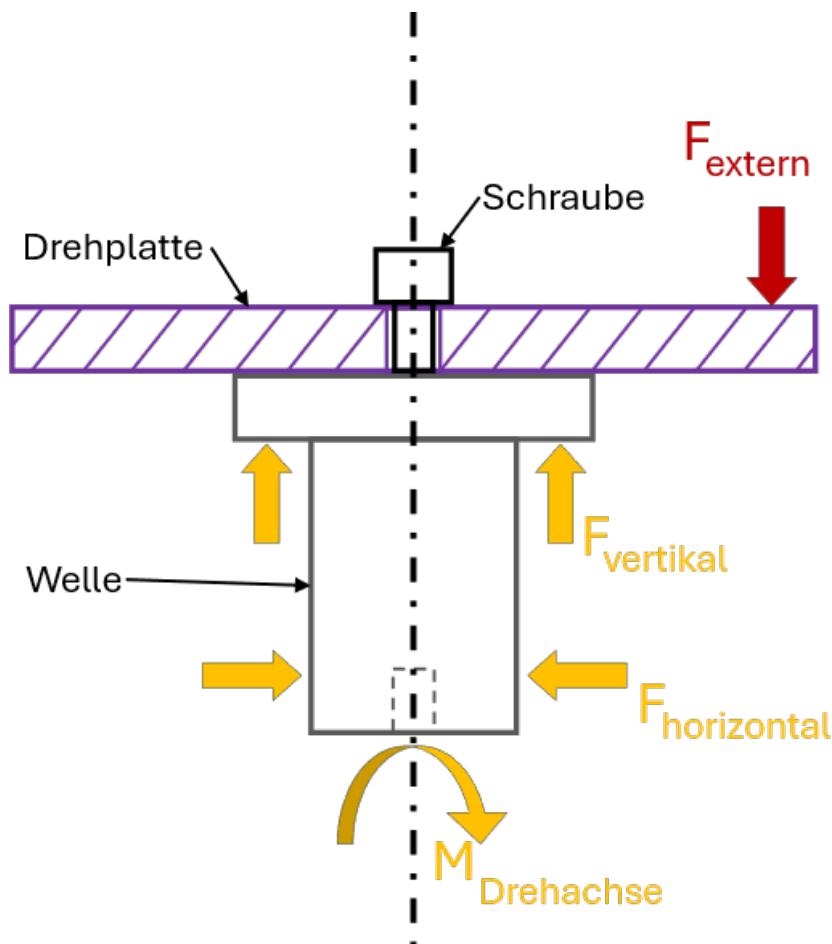


Abbildung 6.6.: Auftretende Lagerkräfte durch externe Kraft auf die Drehplatte

Damit der Montageprozess zuverlässig funktioniert ist eine strenge Toleranzeinhaltung notwendig. Dies stellt sicher, dass die Nut in der Drehplatte korrekt zu den Magazinen ausgerichtet ist, um ein Verklemmen beim Einschieben zu verhindern. Dafür ist eine steife Konstruktion der Drehplatte erforderlich. Hierfür werden verschiedene Lagerkonzepte betrachtet, welche in Abb. 6.7 bis Abb. 6.9 systematisch dargestellt sind. Im morphologischen Kasten aus Tab. 6.10 werden diese miteinander verglichen, um eine geeignete Lagerung zu bestimmen. [26]

Konzept 1:

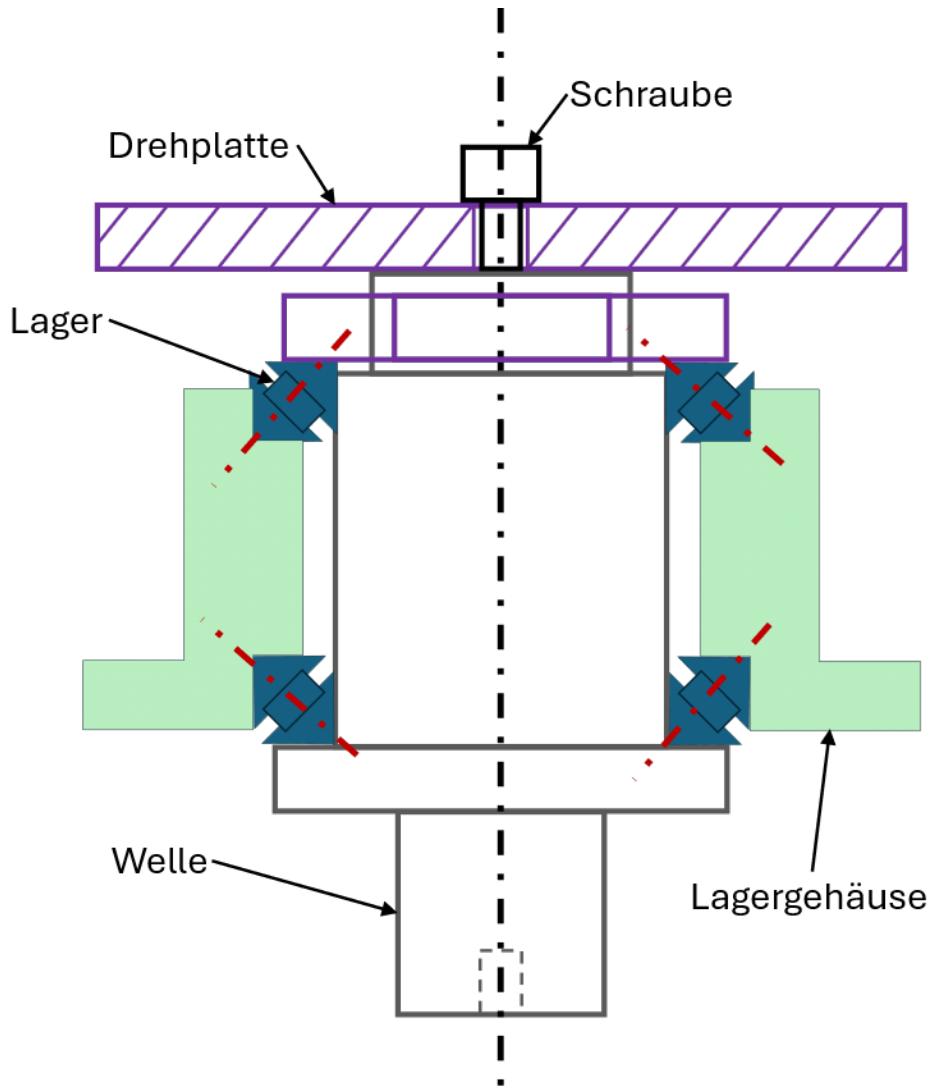


Abbildung 6.7.: O-Anordnung mit Kegelrollenlager

Dieses Konzept besteht aus einer Kombination von zwei Kegelrollenlagern, welche in einer O-Anordnung verbaut werden. Diese Montageart findet häufige Verwendung in Lenkköpfen von Zweiräder. Grund hierfür ist, dass eine hohe Kraftaufnahme von Kräften aus verschiedenen Richtungen möglich ist. Zusätzlich ist es möglich das Lagerspiel über

die Vorspannkraft einzustellen, wodurch ein geringes Kippspiel und eine hohe Laufruhe erzielt werden. Die Verwendung einer O-Anordnung bietet gegenüber der Verwendung einer X-Anordnung den Vorteil, dass bei geringen Lagerabständen ein kleineres Kippspiel erreicht wird.

Konzept 2:

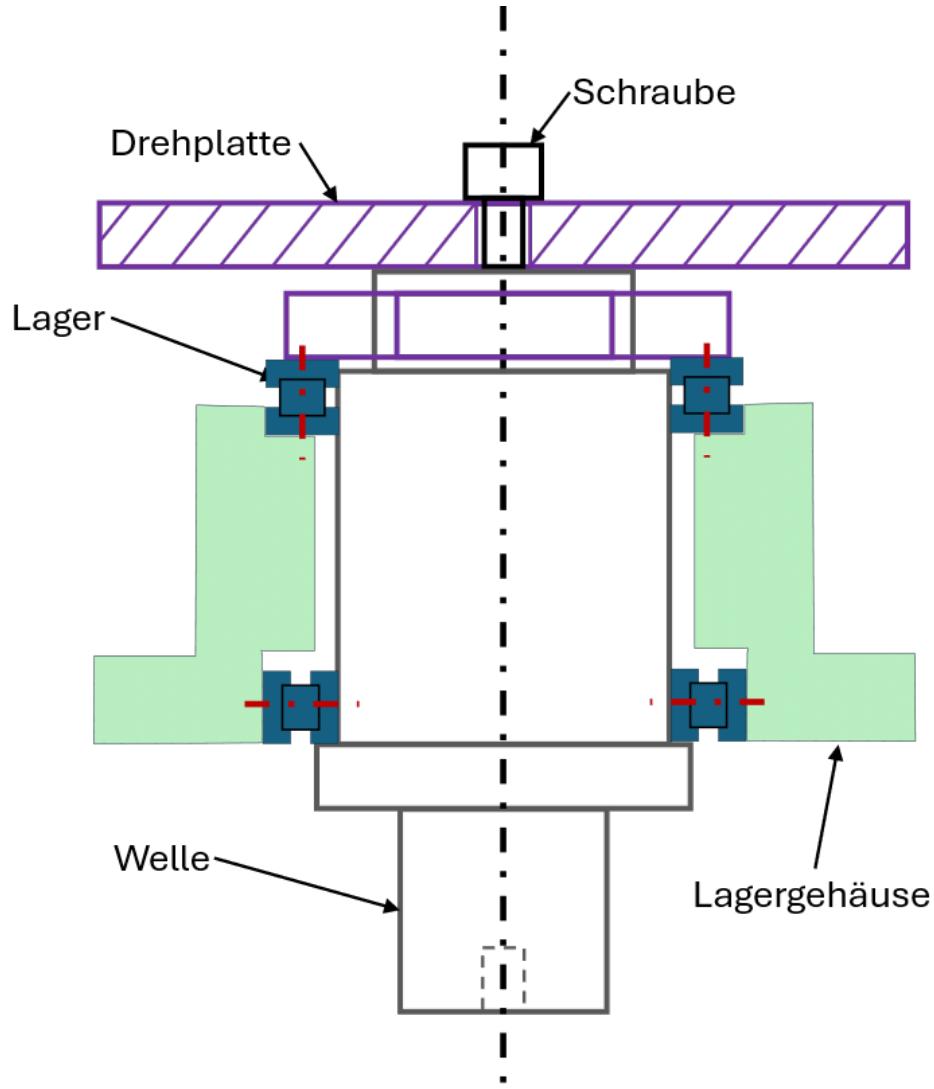


Abbildung 6.8.: Radial- und Axiallager

Dieses Konzept besteht aus einer Kombination eines Radiallagers mit einem Axiallager. Das Axiallager wird dabei an der oberen Position eingebaut, damit die Gewichtskräfte der Welle und der Drehplatte aufgenommen werden. Eine Kraft, welche in die entgegengesetzte Richtung zeigt, wird in diesem Lagerkonzept nicht aufgenommen. Tritt eine solche Kraft auf wird das Lager im Motor belastet, welches jedoch nicht zur externen Kraftaufnahme dient. Dies sorgt zusätzlich dazu, dass die Gewichtskraft das Lagerspiel in axialer Richtung

bestimmt. Das Kippspiel wird maßgeblich durch das Radiallager bestimmt, welches daher eine präzise Fertigung bedingt.

Konzept 3:

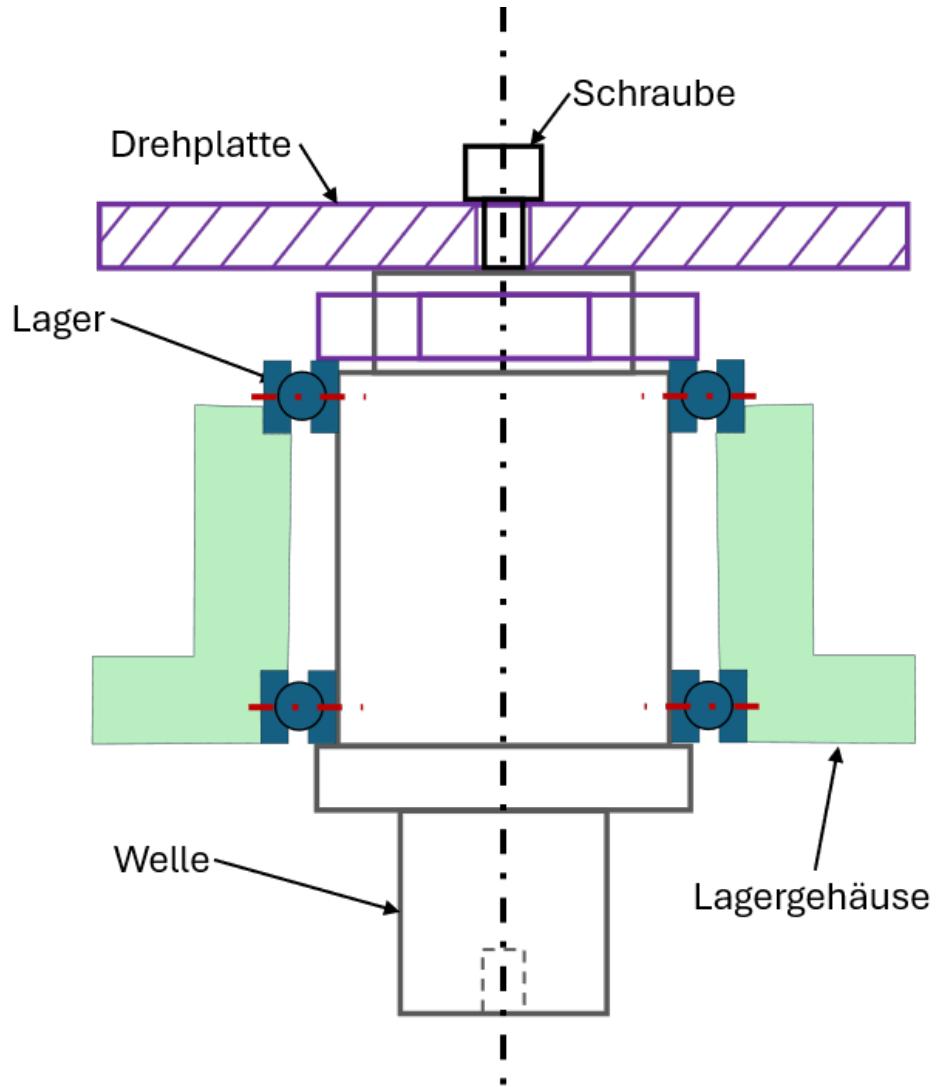


Abbildung 6.9.: Kugellagenlager

Dieses Konzept besteht aus einer Kombination zweier Kugellagenlager. Hier ist das Lagerspiel ebenfalls wie bei Konzept 1 einstellbar, die Lager werden jedoch bei zu großen Vorspannungen beschädigt und verlieren ihre Laufruhe. Das gleiche gilt wenn zu große Axialkräfte auftreten.

In Tabelle 6.10 werden die drei Lagerkonzepte verschiedener Teilstrukturen gegenübergestellt. Die Teilstrukturen lassen sich thematisch in zwei Gruppen einteilen: 1. Funktionale Teilstrukturen wie z.B. Kippspiel, Lagerspiel und Kraftaufnahme. Diese Teilstrukturen beziehen sich auf den späteren Montageprozess und bestimmen vor allem die Steifigkeit

Teilfunktion	Lösungsmöglichkeiten		
	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3
Kippspiel	✓	✗	—
Einstellbares Lagerspiel	✓	✗	—
Kraftaufnahme aller Auftretenden Kräfte	✓	✗	—
Preis	✗	—	✓
Masse	✗	✓	—
geringste Abmaße	✗	—	✓

Legende: ✓ - am besten — - mittelmäßig ✗ - am schlechtesten

Abbildung 6.10.: Morphologischer Kasten Lagerkonzepte

der Drehplatte. Die zweite Gruppe lautet 2. Projektspezifische Teilfunktionen wie Preis, Masse und Abmaße. Diese Teilfunktionen beziehen sich auf die Rahmenbedingungen, welche vom Kunden vorgegeben sind und berücksichtigt werden müssen. Nach Auswertung der Tabelle 1.1 stellt sich Konzept Nr. 1 als die am besten geeignete Lösung heraus. In den Funktionalen Teilfunktionen liefert die Verwendung von Kegelrollenlagern die beste Lagerspielkontrolle. In den Projektspezifischen Teilfunktionen schneidet Konzept Nr. 1 zwar am schlechtesten ab, jedoch sind die Nachteile gegenüber des Konzepts Nr. 3, welches hier am besten abschneidet, nur marginal. Somit wird die Lagerung aus Konzept Nr. 1 ausgewählt, welche Funktional am besten geeignet ist. [26]

Zur Dimensionierung der restlichen mechanischen Bauteile sind diese im CAD designt. Maßgebend sind hier die Rahmenbedingungen, welche bereits in den vorherigen Kapiteln genannt sind.

Drehscheibe

Die Drehscheibe benötigt eine Aussparung, in welche beide Seiten des DailM8 eingeführt werden. Daher leitet sich ab, dass die Drehscheibe breiter sein muss als beide aufeinander gelegte Seiten. Nur so kann eine Nut ausgelegt werden, welche hoch genug ist und für beide Teile auch als Einschubführung dient. Die Nut erhält zusätzlich Schrägen und eine abgerundete Kante, sodass sich beim Einschieben keine Teile an den Kanten verklemmen und korrekt in die Nut eingeführt werden. Diese Einführschrägen sind in Abbildung 6.11 dargestellt. Im Zentrum der Drehplatte befindet sich eine angefaste Durchgangsbohrung, um mit einer Senkschraube die Drehplatte auf der Welle zu fixieren. Zusätzlich befinden

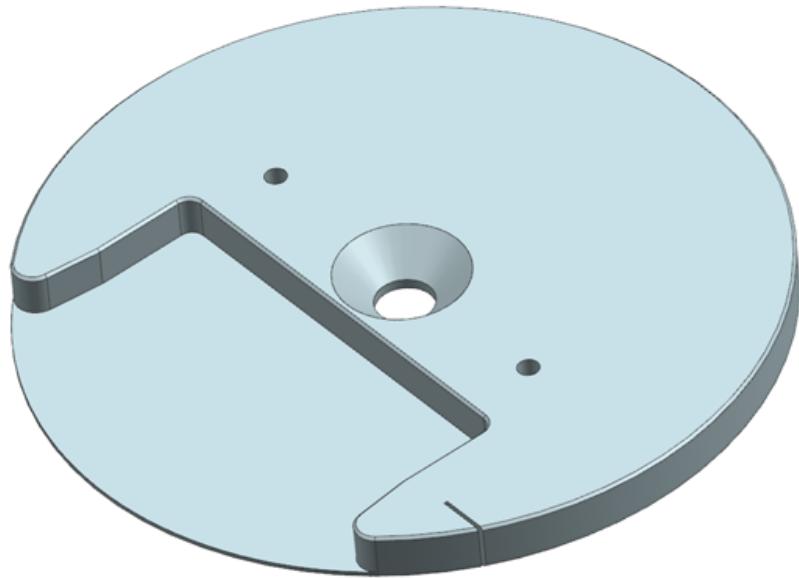


Abbildung 6.11.: Drehscheibe

sich weiter Bohrungen auf der Drehplatte, welche zur Montage des Hubmagnets dienen. Zusätzlich besitzt die Drehplatte einen Schlitz, welcher für eine Lichtschranke zur Positionsüberwachung dient. Die genaue Position des Schlitzes hängt von der Position der Lichtschranke im Gehäuse ab. Die Drehplatte ist so konstruiert, dass diese entweder mittels CNC-Fräßen oder als 3D-Druck Teil gefertigt wird. Der Spalt wird bei beiden Varianten nachträglich gesägt.

Drehwelle

Die Welle dient dazu, die Rotation des Motors auf die Drehplatte zu übertragen und dazu, dass die Drehplatte eine fixe Position im Gehäuse einnimmt. Die Welle, ist so konstruiert, dass diese durch eine Drehmaschine mit angetriebenen Werkzeugen hergestellt wird.

Lagergehäuse

In das Lagergehäuse werden die Lager eingesetzt. Das Lagergehäuse ist so konstruiert, dass diese durch eine Drehmaschine mit angetriebenen Werkzeugen hergestellt wird. Dieses wird dann an die Lagergehäusehalterung montiert.

Lagergehäusehalterung

Die Lagergehäusehalterung dient als zentraler Anker der Drehplatte. Die Halterung wird auf die Bodenplatte montiert. Alle weiteren Komponenten wie z.B. Motor oder Lagergehäuse werden an die Halterung montiert. Somit benötigt es für die Halterung eine steife Konstruktion, welche zusätzlich eine Montage des Motors erlaubt. Dafür wird die

6. Komponentenentwicklung

Halterung so konstruiert, dass sie mittels 3D-Druck ohne notwendige Stützstrukturen gefertigt werden kann.

In Abbildung 6.12 ist die zusammengesetzte Baugruppe der Drehplatte dargestellt, abzüglich des Hubmagneten und der zur Montage erforderlichen Befestigungsschrauben. Die Lichtschranke wird ebenfalls nicht dargestellt, denn diese wird an der Zwischenplatte im Gehäuse montiert.

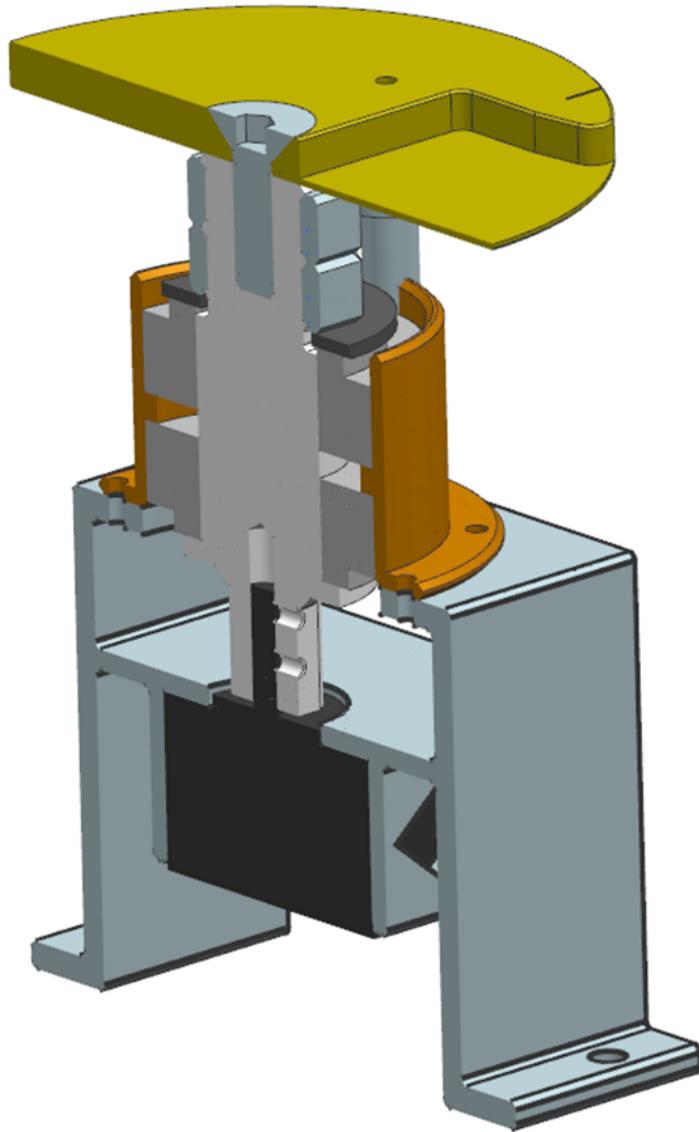


Abbildung 6.12.: Drehplattenbaugruppe (Darstellung ohne Hubmagnet und Befestigungsschrauben)

Die Konstruktion der **Schieber-Baugruppe** setzt sich aus folgenden mechanischen Komponenten zusammen:

- Magazine
- Schieber
- Schieberkörper
- Zahnstangenantrieb

Magazine:

Für die Lagerung der Magsafe- und Tool-Platten sind zwei Stapelmagazine erforderlich. Das Design der Magazine (Abb.6.13) ist primär auf die Funktion des Ausschiebens angepasst. Dazu zählen Ein- und Ausgangsnuten an Vorder- und Rückseite, durch welche die Platten ausgeschoben werden. Aus den Anforderungen geht hervor, dass je Durchlauf zehn Produkte montiert werden sollen, wodurch die Höhe der Magazine definiert wird. Um ein Verkanten des Schiebers zu verhindern, sind sowohl Laufführungen an Vorder-, Rück-, und Unterseite als auch Nuten in den Innenwänden notwendig. Eine weitere Auffälligkeit sind die Aussparungen an den Seitenwänden, die zum Befüllen und Entleeren des Magazins dienen. Die Magazine werden an den dafür vorgesehenen Bohrungen auf der Zwischenplatte verschraubt.

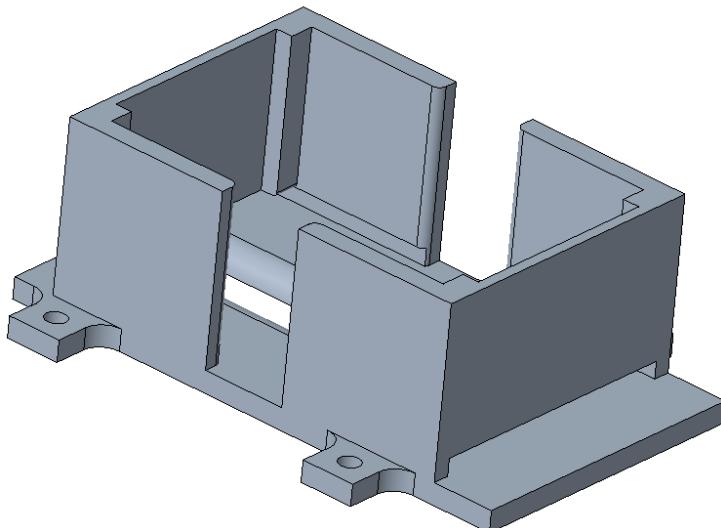


Abbildung 6.13.: Design des Stapelmagazins für die Magsafe-Platten

Schieber:

Das Ausschieben selbst geschieht durch je zwei passgenaue Schieber mit Führungsradien, die jeweils die unterste Platte im Magazin durch eine Nut auf der Stirnseite des Magazins hinausschieben. Die Form eines Schiebers ist dabei so gestaltet, dass ein direktes Nachrutschen der folgenden Platte verhindert wird. Sobald sich ein Schieber wieder in seiner Ausgangsposition befindet, kann die nächste Platte nachrutschen. Tool- und Magsafe-Schieber unterscheiden sich maßgeblich in ihrer Höhe. Dies ist den unterschiedlichen Höhen der Tool- und Magsafe-Platten geschuldet. Weiterhin sind im Verbindungssteg eines jeden

Schiebers zwei Bohrungen vorgesehen. Einerseits zur Verbindung des Schiebers mit dem Antrieb, andererseits, um Gleitführungen am Schieber selbst zu montieren.

Schieberkörper:

Die Kopplung beider Schieber übernimmt ein Verbindungselement, genannt Schieberkörper. Der Schieberkörper verbindet beide Schieber starr und spielfrei miteinander. Dadurch und aufgrund des symmetrischen Aufbaus der Magazine zur Drehplatte wird nur ein Antrieb am Schieberkörper benötigt, um beide Schieber sowohl ein- als auch ausschieben zu können. Der Schieberkörper muss ein spezifisches Design aufweisen, da er aufgrund der Lagerung der Drehplatte nicht direkt unter den Magazinen verfahren kann.

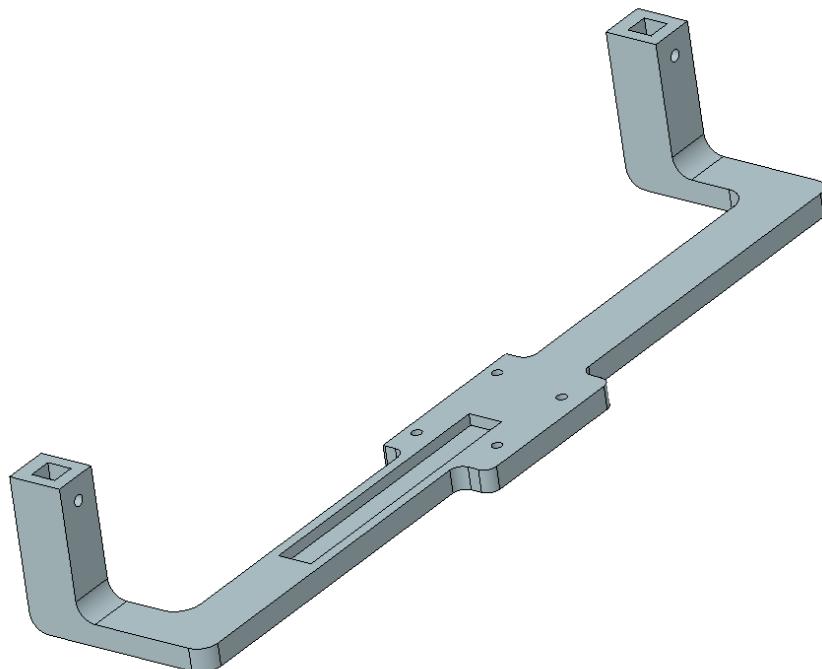


Abbildung 6.14.: Design des Schieberkörpers

Die Verbindung zwischen Schiebern und Schieberkörper wird mittels Schraubverbindungen realisiert. Schieber und Schieberkörper sind für den 3D-Druck im Fused Deposition Modeling (FDM)-Verfahren konzipiert. Um nun eine präzise translatorische Bewegung in Schieberrichtung zu gewährleisten, sitzt der Schieberkörper fest auf einem Gleitschlitten, der auf einer Linearführung mit W-Profil gelagert ist. (vgl. Abbildung 6.14)

Zahnstangenantrieb:

Der Schieberkörper wird durch eine Zahnrad-Zahnstangen-Kombination bewegt. Das Zahnrad wird von einem Servomotor angetrieben. Für den Servomotor wurde eine individuelle

Halterung konstruiert, die über die Bodenplatte durch Schrauben fixiert wird. Die 3D gedruckte Zahnstange mit Modul 2 weist eine Länge von 120mm auf. Sie wird in die dafür vorgesehene Nut auf dem Schieberkörper eingeklebt. Um nun einen adäquaten Hub zu erzielen, muss das Zahnrad richtig ausgelegt werden.

6.2.2. Konstruktive Berechnungen

Zahnradauslegung:

Mit einer Zahnrad-Zahnstangen-Kombination wird eine rotatorische Bewegung in eine translatorische Bewegung übersetzt. Die horizontale Strecke, die ein beliebig gewählter Punkt auf einem der beiden Schieber zurücklegen muss, beträgt 100,5mm. Diese Strecke wird im Folgenden als Vor- bzw. Rückhub bezeichnet. Bei folgender Auslegung sollen der Vor- bzw. Rückhub sowie der Rotationswinkel des Servomotors von 160° als unveränderlich angesehen werden. Daraus folgt, dass die Zahnstange sowie das Zahnrad individuell auszuwählen oder anzupassen sind. Aus dieser Bedingung zeigt sich, dass die Zahnstange eine Mindestlänge von 100,5mm aufweisen muss, um den Hub zu realisieren. Um nun mit einer Rotation von 160° einen Hub von 100,5mm zu erreichen, muss ein passendes Zahnrad ausgewählt werden. Hierfür können Modul und Zähnezahl über die Abrolllänge des Zahnrads gewählt werden. Die Abrolllänge eines Zahnrads entspricht dem Umfang des Ritzels, gemessen am Teilkreisdurchmesser d:

$$s = \frac{\theta}{360^\circ} \cdot \pi \cdot d \quad (6.18)$$

mit

$$\theta = \text{Rotationswinkel}$$

und

$$d = m \cdot z \quad (6.19)$$

folgt:

$$d = m \cdot z = \frac{s \cdot 360^\circ}{\theta \cdot \pi} = 71,98\text{mm}$$

Alle Kombinationen aus Modul und Zähnezahl, die einen Teilkreisdurchmesser von etwa 72mm erreichen, können angewendet werden. (vgl. Tabelle 6.1)

Aufgrund der geringen Abweichung von 0,03mm und der sehr guten Eignung für den 3D-Druck wurde die Kombination aus Modul 2 und 36 Zähnen gewählt.

Modul m	Zähnezahl z	Hub [mm]	Abweichung	Teilkreis-Ø [mm]
2,0	36	100,53	+0,03	72,00
1,5	48	100,53	+0,03	72,00
1,0	72	100,53	+0,03	72,00
3,0	24	100,53	+0,03	72,00
2,5	29	101,23	+0,73	72,50
1,25	57	99,48	-1,02	71,25

Tabelle 6.1.: Berechneter Zahnstangenhub bei 160° Rotation für verschiedene Zahnradparameter

6.2.3. Elektronik

Der Stapelmechanismus enthält folgende elektrische Komponenten:

- Hubmagnet
- Servomotor
- Schrittmotor
- Lichtschranke
- Mikrocontroller

Dabei fungieren der Hubmagnet, der Servomotor und der Schrittmotor als Aktor im System:

Der Hubmagnet dient als Aktor für eine Linearbewegung. Diese wird dazu benötigt, um die in die Nut geschobenen Teile festzuhalten, sodass diese nicht herausfallen, wenn sich die Drehplatte dreht. Dafür befindet sich der Hubmagnet über der Nut und wird ausgefahren bevor sich die Drehplatte bewegt.

Servomotor

Der Servomotor dient als Antrieb für die Schieberkinematik. Hierfür wird auf den Servomotor ein Zahnrad montiert, welches die Zahnstange antreibt, welche an den Schiebern montiert ist. Der Servomotor benötigt einen Drehbereich von 0° bis 160° . Durch Verwendung eines 180° -Servomotors wird diese Rotation erreicht. Der überschüssige Drehbereich dient als Puffer, um den Schieber weiter zu schieben als theoretisch notwendig, falls sich dieser aufgrund von Biegungen nicht den Anschlag in der Schiebeführung erreicht. Der Servomotor verwendet als Eingangssignal keine Schrittzahl wie der Schrittmotor, sondern einen Winkel, welchen er anfährt und hält. Dadurch ist dieser unempfindlich gegenüber

6. Komponentenentwicklung

Drehmomentspitzen welche auftreten, wenn z.B. die Magnete der MagSafe-Platten getrennt werden oder wenn der Schieber in der Führung reibt. Dadurch eignet sich dieser sehr gut für diesen Anwendungsfall.

Der Schrittmotor dient als Antrieb für die Drehplatte. Hierfür wird das Antriebsmoment auf die Welle übertragen, welche es auf die Drehplatte überträgt. Als Motor wird ein Schrittmotor verwendet. Dieser punktet mit einer flachen Bauweise und einem hohen Drehmoment. Die flache Bauweise ermöglicht es, dass die Drehplatte im Gehäuse eine niedrige Position hat. Durch Ansteuerung der einzelnen Schritten ist es möglich mit diesem Motor jede Drehplattenposition präzise anzufahren. Der Schrittmotor ist in der Lage Positionen Schritt genau anzufahren, jedoch ist es dem Schrittmotor nicht möglich die aktuelle Position abzufragen. Deshalb ist ein Sensor erforderlich, welcher sicherstellt, dass die Winkelposition der Drehplatte bekannt ist, bevor sich der Motor dreht.

Die **Lichtschranke** wird als Sensor verwendet. Der Sensor ist erforderlich, damit das System Rückmeldung zu einzelnen Systemen erhält und den Prozess mit definierten geregelten Abläufen stabil läuft.

Die Lichtschranke überprüft, ob der Schlitz in der Drehplatte sich im Spalt der Lichtschranke befindet. Der Schlitz wird dabei an der Position gesetzt, an der die Lichtschranke zu Beginn ist. D. h., wenn der Montageprozess beginnen kann und die Nut und die Magazinausgabe der MagSafe-Platten ausgerichtet sind ist der Spalt in der Lichtschranke. Somit lässt sich überprüfen, ob sich die Drehplatte in der Startposition befindet. Zusätzlich dient diese Position zur Kalibrierung des Schrittmotors, wenn ein Montageprozess beginnt. Dafür dreht sich der Motor immer auf die Ursprungsposition und fährt von dieser Position aus seine Schritte ab.

Als **Mikrocontroller** wird ein Arduino Uno verwendet. Dieser führt den Programmcode aus, ließt die Lichtschranke aus und steuert die Aktoren an.

6.2.4. Programmierung

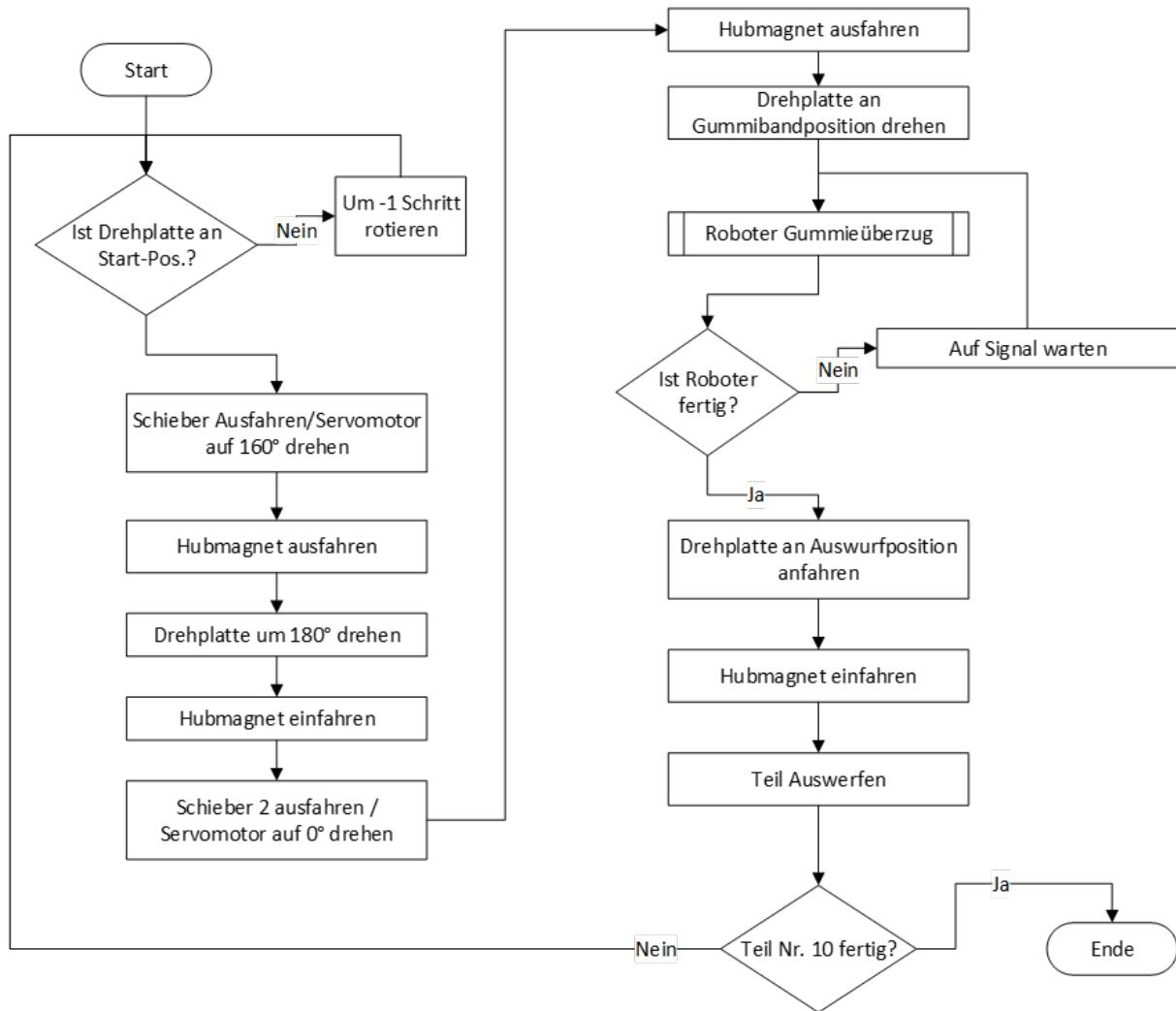


Abbildung 6.15.: Programm-Ablaufplan

In Abbildung 6.15 wird der Programm-Ablaufplan des Stapelmechanismus dargestellt. Zum Starten dieses Programmablaufes wird das Bedienelement am Gehäuse verwendet. Der dargestellte Ablauf wird dann zehn mal durchgeführt. Danach muss er per Bedienelement wieder manuell gestartet werden.

6.3. Gehäuse

Das Gehäuse der automatisierten Montageeinrichtung übernimmt mehrere zentrale Funktionen: Es gewährleistet den Schutz der technischen Komponenten, dient als tragende Struktur für alle Baugruppen und ermöglicht einen sicheren sowie einfachen Zugang zu

6. Komponentenentwicklung

relevanten Bereichen. Durch die systematische Erfassung der System- und Komponentenanforderungen lassen sich sämtliche wesentlichen Anforderungen an das Gehäuse klar definieren und nachvollziehbar dokumentieren (vgl. Tabelle 6.2). [30]

Systemanforderung		Komponentenanforderung	
Nr.	Anforderung	Nr.	Spezifikation
5	Die Anlage Abmessungen der gesamten Anlage dürfen 600 mm X 400 mm X 400 mm (B X T X H) und das Gewicht von 12 kg nicht überschreiten.	5.3	Die Außenmaße des Gehäuses müssen unter den gegebenen Werten liegen.
		5.4	Die Materialien werden so leicht wie möglich gewählt, um dennoch die benötigte Steifigkeit zu erreichen.
7	Die Anlage muss CE-Konform sein.	7.3	Gehäuse Schutz nach IP41 mit direktem Zugang zu Sicherheitssystemen wie Not-Aus-Schalter.
12	Die Anlage muss offen gestaltet sein.	12.3	Auswahl eines Materials, welches durchblickt werden kann.
		12.4	Öffnungen im Gehäuse für die Möglichkeit der Wartung und Entnahme des Produktes.

Tabelle 6.2.: System- und Komponentenanforderungen – Gehäuse

Die System- und Komponentenanforderungen führen zu den folgenden Entscheidungen für das Design (vgl. Abbildung 6.16):

Alle zuvor beschriebenen Baugruppen befinden sich in einem geschützten Gehäuse aus transparentem Acrylglass, wodurch eine gute Einsicht in das System ermöglicht ist. Die Befestigung der Komponenten erfolgt auf zwei übereinander angeordneten Ebenen, die aus Aluminiumblechen bestehen und mithilfe von ITEM-Profilen auf Abstand gehalten werden.

Die obere Ebene ist die sogenannte Magazinebene. Auf ihr sind sämtliche Magazine, in definierten Abständen zum Drehteller und zum Roboterarm, montiert. Die untere Ebene

bildet die Grundplatte. An ihr sind der Roboterarm, der Drehteller, das Ausgabefach inklusive Rutsche, sowie die Lineareinheit fest installiert.

Für Eingriffe in das Innere der Montageeinrichtung ist das Gehäuse mit einer Wartungsklappe versehen, die zur Sicherheit mit einem Endlagensensor überwacht wird. Im Bereich einer ungenutzten Gehäuseseite ist die Ecke abgeschrägt ausgeführt. Die Abschrägung dient zur Montage von Bediengeräten und einem Notausschalter, ohne dabei die Grundfläche der Gesamtanlage zu vergrößern. Um die Anordnung des Gehäuseaufbaus und der Ebenen nachvollziehen zu können, befindet sich im Anhang E eine Explosionszeichnung.

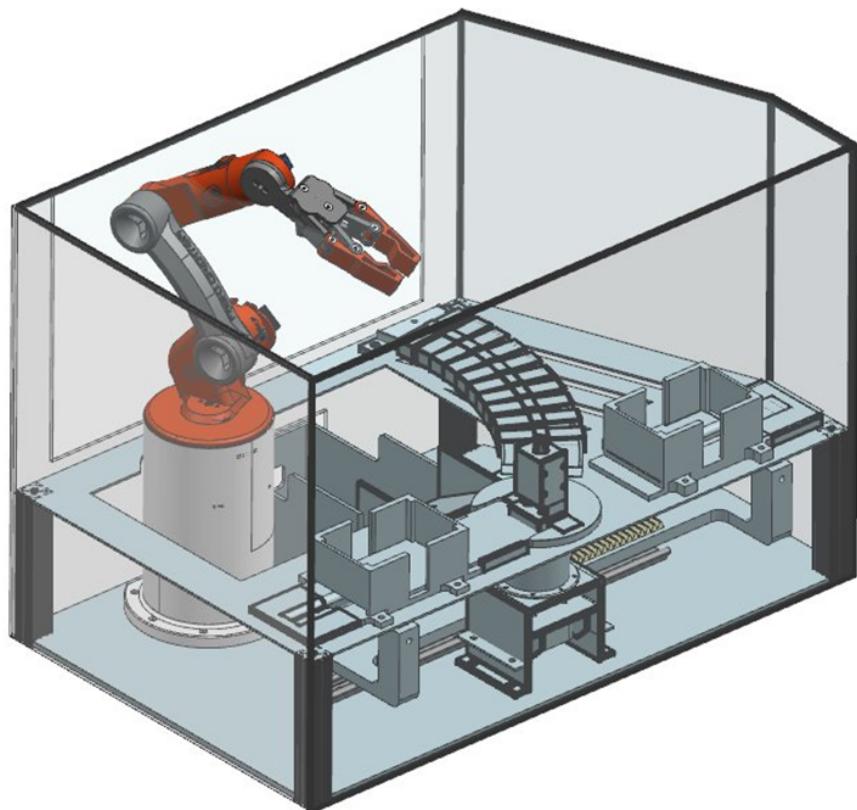


Abbildung 6.16.: Vollständige Montageeinrichtung mit Schutzgehäuse

6.4. Bedienelement

Die Bedien- und Anzeigeeinheit der Montageanlage ist ein M5Dial. Dieses Gerät kombiniert ein rundes Farbdisplay, einen Dreh-Encoder mit Taster sowie eine I2C-Schnittstelle zur Kommunikation mit dem übergeordneten Raspberry Pi. Über diese Einheit kann der Benutzer zentrale Funktionen der Gesamtanlage steuern und Statusinformationen ablesen.

Funktion und Bedienung

Das M5Dial stellt dem Benutzer ein menübasiertes Interface bereit, welches über den Dreh-Encoder und den integrierten Taster bedient wird. Es existieren insgesamt vier Hauptmenüpunkte:

Start: Über diesen Menüpunkt kann der Benutzer die Anlage in Betrieb nehmen. Vor dem eigentlichen Start wird eine Sicherheitsabfrage angezeigt, um ein unbeabsichtigtes Einschalten zu vermeiden. Bestätigt der Benutzer diese Abfrage, wird über die I2C-Schnittstelle ein entsprechender Steuerbefehl an den Raspberry Pi gesendet.

Stop: Analog zum Start-Menüpunkt wird hier die Anlage gestoppt. Auch dieser Vorgang ist durch eine Sicherheitsabfrage geschützt.

Robot: Dieser Menüpunkt führt in ein Untermenü, welches die Steuerung des angeschlossenen Roboterarms ermöglicht. Im Robotermenü wählt der Benutzer zunächst eine der drei verfügbaren Achsen aus (X, Y, Z). Anschließend kann diese Achse über den Encoder verfahren werden. Die Übertragung der Steuerbefehle an den Raspberry Pi ist zum aktuellen Zeitpunkt jedoch noch nicht implementiert. Durch einen langen Tastendruck (mindestens 2 Sekunden) kann der Benutzer jederzeit zum Hauptmenü zurückkehren.

About: Im About-Menüpunkt werden Informationen zur Projektarbeit angezeigt, beispielsweise die Namen der Gruppenmitglieder.

Encoder- und Tastersteuerung

Der Encoder erfüllt zwei Aufgaben: Durch Drehen wird die aktuelle Menüauswahl geändert, durch Drücken wird eine Auswahl bestätigt oder im Robotermenü der Modus zwischen Achsen- und Winkelwahl gewechselt. Ein langer Tastendruck dient dazu, aus dem Robotermenü zurück ins Hauptmenü zu gelangen.

Anzeige und Visualisierung

Das Display des M5Dial dient der Anzeige des aktuellen Systemstatus und der Benutzerrückmeldung. Die Anzeige ist farblich gestaltet: Aktive Menüpunkte werden hervorgehoben dargestellt, während verschiedene Zustände – wie ein aktiver Not-Aus, der Status der Anlage oder ein leeres Lager – als Symbol eingeblendet werden. Diese Zustandsinformationen sollen zukünftig vom Raspberry Pi gesendet werden; aktuell ist diese Funktion jedoch noch nicht implementiert. Beim Wechsel in sicherheitsrelevante Menüpunkte wie SStart oder SStop erscheint ein Bestätigungsfenster, welches den Benutzer zur erneuten Bestätigung

auffordert. Im Robotermenü zeigt das Display die aktuell ausgewählte Achse sowie die momentane Auslenkung des Encoders.

6.5. Elektrische Auslegung

Damit alle Komponenten zuverlässig und im Zusammenspiel miteinander funktionieren, spielt die elektrische Auslegung eine zentrale Rolle. Grundsätzlich lässt sich diese in zwei Hauptbereiche unterteilen: die Spannungsversorgung und die Auswahl der Mikrocontroller.

6.5.1. Spannungsversorgung

Für einen sicheren und stabilen Betrieb aller elektrischen Komponenten spielt die Auslegung der Spannungsversorgung eine große Rolle. Insbesondere im Zusammenspiel von Mikrocontrollern und leistungsstarken Servoantrieben ergeben sich besondere Anforderungen an Spannungstrennung, Entkopplung und Störunterdrückung.

Leistungsstarke Servos erzeugen durch abrupte Beschleunigungs- und Bremsvorgänge kurzzeitige Stromspitzen. Wenn die Spannungsversorgung nicht ausreichend dimensioniert oder entkoppelt ist, können diese Stromimpulse zu Spannungseinbrüchen oder transienten Überspannungen führen. Dies wiederum kann negative Auswirkungen auf sensible Digitalbaugruppen wie Mikrocontroller haben – etwa durch Instabilitäten, Fehlfunktionen oder Reset-Ereignisse.

Im Schaltplan (siehe Anhang D) ist die Versorgung daher so umgesetzt, dass eine galvanische Trennung zwischen der analogen und digitalen 5 V-Schiene erfolgt. Die analoge 5 V-Versorgung speist ausschließlich Motoren und Servos, während die digitale 5 V-Versorgung ausschließlich für Mikrocontroller und Logikbausteine vorgesehen ist. Die Entkopplung verhindert eine gegenseitige Beeinflussung und erhöht die Betriebssicherheit deutlich.

Um diesem Problem gezielt entgegenzuwirken, wurden zusätzlich zu einer geeigneten Trennung der Versorgungsschienen auch Stützkondensatoren verbaut. Diese dienen als kurzfristige Energiespeicher, um Stromspitzen lokal abzufangen und Spannungseinbrüche zu kompensieren. Gerade in Kombination mit impulsiven Lastwechseln – wie sie bei Servoantrieben auftreten – hat sich der gezielte Einsatz von Keramik- und Elektrolytkondensatoren in den Versorgungszweigen als wirksame Maßnahme zur Stabilisierung erwiesen.

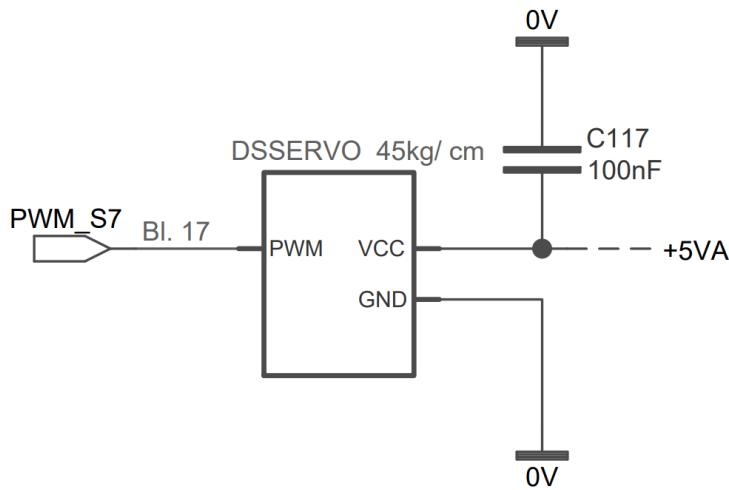


Abbildung 6.17.: Beschaltung mit Stützkondensator.

Zur Erzeugung der beiden getrennten Spannungskreise wurden Buck-Konverter eingesetzt. Diese wandeln eine höhere Eingangsspannung (z. B. 24 V) mithilfe pulsweitenmodulierter Schalttransistoren in eine stabile und verlustarme 5 V-Spannung um. Dank des hohen Wirkungsgrads dieser Schaltregler konnten sowohl thermische Verluste als auch das Gesamtvolumen der Spannungsversorgung gering gehalten werden.[31]

Die Auswahl eines geeigneten Netzteils erfolgte auf Basis einer Worst-Case-Betrachtung der maximalen Leistungsaufnahme aller Verbraucher. Es wurden ausschließlich Maximalströme verwendet, um auch im Blockierfall oder unter maximaler Last schäden an der Elektronik vorzubeugen. Die Einzelwerte lauten wie folgt:

Tabelle 6.3.: Leistungsaufnahme der elektrischen Verbraucher (Worst-Case)

Komponente	Anzahl	Stromaufnahme [A]	Leistung [W]
45 kgcm Servos	4	3,5	$4 \cdot 3,5 \cdot 5 = 70$
9,4 kgcm Servos	3	1,0	$3 \cdot 1,0 \cdot 5 = 15$
Schrittmotor	1	2,0	$1 \cdot 2,0 \cdot 5 = 10$
Arduino UNO	2	0,25	$2 \cdot 0,25 \cdot 5 = 2,5$
Raspberry Pi	1	1,2	$1 \cdot 1,2 \cdot 5 = 6,0$
M5Stack Core	1	0,5	$1 \cdot 0,5 \cdot 5 = 2,5$
Gesamt	—	—	106 W

Auf Grundlage des in Tabelle 6.3 berechneten Wertes wurde ein CE-Zertifiziertes Schaltungsnetzteil mit 288 W Nennleistung bei 24 V Ausgang gewählt. Dieses erfüllt sowohl die Anforderungen an Strombelastbarkeit als auch alle Sicherheitstechnischen Komponentenanforderungen wie beispielsweise Abschaltung bei Überstrom, Kurzschlüssen oder thermischer Überlastung.

6.5.2. Mikrocontroller

Wie im Elektronikkonzept beschrieben, basiert die Steuerung der Anlage auf einer Master-Slave-Architektur mit insgesamt vier Mikrocontrollern. Jeder dieser Controller muss über eine I²C-Schnittstelle verfügen, um die Kommunikation innerhalb des Systems zu ermöglichen. Einer der vier Controller ist fest im Bedienpanel integriert und nicht frei wählbar, erfüllt jedoch alle erforderlichen Anforderungen.

Zwei der Mikrocontroller übernehmen die direkte Ansteuerung der Servomotoren. Da alle eingesetzten Servos über Pulsweltenmodulation (PWM) betrieben werden, ist eine ausreichende Anzahl von PWM-Ausgängen erforderlich. Hierfür wurden Arduino Uno Boards ausgewählt. Diese Mikrocontroller bieten acht digitale PWM-Kanäle, unterstützen I²C-Kommunikation und ermöglichen die Implementierung von Interrupts, was für eine stabile Bus-Kommunikation von besonderer Bedeutung ist.

Als Mastereinheit dient ein Raspberry Pi. Dieser wurde gewählt, da er über vier Prozessorkerne verfügt und somit die gleichzeitige Ausführung mehrerer Aufgaben erlaubt. Im Rahmen dieses Projekts ermöglicht dies eine klare Trennung zwischen sicherheitskritischen Prozessen wie Not-Halt-Überwachung und regulären Aufgaben wie Kommunikation. Ein eigener Thread ist zudem für die kontinuierliche Berechnung der inversen Kinematik zuständig, wodurch eine flüssige auch bei komplexen oder linearen Bewegungen sichergestellt wird.

Ein Aspekt beim Zusammenspiel der verwendeten Mikrocontroller ist die elektrische Kompatibilität der Logikpegel. Während die Arduino Unos mit einem digitalen High-Pegel von 5 V arbeiten, basiert der Raspberry Pi auf einer 3,3 V-Logik. Diese Differenz stellt insbesondere bei der digitalen Kommunikation über den I²C-Bus ein potenzielles Risiko dar.

Ohne geeignete Anpassung kann ein vom Arduino gesendetes 5 V-Signal die GPIO-Eingänge des Raspberry Pi dauerhaft beschädigen, da diese nur bis maximal 3,3 V spezifiziert sind. Auch in umgekehrter Richtung kann es zu Problemen kommen, wenn der Arduino das 3,3 V-Signal des Raspberry Pi nicht zuverlässig als logisch „High“ erkennt – was zu fehlerhaften Datenübertragungen oder Kommunikationsabbrüchen führen kann.

Zur Vermeidung solcher Störungen wurde ein bidirektonaler Pegelwandler in den I²C-Bus integriert. Dieser passt die Spannungspegel automatisch an und stellt sicher, dass beide Systeme normgerecht und störungsfrei miteinander kommunizieren können.

6.6. Softwareablauf

Abbildung 6.18 zeigt den strukturellen Ablauf der Softwarearchitektur, wie sie auf dem Raspberry Pi (Master-Einheit) umgesetzt wurde. Grundlage des Konzepts ist die parallele Ausführung mehrerer Teilprozesse über getrennte Prozessorkerne. Der Raspberry Pi bietet hierfür mit seinen vier CPU-Kernen eine geeignete Plattform zur gleichzeitigen Abarbeitung mehrerer kontinuierlicher Aufgaben – jeweils in Form von Unterprogrammen (Worker-Threads).

Nach dem Systemstart erfolgt zunächst eine Kalibrierungsphase, in der die Startpositionen und Grenzlagen der Mechanik eingemessen werden. Ist die Kalibrierung abgeschlossen, verzweigt das Programm in drei parallel laufende Hauptprozesse:

- **Worker Security:** Dieser läuft auf einem eigenen Kern und überwacht kontinuierlich sicherheitsrelevante Signale, wie etwa den Not-Halt oder den Öffnungszustand von Gehäusen. Da Reaktionszeiten hier kritisch sind, wurde dieser Prozess mit höchster Priorität versehen.
- **Worker I2C:** Ein weiterer Kern ist für die I²C-Kommunikation zuständig. Dieser Worker verarbeitet eintreffende Steuerbefehle von der Bedieneinheit und sendet Statusmeldungen an die untergeordneten Mikrocontroller. Durch die Trennung vom Hauptprozess wird sichergestellt, dass Kommunikationsereignisse unabhängig von anderen Rechenprozessen verarbeitet werden können.
- **Worker Kinematik:** Auf einem dritten Kern läuft die kontinuierliche Berechnung der inversen Kinematik. Dieser Worker berechnet die jeweils notwendigen Zielwinkel des Roboterarms, insbesondere bei interpolierten oder dynamischen Bewegungsprofilen. Die Trennung dieser Funktion stellt sicher, dass Rechenlastspitzen durch mathematische Operationen nicht andere Prozesse blockieren.

Alle drei Prozesse arbeiten im Hintergrund in einer endlosen Schleife (while = 1), bis vom System oder über Benutzerinteraktion ein Abschaltbefehl erkannt wird. Sobald die Bedingung Aus? = Ja erfüllt ist, werden alle Worker-Threads geordnet terminiert und das System wechselt in den Endzustand.

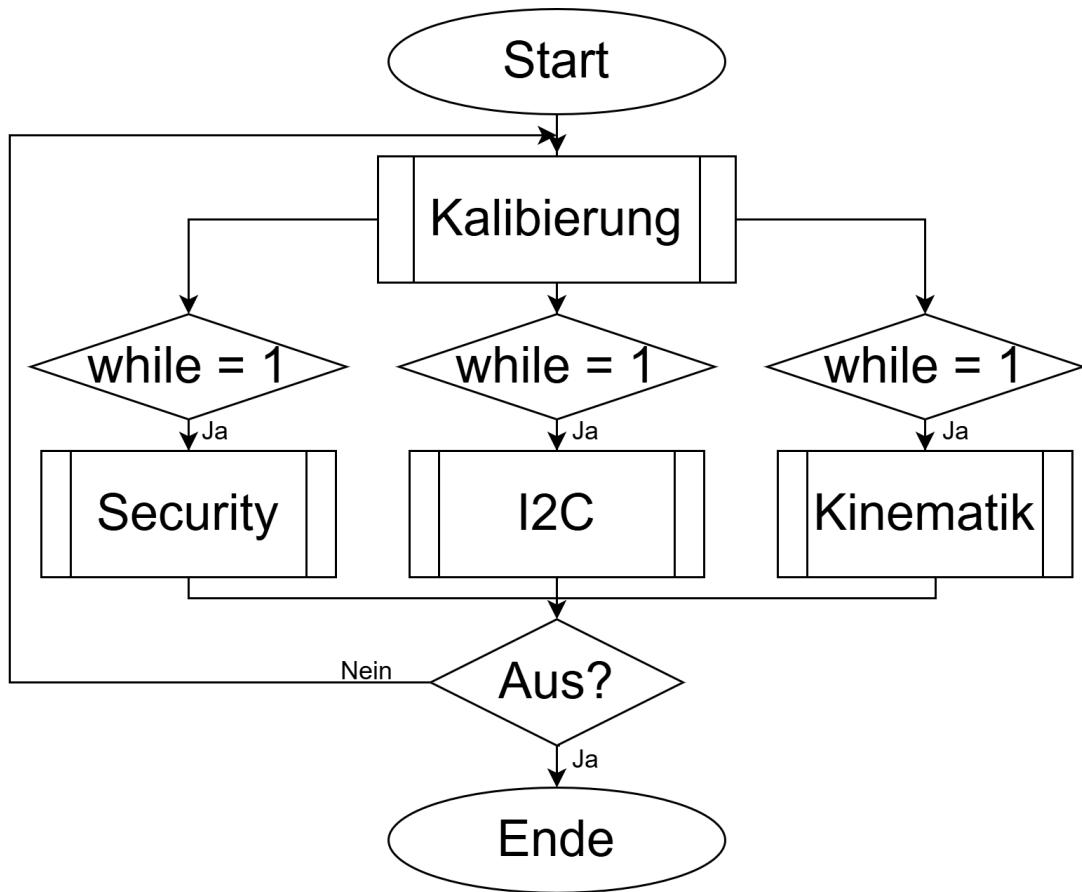


Abbildung 6.18.: Softwareablauf auf dem Raspberry Pi mit parallelen Worker-Threads

7. Technische Dokumentation

Die technische Dokumentation stellt alle notwendigen Informationen für die sichere Bedienung, Wartung sowie Montage und Demontage der Montageeinrichtung bereit. Sie dient der Gewährleistung eines normgerechten und benutzerfreundlichen Umgangs mit dem System.

7.1. Betriebsanleitung

Im Rahmen der Projektgruppenarbeit und der Entwicklung der automatisierten Montageeinrichtung war es unerlässlich, sicherheits- und benutzerrelevante Dokumente zu erstellen, welche die Bedienung und den sicheren Betrieb der Anlage gewährleisten. Aus diesem Grund wurden eine Betriebsanleitung sowie eine Betriebsanweisung verfasst, welche der Maschine beilegen.

Die Betriebsanleitung richtet sich primär an Bediener, Wartungspersonal und andere mit der Maschine befasste Personen. Sie enthält detaillierte Informationen zur Inbetriebnahme, Bedienung, Wartung, Fehlersuche sowie zur sicheren Stilllegung der Anlage. Sie erfüllt die Anforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und dient zudem als Grundlage für die CE-Kennzeichnung. [27]

Die Betriebsanweisung ergänzt die Betriebsanleitung um konkrete sicherheitsrelevante Maßnahmen und Verhaltensregeln für den täglichen Umgang mit der Anlage. Sie ist insbesondere für den Arbeitsplatz relevant, an dem die Montageeinrichtung betrieben wird, und hilft dabei, Gefährdungen durch unsachgemäßen Gebrauch oder Wartung zu vermeiden.

Beide Dokumente leisten damit einen entscheidenden Beitrag zur Betriebssicherheit, zum Gesundheitsschutz der Nutzer und zur Rechtssicherheit im Projektkontext.

7.2. Wartungsanleitung

Die Wartungsanleitung dokumentiert Maßnahmen zur Sicherstellung der Betriebssicherheit, Verfügbarkeit und Lebensdauer der Montageeinrichtung. Sie ist erforderlich, um:

- planmäßige Wartungsintervalle festzulegen (z. B. Sichtprüfung täglich, Not-Aus-Test vor Inbetriebnahme, Schmierung alle 3 Monate),
- sicherheitsrelevante Prüfungen gemäß Maschinenrichtlinie durchzuführen,
- Verschleiß frühzeitig zu erkennen und definierte Austauschprozesse anzuwenden,
- die rechtlich vorgeschriebene Rückverfolgbarkeit der Instandhaltungsmaßnahmen sicherzustellen (z. B. Prüfprotokolle).

Die Wartungsanleitung ist daher fundamental für die Aufrechterhaltung der Funktionalität der automatisierten Montageeinrichtung und liegt dieser Dokumentation und der Maschine bei. [32]

8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung analysiert die finanziellen Rahmenbedingungen des Projekts. Sie umfasst die Budgetplanung sowie die detaillierte Kostenkalkulation der Montagevorrichtung und der Werbegeschenke. Ziel ist es, die wirtschaftliche Tragfähigkeit der Lösung darzustellen und eine transparente Grundlage für die Bewertung der Herstell- und Entwicklungskosten zu schaffen. [33]

8.1. Budgetplanung

Gemäß der Aufgabenstellung verfügt jede Gruppe über ein Gesamtbudget von maximal 750 € für Material und Zukaufteile. Zur Deckung von höheren Projektkosten steht es jedoch jeder Gruppe frei, anderweitige Sponsoren zu suchen oder Unterstützungen seitens der Ausbildungsfirmen in Anspruch zu nehmen.

Um den Überblick über die Gesamtkosten zu halten, werden alle Ausgaben sorgfältig in einer Kostentabelle aufgeführt (siehe Anhang F1). Aufgeteilt ist die gesamte Budgetplanung in zwei Hauptkategorien, den eigenfinanzierten und den gesponserten Teilen. Bei den eigenfinanzierten Teilen handelt es sich um Komponenten oder Einkaufteile, die direkt aus dem zur Verfügung stehenden Budget finanziert werden. Hierbei wird jede Position mit den Informationen des Bauteilnamens oder der Artikelbeschreibung und des Einzelpreises in verschiedene Kostenkategorien eingeteilt. Ziel ist es, die Grenze von 750 € nicht zu überschreiten.

Alle zusätzlichen Beschaffungen, die nicht aus dem Projektbudget finanziert werden, sind in einer zweiten Spalte aufgeführt. Hierbei werden die Artikel ebenfalls mit der Bauteilbezeichnung und dem Sponsoringbetrag aufgeführt, um eine maximale Transparenz und Nachverfolgung zu garantieren. Alle Angaben werden zur Vervollständigung der Gesamtkostenaufstellung benötigt.

Tabelle 8.1.: Budgetplanung mit Hauptkostenpunkte

Bauteilname	Eigenfinanzierung	Sponsoring	Einheit
1. Werbegeschenk			
Zwischensumme	139.30	0.00	€
2. Elektronik			
Zwischensumme	560.17	22.50	€
3. Mechanik			
Zwischensumme	50.53	406.12	€
Gesamtsumme	750.00	428.62	€
Offenes Budget	0.00		
Gesamtkosten Anlage	1178.62		€

Tabelle 8.1 liefert einen Ausschnitt über die Budgetplanung der Montageeinrichtung unterteilt in die Hauptkategorien Werbegeschenk, Elektronikkomponenten und Mechanikkomponenten. Die Summe der gesponserten Bauteile addiert mit der Summe an eigenfinanzierten Bauteilen dient zur Ermittlung der tatsächlichen Materialkosten für die Anlage und stellt den finanziellen Gesamtumfang des Projekts dar. Die Gesamtsumme von ca. 1.200 € wird ebenfalls für eine spätere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Kostenkalkulation für die Montageeinrichtung und der Werbegeschenke benötigt.

8.2. Kostenkalkulation für die Montagevorrichtung

In folgendem Kapitel wird eine detaillierte Kostenkalkulation für die geplante, vollautomatische Montageeinrichtung durchgeführt. Da es sich hierbei um eine studentische Arbeit handelt werden einzelnen Kostenpunkten fiktive Beträge zugewiesen, um eine möglichst reale und praxisnahe Aussage über die Wirtschaftlichkeit des Projekts treffen zu können.

Die Kalkulation der Anlage erfolgt nach dem Verfahren der Zuschlagskalkulation. Hierbei werden die Gesamtkosten des einzelnen Produkts, in diesem Fall der Montageeinrichtung, betrachtet. Dabei werden den annahmegemäß bekannten Einzelkosten die Gemeinkosten zugeschlagen, wie es in der industriellen Praxis üblich ist [1]. Unterteilt ist die Kalkulation in Kostenarten bezogen auf die Fertigungsstufe.

Als erste Kostenart werden die Materialkosten, bestehend aus Materialeinzelkosten und Materialgemeinkosten, aufgelistet. Wie der Tabelle 8.1 aus Kapitel 8.1 zu entnehmen ist, ergeben sich fiktive Materialeinzelkosten in Höhe von ca. 1.200 €. Die benötigten Zuschlagssätze, zur Ermittlung der Gemeinkosten, beruhen häufig auf Erfahrungswerten, dies aus den vorangegangen Betriebsabrechnungsbögen gewonnen werden können [1]. Da

8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

es sich bei unserem studentischen Projekt lediglich um eine fiktive Kalkulation handelt und keine Zuschlagssätze ermittelt werden können, wird ein im industriellen Umfeld üblicher Zuschlagssatz von 15 % angenommen. Damit belaufen sich die Materialkosten für die Anlage auf 1.355 € (vgl. Tabelle 8.2).

Tabelle 8.2.: Materialkostenaufstellung mit Zuschlagssatz

Kostenkategorie	Zuschlagssatz	Betrag	Einheit
Materialeinzelkosten		1.178,62	
Materialgemeinkosten	15,00%	176,79	€
Materialkosten		1.355,41	

Die zweite Kostenart, welche in die Gesamtkostenkalkulation einfließt, sind die Fertigungskosten. Für die Fertigung, verschiedene Testanwendungen und den finalen Zusammenbau der Anlage benötigte unsere Gruppe eine Arbeitszeit von circa 350 Stunden, bei einem fiktiven Stundensatz in Höhe des Mindestlohns von 13€/h. Daraus ergibt sich ein Betrag in Höhe von 4.550 € an Fertigungslöhnen, welcher mit einem fiktiven Zuschlagssatz von 50 % beaufschlagt wird. Die Maschinenkosten in Höhe von 100 € setzten sich aus der Fertigung von Einzelkomponenten mit dem 3D-Drucker und dem Zuschnitt von Blechen mit einer Wasserstrahlschneidanlage zusammen. Als Sondereinzelkosten für die Fertigung werden die Entwicklungskosten speziell für diese Anlage aufgeführt. Die Summe an geleistete Stunden, welche die Gruppenmitglieder für die Konstruktion und Entwicklung aufgewendet haben, beläuft sich hierbei auf 600 h. Bei einem Stundensatz von 13 €/h ergibt sich ein Betrag in Höhe von 7.800 €. Durch Addition aller Kostenkategorien, wie Tabelle 8.3, zu entnehmen ist, ergeben sich 14.725 € an Fertigungskosten.

Tabelle 8.3.: Fertigungskostenaufstellung

Kostenkategorie	Bemerkung / Zuschlagssatz	Betrag	€
Fertigungslöhne	6 Gruppenmitglieder; Summe an geleisteten Stunden = 350 h (13,00 €/h)	4550.00	
Restfertigungsgemeinkosten	50,00 %	2275.00	
Maschinenkosten		100.00	
Sondereinzelkosten	6 Gruppenmitglieder; Summe an geleisteten Stunden = 600 h (13,00 €/h)	7800.00	
Fertigungskosten		14725,00	

Für die beschriebene Kalkulation wird aktuell mit dem Mindestlohn gerechnet (vgl. Anhang F2), da dieser dem typischen Fertigungslohn eines Studenten am nächsten kommt. Bei einer Kostenkalkulation mit dem tatsächlichen Ingenieurslohn würden die Fertigungskosten

jedoch deutlich höher ausfüllen. Dem Anhang F3 kann entnommen werden, dass sich, bei einer Kalkulation mit einem üblichen Stundensatz eines Ingenieurs in Höhe von 80 €/h, die Fertigungskosten der Montageeinrichtung um ein 6-faches erhöhen.

Da in der Aufgabenstellung der Projektarbeit nicht nur die technische Umsetzung der Montageeinrichtung, sondern auch ein Marketingkonzept in Form eines Werbeplakats und Werbefilms gefordert ist, ist die Berücksichtigung von weiteren Gemeinkosten in der Kalkulation sinnvoll. Dadurch wird ein maximaler Bezug zur industriellen Praxis hergestellt. Bei der Gesamtkostenkalkulation werden daher jeweils 5 % an Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten auf die Herstellkosten aufgeschlagen.

Die Summe aus Material-, Fertigungs-, Verwaltungs- und Vertriebskosten ergeben Selbstkosten in Höhen von ca. 17.700 € der Anlage. Ausgehend von den ermittelten Selbstkosten der Anlage wird eine vollständige Verkaufspreiskalkulation zur Ermittlung des Brutto-Gesamtpreises durchgeführt. (vgl. Tabelle 8.4). Abschließend ergibt sich eine Gesamtpreis, inklusive der Mehrwertsteuer, in Höhe von circa 25.000 € für die Montageeinrichtung.

Tabelle 8.4.: Verkaufspreiskalkulation

Kostenart	Zuschlagsatz	€
Herstellkosten		16 080.41
Verwaltungsgemeinkosten	5,00 %	804.02
Vertriebsgemeinkosten	5,00 %	804.02
Verwaltungs- und Vertriebskosten		1608.04
Selbstkosten		17688.45
Gewinnzuschlag	10,00 %	1768.85
Nettobarverkaufspreis		19457.30
Skonto	3,00 %	601.77
Bruttobarverkaufspreis		20059.07
Rabatt	5,00 %	1055.74
Zielverkaufspreis		21114.81
MwSt.	19,00 %	4011.81
Gesamtpreis Brutto		25126.63

8.3. Kostenkalkulation der Werbegeschenke

Im ersten Schritt der Kostenkalkulation der Werbegeschenke werden die variablen Kosten pro Stück ermittelt. Bei einer Stückzahl von lediglich 10 Werbeschenken ergeben sich

vergleichsweise sehr hohe Materialkosten und Fertigungskosten, die pro Stück anfallen. Höchster Kostenpunkt ist hierbei das Wasserstrahlschneiden der Toolingseite, da das Material einerseits in kleinen Mengen teuer eingekauft werden muss und nur eine geringe Stückzahl bei hohen Rüstkosten gefertigt wird. Bei einer Serienfertigung von 10.000 Stück würden hingegen die Material- und Fertigungskosten durch Mengenrabatte und effizienteren Materialeinsatz deutlich sinken. Tabelle 8.5 verdeutlicht diese Aussagen.

Tabelle 8.5.: Variable Kosten Werbegeschenk pro Teil

Bauteilname / Kostenpunkt	10 Teile	10.000 Teile
Einheit	[€]	
1. Toolingseite		
Materialkosten – Blech	0.06	0.05
Wasserstrahlschneidanlage	4.00	1.00
Sandstrahlwanlage / Entgraten	1.60	0.80
Laseranlage	1.60	0.80
2. Magnetseite		
Materialkosten – Filament	0.26	0.26
3D-Druck	0.25	0.25
Materialkosten – Magnete	0.12	0.12
3. Gummizug inkl. Verschluss		
Materialkosten – Gummiband	0.02	0.02
Materialkosten – Verschluss	0.05	0.05
3D-Druck Verschluss	0.10	0.10
Löten	0.50	0.50
Summe	8.56	3.95

Besonders im Bereich der Toolingseite lassen sich durch eine Stückzahlerhöhung sowohl Materialkosten als auch die Fertigungskosten deutlich reduzieren. Während sich bei einer Stückzahl von 10 Teilen ein Betrag von 8,56 € ergibt, sinkt der Betrag bei 10.000 Teilen auf 3,95 €. Die gesamte Kostenkalkulation für die variablen Kosten der Werbegeschenke ist dem Anhang F4 (10 Teile) und F5 (10.000 Teile) zu entnehmen.

Im zweiten Schritt der Kostenkalkulation der Werbegeschenke wird, auch wie schon in Kapitel 10.2 beschrieben, eine Zuschlagskalkulation zur Ermittlung des Bruttogesamtpreises durchgeführt. Die Materialkosten ergeben sich aus den Materialkosten des Werbegeschenks, bestehend aus der Toolingseite, MagSafe-Seite und dem Gummizug. Die Fertigungskosten bestehen einerseits aus den variablen Fertigungskosten für die Herstellung des Werbegeschenks, andererseits fließen hierbei auch noch die Maschinenkosten der Montageeinrichtung, aus der Zuschlagskalkulation in Höhe von etwa 25.000 €, mit ein. Daraus ergibt sich ein

Gesamtbetrag für die Herstellkosten pro Stück, wie in Tabelle 8.6 dargestellt, in Höhe von 25.132 €.

Tabelle 8.6.: Herstellkosten pro Stück

Kostenkategorie satz	Posten Betrag [€]	Zuschlags-	
Materialeinzelkosten	Materialkosten – Blech Materialkosten – Filament Materialkosten – Gummiband Materialkosten – Magnete		0.05 0.31 0.02 0.12
Materialgemeinkosten		15,00 %	0.57
Materialkosten			0.57
Fertigungslöhne (variabel)	Wasserschneidanlage Sandstrahlanlage Laseranlage 3D-Druck Löten		1.00 0.80 0.80 0.50 0.50
Restfertigungsgemeinkosten		50,00 %	1.73
Maschinenkosten (fix)			25 126.63
Fertigungskosten			25131.80
Herstellkosten pro Stück			25132.37

Ausgehend von den Herstellkosten wird auch in diesem Fall zur Ermittlung des Bruttogesamtpreises, wie in Tabelle 8.7 dargestellt, eine Verkaufspreiskalkulation durchgeführt. Daraus ergibt sich eine Bruttogesamtpreis in Höhe von 39.270 € pro Werbegeschenk. Die gesamte Zuschlagskalkulation für das Werbegeschenk ist dem Anhang F6 zu entnehmen. [34]

Nachdem sowohl eine Zuschlagskalkulation für die Montageeinrichtung als auch für das Werbegeschenk durchgeführt wurde, stellt sich abschließend die Frage nach der Wirtschaftlichkeit des gesamten Projektumfangs. Um beurteilen zu können, ab welcher Stückzahl sich die Investition der Montageeinrichtung rentiert, ist es sinnvoll, den Break-Even-Point zu berechnen. Dieser definiert genau die Menge, ab welcher Anzahl an verkauften Teilen die Gesamtkosten der Montageeinrichtung und die variablen Kosten pro Stück überstiegen werden und ein Gewinn erzielt wird.

$$BEP = \frac{Fixkosten}{Verkaufspreis - Variable Kosten pro Stück}$$

Tabelle 8.7.: Gesamtpreiskalkulation pro Stück

Herstellkosten pro Stück		25 132.37
Verwaltungsgemeinkosten	5,00 %	1256.62
Vertriebsgemeinkosten	5,00 %	1256.62
Verw.-, Vertr.-Kosten		2513.24
Selbstkosten		27645.61
Gewinnzuschlag	10,00 %	2764.56
Nettobarverkaufspreis		30410.17
Skonto	3,00 %	940.52
Bruttoberverkaufspreis		31350.69
Rabatt	5,00 %	1650.04
Zielverkaufspreis		33000.73
MwSt.	19,00 %	6270.14
Gesamtpreis Brutto		39270.87

Als Fixkosten kann der Bruttogesamtpreis der Montageeinrichtung verwendet werden. Als Variable Kosten pro Stück werden die Material- und Fertigungskosten des Werbegeschenks angenommen. Auch wenn das entwickelte und gefertigte Werbegeschenk im realen Einsatz verschenkt werden soll, wird für die Berechnung des Break-Even-Points ein fiktiver Verkaufspreis pro Stück benötigt. Nur dadurch kann ermittelt werden, ab welcher Anzahl die Kosten durch potenzielle Einnahmen gedeckt werden. Für die Berechnung wird, wie in Tabelle 8.8, exemplarisch ein Verkaufspreis von 10 € pro Stück angesetzt. [35]

Tabelle 8.8.: Break-Even-Kalkulation

Kostenkategorie	Betrag [€]	10.000
Fixkosten	25 126.63	
Variable Kosten pro Stück	3.95	
Brutto-Angebotspreis	10.00	
Break-Even-Point		4152

Durch das Einsetzen alle Beträge in die oben aufgeführte Formel ergibt sich der Break-Even-Point bei einer Anzahl von 4.152 Werbegeschenken.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt hatte zum Ziel, ein automatisiertes System zu entwickeln, das als Werbegeschenk in Form eines MagSafe-Wallets mit integrierten Alltagswerkzeugen dient. Es wurde eine vollautomatisierte Anlage mit einem Roboterarm zur effizienten Montage des Produkts entwickelt. Die Zielgruppe sind junge, technikaffine Studieninteressierte, die durch Marketingmaßnahmen auf das Produkt und die Hochschule aufmerksam gemacht werden sollten. Ein besonderes Augenmerk lag auf der Entwicklung eines zuverlässigen Montageprozesses, der eine Übertragungsquote von über 80 % bei der Zusammensetzung des Produkts aufwies.

Eine wesentliche Herausforderung bestand in der Automatisierung des Verbauens von biegeschlaffen Teilen, wie Gummis, was mit einem programmierten Roboterarm realisiert wurde. Dieser Prozess konnte erfolgreich getestet und optimiert werden, was die Effizienz und Zuverlässigkeit der Anlage unter Beweis stellte. Die Herausforderung dabei bestand dabei hauptsächlich bei der Einhaltung des Zeitplans.

Im Ausblick wird die Möglichkeit erwogen, den Roboter künftig auch manuell über eine Bedieneinheit zu steuern, um die Flexibilität der Anlage weiter zu erhöhen. Zudem könnte der Initialisierungsprozess des Roboters weiter verkürzt werden, um die Effizienz weiter zu steigern. Langfristig könnte die Anlage verstärkt auf Hochschulmessen eingesetzt werden, um Studieninteressierte anzusprechen und die Hochschule als innovative Institution zu präsentieren. Dies würde die Sichtbarkeit und Identifikation mit den techniknahen Studienangeboten der DHBW weiter fördern.

Literatur

- [1] „Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 1: Grundlagen (DIN 69901-1:2009-01).“ Deutsche Industrie-Norm für Projektmanagementmethoden, einschließlich Gantt-Diagrammen. (2009).
- [2] R. Ramesh und A Raghunathan, Recent advances, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Jg. 543, S. 168 645, 2022. DOI: 10.1016/j.jmmm.2021.168645.
- [3] Apple Inc. „About MagSafe accessories and card safety.“ Accessed: 2025-06-28. (2023).
- [4] Y. Choi und H. Kim, Industrial robotics and automation in manufacturing: Trends and applications, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Jg. 68, S. 102 091, 2021. DOI: 10.1016/j.rcim.2020.102091.
- [5] J. Baek und J. Lee, User-centered product design with multifunctionality: Insights from industrial design, International Journal of Industrial Ergonomics, Jg. 73, S. 102 856, 2019. DOI: 10.1016/j.ergon.2019.102856.
- [6] Verein Deutscher Ingenieure e.V. „VDI/VDE 2206, Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme.“ (2021), Adresse: <https://www.vdi.de/richtlinien/programme-zu-vdi-richtlinien/vdi-2206> (besucht am 23.05.2024).
- [7] Philipp Steubel. „Das V-Modell: Definition, Vorteile und Anwendung!“ (2024), Adresse: <https://asana.com/de/resources/v-model> (besucht am 23.05.2024).
- [8] Philipp Steubel. „Morphologischer Kasten.“ (2024), Adresse: <https://asana.com/de/resources/morphological-box> (besucht am 23.05.2024).
- [9] Wolfgang H. Zangemeister, Bedienerfreundlichkeit technischer Systeme (Human Engineering). Berlin Heidelberg New York: Springer, 1976, ISBN: 978-3-540-07591-8.
- [10] Aanne Pfeifer. „Wie funktioniert die Kano Methode.“ (2018), Adresse: <https://usertimes.io/2018/04/23/wie-funktioniert-die-kano-methode/> (besucht am 27.05.2024).
- [11] European Commission. „CE marking.“ (2024), Adresse: https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_en (besucht am 28.06.2025).
- [12] Robert W. Lent, Steven D. Brown und Gail Hackett, Toward a unifying, Journal of Vocational Behavior, Jg. 45, Nr. 1, S. 79–122, 1994. DOI: 10.1006/jvbe.1994.1027.

- [13] Jionah Lehrer. „Steve Jobs: Technology Alone Is Not Enough.“ (2011), Adresse: <https://www.newyorker.com/news/news-desk/steve-jobs-technology-alone-is-not-enough?> (besucht am 25.06.2025).
- [14] Philip Kotler und Kevin Lane Keller, Marketing Management, 15. Aufl. Pearson, 2016.
- [15] Valuates Reports. „MagSafe Accessories Market Size, Share & Forecast.“ (2024), Adresse: <https://reports.valuates.com/market-reports/QYRE-Auto-7D7234/global-magsafe-accessories> (besucht am 28.06.2025).
- [16] Ove Granstrand, The Economics and Management of Intellectual Property. Edward Elgar Publishing, 2000.
- [17] United States Patent und Trademark Office. „Patent Search.“ (2024), Adresse: <https://www.uspto.gov/patents/search> (besucht am 28.06.2025).
- [18] Thomas L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, 1980.
- [19] S. K. Saha und S. Deb, Robotics and handling of flexible objects: challenges and solutions, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Jg. 57, S. 366–377, 2019. DOI: 10.1016/j.rcim.2018.12.003.
- [20] Y. Lee und J. Kim, Assembly automation of flexible components in smart manufacturing, Procedia Manufacturing, Jg. 51, S. 587–594, 2020. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.083.
- [21] European commission, DIN EN ISO 13849-1:2016-06: Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze. Beuth Verlag, 2016.
- [22] European Commission, DIN EN ISO 12100:2011-03: Sicherheit von Maschinen. Beuth Verlag, 2011.
- [23] David G. Alciatore und Michael B. Histand, Introduction to Mechatronics and Measurement Systems, 6. Aufl. McGraw-Hill, 2020.
- [24] Z. Song und J. Lee, Real-time embedded system design for safety-critical applications, Microprocessors and Microsystems, Jg. 52, S. 303–313, 2017. DOI: 10.1016/j.micpro.2017.05.005.
- [25] International Electrotechnical Commission, IEC 60812: Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA). International Electrotechnical Commission, 2018.
- [26] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen und K.-H. Grote, Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, 7. Aufl. Springer, 2007.
- [27] Europäische Kommission. „Richtlinie 2006/42/EG über Maschinen.“ (2006), Adresse: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0042> (besucht am 28.06.2025).

- [28] Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani und Giuseppe Oriolo, *Robotics: Modelling, Planning and Control*. Springer, 2010, ISBN: 978-1-84628-641-4.
- [29] Manfred Weck, *Handbuch Spanen: Grundlagen, Technologien, Maschinen*. Springer, 2007, ISBN: 978-3-540-71846-4.
- [30] Deutsches Institut für Normung, DIN EN 60529:2014-09: Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code). Beuth Verlag, 2014.
- [31] Muhammad H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, 4. Aufl. Academic Press, 2017, ISBN: 978-0-12-811407-0.
- [32] G. Redeker und D. Weiß, *Technische Dokumentation: Anforderungen, Erstellung, Gestaltung*, 5. Aufl. Springer Vieweg, 2012.
- [33] Verband Deutscher Ingenieure, *VDI 2067 Blatt 1:2012-09 Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Investitionen*. VDI Verlag, 2012.
- [34] Gunther Schuh, *Produktkostenrechnung im Maschinenbau*. Springer Vieweg, 2013, ISBN: 978-3-658-00480-6.
- [35] Uwe Götze, Deryl Northcott und Peter Schuster, *Investment Appraisal: Methods and Models*. Springer, 2015, ISBN: 978-3-662-46725-0.

Anhang

- A. Individuelle Leistung**
- B. Morphologische Kästen**
- C. Lastenheft**
- D. Explosionszeichnungen und Stücklisten**
- E. Schaltpläne**
- F. Hautprogrammcode**

Anhang A

	Name	Zuständigkeiten und geplante Tätigkeiten (Stand 2. Projektwoche)	Zuständigkeit und tatsächlich ausgeführte Tätigkeiten (Projektende)
Teammitglied 1	Bullinger, Marvin	Konstruktion Give-Away, Konstruktion und Montage Roboterarm, Elektronische Auslegung, Steuerung und Programmierung der Montageeinrichtung	Konstruktion Give-Away, Konstruktion und Montage Roboterarm, Elektronische Auslegung, Steuerung und Programmierung der Montageeinrichtung, Montage und Herstellung aller Elektronikbaugruppen
Teammitglied 2	Häberle, Annika	Markt- & Patentrecherche, Risikobeurteilung, CE-Konformität, Marketing, Technische Dokumentation	Markt- & Patentrecherche, Risikobeurteilung, CE-Konformität, Marketing, Technische Dokumentation, Gehäusedesign
Teammitglied 3	Maurer, Hannes	Konzeption und Konstruktion der Montageeinrichtung (Magazine), Zeichnungserstellung	Konzeption und Konstruktion der Montageeinrichtung (Magazine), Zeichnungserstellung, Mechanische Optimierungen
Teammitglied 4	Reile, Christian	Projektleiter, Konzeption und Konstruktion der Montageeinrichtung, Zeichnungserstellung, Technische Dokumentation	Projektleiter, Konzeption / Konstruktion / Montage der Montageeinrichtung, Zeichnungserstellung, Technische Dokumentation, Mechanische Optimierungen
Teammitglied 5	Seibold, Franz	Konstruktion Give-Away, Konzeption und Konstruktion der Montageeinrichtung (Drehvorrichtung), Zeichnungserstellung, Elektronische Auslegung	Konstruktion Give-Away, Konzeption und Konstruktion der Montageeinrichtung (Drehvorrichtung), Zeichnungserstellung, Elektronische Auslegung, Werbefideo
Teammitglied 6	Stähle, Frida	Risikobeurteilung, Elektronische Auslegung, Steuerung und Programmierung der Montageeinrichtung	Risikobeurteilung, Elektronische Auslegung, Steuerung und Programmierung der Montageeinrichtung, Montage

Anhang A 1 Individuelle Leistungen der Teammitglieder

PROJEKTGRUPPENARBEIT

Marvin Bullinger,
Annika Häberle,
Hannes Maurer,
Christian Reile,
Franz Seibold,
Frida Stähle

Anhang A 2: Agiles Gantt-Diagramm

Anhang B

Merkmal	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Antrieb	Elektrisch	Pneumatisch	Hydraulisch
Steuerung	Arduino	SPS Siemens	Raspberry Pi
Greifermechanik	Vakumsauger	2-Finger-Greifer	Magnetgreifer
Rahmenaufbau	ITEM	Alu-Winkel	3D-Druck
Magazinierung	Schwerkraft-Rutsche	Karussellmagazin	Stapelmagazin
Bauteilvereinzelung	Schieber	Trichter	Vereinzelungstrommel
Montageverfahren	Stecken	Klemmen	• Spannen
Sicherheitskonzept	Endschalter	Not-Aus	geschlossenes Gehäuse
Benutzerinteraktion	Touchscreen	Taster & Display	Smart Knob
Versorgungsspannung	5 V	12 V	24 V
Design	All-White	Bunt	Funktional
Ausgabe	Band	Rutsche	Ausgabefach

Anhang B 1: Morphologischer Kasten

Anhang C

Lfd. Nr	Hauptmerkmal	Anforderung / Spezifikation (Zahlen, Daten, Fakten)	Klassifizierung
A1	Geometrie	Max. 600 x 400 x 400 mm [L x B x H]	LA
A2	Gewicht	Gewicht: Max. 12 kg	LA
A3	Kosten	Budget: Max. 750 €	LA
A4	Ergonomie	Lautstärke < 85 db (Nach Arbeitsschutzverordnung)	BE
A5	Sicherheit	Erfüllung CE-Richtlinien	BA
A6	Sicherheit	Die Maschinenrichtlinie muss eingehalten werden	BA
A7	Sicherheit	Automatische Abschaltung der Anlage beim Öffnen des Gehäuses	BA
A8	Sicherheit	Not-Aus muss vorhanden sein	BA
A9	Sicherheit	Eingreifen während des Prozesses ist nicht möglich	LA
A10	Sicherheit	Kein Zugang zum Montageprozess über das Ausgabefach	BA
A11	Sicherheit	Keine Verletzungsgefahr am Gehäuse	LA
A12	Sicherheit	Gehäuse: Schutz nach IP41	LA
A13	Sicherheit	Sicherer Stand	LA
A14	Sicherheit	Transportsicher, 90° Kippung	BE
A15	Elektrik	EMV-Richtlinie	BA
A16	Elektrik	Elektrische Komponenten schutz	LA

Lfd. Nr	Hauptmerkmal	Anforderung / Spezifikation (Zahlen, Daten, Fakten)	Klassifizierung
A17	Zeit	10 Produkte in <5 min	LA
A18	Lagerkapazität	Alle Lager müssen mindestens 10 Teile aufnehmen können	LA
A19	Antrieb	Niederspannung (< 50 V)	LA
A20	Energie	Elektrische Energie	BE
A21	Produktivität	Montageablauf: vollautomatisch min. 3 Bauteile fügen	BA
A22	Betrieb	Automatische Ausgabe des Produktes	BA
A23	Bedienung	Interaktives Element	BE
A24	Bedienung	Einzelkomponenten Füllstand (rot, grün)	BE
A25	Werkstoff	Korrosionsbeständig	BE
A26	Instandhaltung	Definierter Wartungszyklus /-aufwand	LA
A27	Lebensdauer	Mind. 10.000 Montagezyklen ohne Reparatur	LA
A28	Transport	Transportgriffe	BE
A29	Design	Werbung für DHBW	BE
A30	Design	Beleuchtung	BE
A31	Design	Quetschsicheres Design	LA
A32	Design	Einheitliches Design in DHBW Farben	BE
A33	Design	Modulares Baugruppendesign	BE
A34	Design	Sichtbarer, innovativer Montageprozess	LA

Anhang C 1: Lastenheft

Lfd. Nr.		... ist verglichen mit ...																Faktor, ganzzahlig, normiert auf 1	Prozentwert, normiert											
		Geometrie	Gewicht	Kosten	Ergonomie	Sicherheit	Sicherheit	Sicherheit	Sicherheit	Elektrik	Zeit	Lagerkapazität	Antrieb	Energie	Bedienung	Bedienung	Werkstoff	Instandhaltung	Lebensdauer	Transport	Design	Design	Design	Design	Design	Summe				
A1	Geometrie	1	1	2	0	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	39	8	6,0	
A2	Gewicht	1	1	2	0	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	39	8	6,0	
A3	Kosten	1	1	2	0	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	42	9	6,5	
A4	Ergonomie	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	8	2	1,2
A9	Sicherheit	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	48	10	7,4	
A11	Sicherheit	1	1	0	2	0	0	2	1	2	1	1	0	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	34	7	5,2
A12	Sicherheit	0	0	0	2	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	26	5	4,0
A13	Sicherheit	1	1	1	2	0	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	38	8	5,8	
A14	Sicherheit	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	9	2	1,4
A16	Elektrik	0	0	0	2	0	1	1	1	2	0	0	0	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	29	6	4,5	
A17	Zeit	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	42	9	6,5	
A18	Lagerkapazität	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	39	8	6,0
A19	Antrieb	1	1	1	2	0	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	37	8	5,7
A20	Energie	0	0	0	2	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	13	3	2,0	
A23	Bedienung	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	10	2	1,5	
A24	Bedienung	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	10	2	1,5	
A25	Werkstoff	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	10	2	1,5	
A26	Instandhaltung	0	0	0	2	0	1	1	0	2	1	0	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	30	6	4,6
A27	Lebensdauer	0	0	0	2	0	1	1	0	2	1	0	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	30	6	4,6
A28	Transport	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	11	2	1,7	
A29	Design	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	10	2	1,5	
A30	Design	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	10	2	1,5
A31	Design	1	1	0	2	0	1	1	1	2	1	0	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	33	7	5,1			
A32	Design	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	10	2	1,5	
A33	Design	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	10	2	1,5	
A34	Design	1	1	0	2	0	1	1	1	2	1	0	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	33	7	5,1			

Maximalwert 48
Summe 650
100,0

	Spezifikationen																											Funktionen										Baugruppen						SUMM E									
	Geometrie	Gewicht	Kosten	Ergonomie		Sicherheit	Lagerkapazität	Zeit	Elektrik	Elektrik	Produktivität	Betrieb	Bedienung	Bedienung	Werkstoff	Instandhaltung	Lebensdauer	Transport	Design	Design	Design	Design	Design	Bezeichnung																													
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34																			
Einfluss der Funktion auf die Spezifikation [3=sehr stark, 2=stark, 1=wennig, 0=keinen]	8	8	9	2	10	10	10	10	10	7	5	8	2	10	6	9	8	8	3	10	2	2	2	6	6	2	2	2	7	2	2	7	Gew. Summe	nomiert auf max 10	Bezeichnung	Einfluss der Funktion auf die Arbeitspaktee [3=sehr stark, 2=stark, 1=wennig, 0=keinen]																	
	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	101	2	Lagerung Unterteile (Macsafe)	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8		
	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	101	2	Lagerung Oberteile (Tool)	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
	3	3	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	2	2	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	3	3	344	8	Ausschub Ober-/Unterteil	3	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
	1	2	2	1	1	2	2	2	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	2	3	3	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	0	2	281	7	klemmen	0	0	0	2	0	0	3	3	10						
	1	0	1	2	1	1	2	2	1	0	0	0	0	2	0	2	2	3	0	3	3	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	2	2	2	289	7	Drehsteller rotieren	0	0	0	3	0	1	2	0	3	3	12					
	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	99	2	Lagerung Gummibänder	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	3			
	2	0	2	2	1	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	2	1	3	0	3	3	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	1	275	6	Gummilager verfahren	0	0	0	1	2	2	0	0	0	3	3	11				
	3	2	3	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	1	0	2	2	3	1	3	3	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	2	3	351	8	Gummi auf Platten schieben	0	0	0	0	2	3	0	0	0	3	3	11				
	2	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105	2	Ablassen des Daily M8	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3	0	3				
	1	0	1	1	3	3	2	2	2	3	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	3	0	0	0	0	0	0	1	2	3	1	299	7	Ausgabe Daily M8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	0	6			
	1	1	3	0	1	1	3	3	0	0	0	0	0	0	3	2	0	2	1	2	1	1	3	3	0	1	0	0	0	0	2	2	279	6	Prozessüberwachung	0	0	0	1	0	2	1	0	3	3	10							
	1	1	2	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	0	2	2	2	1	2	3	0	0	0	3	0	1	0	432	10	Sicherheitsfunktion	0	0	1	1	0	2	2	3	0	0	9								
	1	0	0	0	3	3	1	1	1	3	1	1	0	0	0	2	0	0	1	2	2	0	1	0	1	3	0	0	3	0	3	0	263	6	Wartung	1	1	2	1	1	3	0	1	0	0	10							
	2	0	0	3	0	0	2	2	1	1	3	1	1	0	0	0	2	0	3	3	3	1	0	0	0	0	1	0	3	0	255	6	Ausstellungsattraktivität	1	1	2	2	1	3	1	2	2	2	17									
	3	3	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	3	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	149	3	Transport	0	0	0	0	1	0	3	0	0	4											
SUMME	30	19	19	15	17	19	23	22	15	8	14	7	12	12	16	17	19	12	20	26	29	11	7	5	7	15	7	19	19			10	10	14	12	9	18	12	11	22	20	SUMM E											

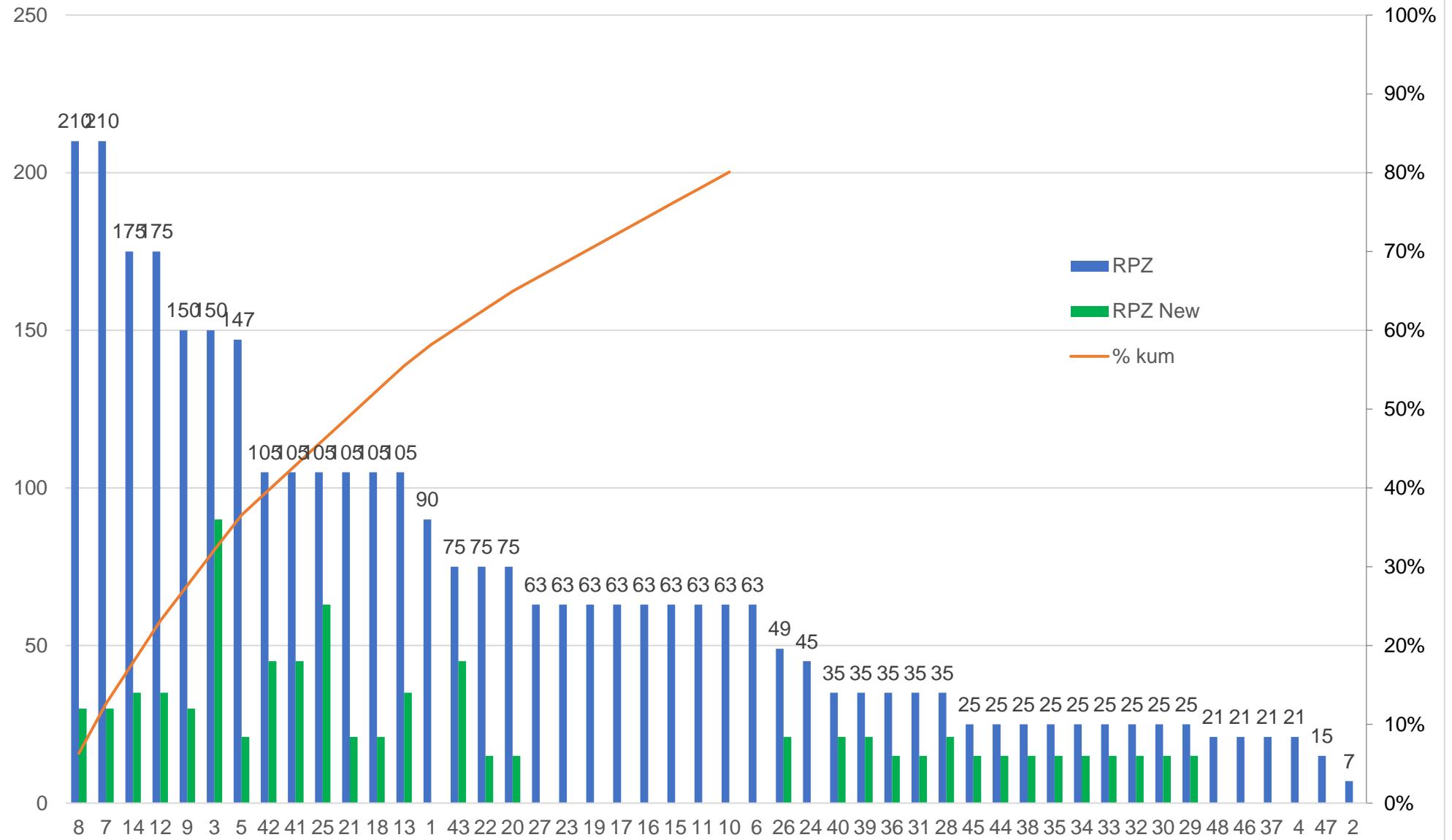
Anhang C 3: T-Tabelle

Möglicher Fehler	Mögliche Folge	Mögliche Ursache	Schwere	Auftritts- wahrschein- lichkeit	Entdeckung swahrschei- nlichkeit	Task Priority	Additional measures	S neu	O neu	D neu	TP new
			S	O	D						
Sicherheitsfunktion											
Beim Öffnen des Deckels stoppt der Montageprozess nicht	Der Bediener verletzt sich	Interlock ist nicht angeschlossen	10	3	3	L					
Der Notaus kann nicht betätigt werden	Der Montageprozess kann nicht unterbrochen werden, kein Eingreifen ist möglich. Beschädigungen der Montageeinrichtung können auftreten	Der Notaus ist konstruktiv bedingt nicht erreichbar	7	1	1	L					
Der Montageprozess kann gestartet werden obwohl eine Öffnung unverschlossen ist	Der Bediener verletzt sich	Der Status der Zugriffe wird vor Montagebeginn nicht abgefragt	10	3	5	M	Redundante Sensoren und Systeme	10	3	3	L
Der Notaus kann nicht betätigt werden	Der Montageprozess kann nicht unterbrochen werden, kein Eingreifen ist möglich. Beschädigungen der Montageeinrichtung können auftreten	Der Notaus ist an einer unübersichtlichen Stelle platziert und wird nicht gefunden	7	1	3	L					
Beim betätigen des Notaus' passiert nichts	Der Montageprozess kann nicht unterbrochen werden, kein Eingreifen ist möglich. Beschädigungen der Montageeinrichtung können auftreten	Falsche Verkabelung	7	3	7	M	4-Augen-Prinzip	7	1	3	L
Beim betätigen des Notaus' passiert nichts	Der Montageprozess kann nicht unterbrochen werden, kein Eingreifen ist möglich. Beschädigungen der Montageeinrichtung können auftreten	Notaus wird nicht richtig ausgelöst	7	3	3	L					
Der Bediener kann durch die Produkt-Ausgabe in den Montageraum eingreifen	Der Bediener verletzt sich	Konstruktive Verengung der Ausgabe nicht richtig kalkuliert	10	3	7	H	4-Augen-Prinzip und Try-and-Failure Vorgehen	10	1	3	L
Der Bediener kann durch die Produkt-Ausgabe in den Montageraum eingreifen	Der Bediener verletzt sich an der Elektrik	Konstruktive Abtrennung zwischen Ausgabefach und Montageraum fehlt	10	3	7	H	4-Augen-Prinzip und Try-and-Failure Vorgehen	10	1	3	L
Es kann nicht erkannt werden ob der Montageprozess unterbrochen wurde	Der Bediener greift in die aktive Montage und verletzt sich	Die Anlage gibt keine Rückmeldung zum aktuellen Status	10	3	5	M	Visuelles und/oder akustisches Signal für Status	10	3	1	L

Möglicher Fehler	Mögliche Folge	Mögliche Ursache	Schwere				Additional measures				S neu	O neu	D neu	TP new
			S	O	D	TP	Entdeckungswahrscheinlichkeit	Task Priority						
Ausschub Ober-/Unterteil														
10	Ober- / Unterteil wird schief aufgeschoben	Teil kann nicht ausgeschoben werden, die Montage kann nicht fortgeführt werden	Fehlerhafte Positionierung der Magazine	7	3	3	L							
11	Lineareinheit blockiert	Beschädigung am Bauteil und die Montage kann nicht fortgeführt werden	Fehlerhafte Positionierung der Magazine	7	3	3	L							
12	Doppelbelegung der Ober- und Unterteile	Bauteilbeschädigung und die Montage kann nicht fehlerfrei fortgesetzt werden	Doppelbelegung durch keine Lösung der Klemmung aus dem Drehteller	7	5	5	H	Spannungsüberwachung vom Solenoid	7	5	1	M		
13	Teil kann nicht ausgeschoben werden	Verklemmen am Drehteller, weil dieser im Winkel versetzt steht und die Montage kann nicht fortgeführt werden	Schrittmotor hat Schritt übersprungen	7	5	3	M	Im Programm implementierte Überwachung, sodass der Einschub neu versucht werden kann	7	5	1	M		
14	Teil kann nicht ausgeschoben werden	Verklemmen am Drehteller, weil dieser im Winkel versetzt steht und die Montage kann nicht fortgeführt werden	Fehlerhafte Ansteuerung der Rotation	7	5	5	H	Im Programm implementierte Überwachung, sodass der Einschub neu versucht werden kann	7	5	1	M		
15	Teil kann nicht ausgeschoben werden	Teil verklemmt sich im Lager und die Montage kann nicht fortgeführt werden	Fehlerhafte Führung im Teilemagazin	7	3	3	L							
16	Teil kann nicht ausgeschoben werden	Teil verklemmt sich im Lager und der Motor wird überlastet und die Montage kann nicht fortgeführt werden	Fehlerhafte Führung im Teilemagazin	7	3	3	L							
17	Teil kann nicht vollständig ausgeschoben werden	Rotation des Drehtellers führt zu einer Kollision und Verhakung mit dem Teilelager. Beschädigungen der Komponenten ist möglich.	Fehlerhafte Führung im Teilemagazin	7	3	3	L							
18	Schieber verkantet sich in der Einschubnut des Magazins	Teil kann nicht ausgeschoben werden, die Montage kann nicht fortgeführt werden	Zu rauе Oberfläche - und damit zu hohe Reibung - des Magazins an der Einschubnut	7	5	3	M	Try-and-Failure Vorgehen mit anschließender Oberflächenbehandlung	7	3	1	L		
19	Schieber verkantet sich in der Einschubnut des Magazins	Teil kann nicht ausgeschoben werden, die Montage kann nicht fortgeführt werden	Ungenaue Führung des Schiebers, Kollision mit dem Magazin	7	3	3	L							
20	Schieber verkantet sich in der Einschubnut des Magazins	Schieber kann nicht zurückfahren und nächstes Teil kann nicht nachrutschen	Zu rauе Oberfläche - und damit zu hohe Reibung - des Magazins an der Einschubnut	5	5	3	M	Try-and-Failure Vorgehen mit anschließender Oberflächenbehandlung	5	3	1	L		
21	Schieber verkantet sich in der Ausschubnut des Magazins	Teil kann nicht ausgeschoben werden, die Montage kann nicht fortgeführt werden	Zu rauе Oberfläche - und damit zu hohe Reibung - des Magazins an der Ausschubnut	7	5	3	M	Try-and-Failure Vorgehen mit anschließender Oberflächenbehandlung	7	3	1	L		
22	Schieber verkantet sich in der Ausschubnut des Magazins	Schieber kann nicht zurückfahren und nächstes Teil kann nicht nachrutschen	Zu rauе Oberfläche - und damit zu hohe Reibung - des Magazins an der Ausschubnut	5	5	3	M	Try-and-Failure Vorgehen mit anschließender Oberflächenbehandlung	5	3	1	L		
23	Schieber verkantet sich in der Ausschubnut des Magazins	Teil kann nicht ausgeschoben werden, die Montage kann nicht fortgeführt werden	Verkantung an der Ausschubnut durch ungenaue Führung des Schiebers	7	3	3	L							
24	Schieber verkantet sich in der Ausschubnut des Magazins	Schieber kann nicht zurückfahren und nächstes Teil kann nicht nachrutschen	Verkantung an der Ausschubnut durch ungenaue Führung des Schiebers	5	3	3	L							
25	Schieber bewegen sich nicht	Keine Teile werden in den Drehteller ausgegeben, die Montage kann nicht fortgeführt werden	Antrieb der Linearschiebeeinheit defekt	7	3	5	M	Redundantes System und Testversuche	7	3	3	L		
26	Schieber bewegen sich nicht	Keine Teile werden in den Drehteller ausgegeben, die Montage kann nicht fortgeführt werden	Antrieb der Linearschiebeeinheit zu schwach ausgelegt	7	1	7	M	4-Augen-Prinzip und Try-and-Failure Vorgehen	7	1	3	L		
27	Schieber verklemmt sich in der Einschub-/Ausschubnut des Magazins	keine Ausgabe der Teile bzw. kein Nachladen des nächsten Teils möglich, die Montage kann nicht fortgeführt werden	Zu kleine Passung an der Einschub-/Ausschubnut des Magazins	7	3	3	L							

Möglicher Fehler	Mögliche Folge	Mögliche Ursache	Schwere	Auftritts- wahrschein- lichkeit	Entdeckung swahrschei- nlichkeit	Task Priority	Additional measures	S neu	O neu	D neu	TP new
			S	O	D	TP					
Gummiband auf Platten schieben											
Magazin leer	Stillstand der Maschine	Kein Bauteil verfügbar, Magazine nicht nachgefüllt	7	5	1	M	Füllstandsanzeige und 4-Augen-Prinzip vor dem Anschalten der Maschine	7	3	1	L
Gummiband reißt	Keine Verbindung für Ober- und Unterseite	Zu hohe Spannung im Gummiband	5	5	1	M	Normlänge durch Try-and-Failure ermitteln	5	3	1	L
Bewegungsachse des Robotors blockiert	Roboter bleibt stehen	Fehlerhafte Programmierung	5	5	1	M	Try-and-Failure Vorgehen	5	3	1	L
Kein Gummiband wird abgestreift	Gummi bleibt hängen	Zu hohe Reibung am Magazin	5	7	1	M		5	3	1	L
Kein Gummiband wird abgestreift	Roboter greift nicht hinter sondern auf das nächste Gummiband und dadurch wird es nicht mitgeschoben	Fehlerhafte Programmierung	5	5	1	M	Try-and-Failure Vorgehen	5	3	1	L
Kein Gummiband wird abgestreift	Roboter greift nicht hinter sondern auf das nächste Gummiband und dadurch wird es nicht mitgeschoben	Falsches befüllen des Lagers	5	5	1	M		5	3	1	L
Kein Gummiband wird abgestreift	Roboter greift an ein nicht vorhandenes Gummiband	Fehlerhafte Programmierung	5	5	1	M	Try-and-Failure Vorgehen	5	3	1	L
Zwei Gummibänder werden abgestreift	Ausgabe fehlerhafter Produkte	Fehlerhafte Programmierung	5	5	1	M		5	3	1	L
Zwei Gummibänder werden abgestreift	Ausgabe fehlerhafter Produkte	Falsche Vorspannung und Platzierung der Gummibänder	5	7	1	M	Normlänge durch Try-and-Failure ermitteln und das 4-Augen-Prinzip vor dem Anschalten der Maschine für eine korrekte Lagerung	5	3	1	L

Möglicher Fehler	Mögliche Folge	Mögliche Ursache	Schwere	Auftritts- wahrschein- lichkeit	Entdeckung swahrschei- nlichkeit	Task Priority	Additional measures	S neu	O neu	D neu	TP new	
			S	O	D	TP						
Bedienungsfunktion												
37	Bedienung über Smart Knob funktioniert nicht	Maschine lässt sich nicht starten	Fehlerhafte Programmierung	7	3	1	L					
38	Bedienung über Smart Knob funktioniert nicht	Prozess läuft nicht korrekt ab	Fehlerhafte Programmierung, Sensor defekt	5	5	1	M	Try-and-Failure Vorgehen und redundanter Sensor	5	3	1	L
Lagerfunktion												
39	Magazin leer	Stillstand der Maschine	Kein Bauteil verfügbar, Magazine nicht nachgefüllt	7	5	1	M	4-Augen-Prinzip	7	3	1	L
40	Bauteile falsch orientiert	Montageprozess kann wegen Verklemmung nicht fortgeführt werden	Fehlende oder fehlerhafte Bauteilausrichtung	7	5	1	M	4-Augen-Prinzip	7	3	1	L
Drehsteller Rotation												
41	Bauteil nicht korrekt fixiert	Verrutschen der Bauteile bei der Drehung	Klemmkraft zu gering	3	7	5	H	Try-and-Failure Vorgehen um die korrekte Klemmkraft zu bestimmen	3	3	5	L
42	Quetschung und Verformung der Bauteile	Beschädigung der Bauteile	Klemmkraft zu hoch	3	7	5	H	Try-and-Failure Vorgehen um die korrekte Klemmkraft zu bestimmen	3	3	5	L
43	Bauteil wird schief aufgeschoben	Verkantung der Bauteile führt zu eingeschränktem weiteren Montageprozess	Fehlerhafte Positionierung des Drehstellers	5	5	3	M	Programmierung einer fixierten Nullposition	5	3	3	L
44	Falscher Drehwinkel	Bauteil fällt nicht in die vorgegebene Nut, Bauteil wird nicht korrekt eingeklemmt, eingeschränkter weiterer Montageprozess	Fehlerhafte Programmierung des Drehwinkels	5	5	1	M	Try-and-Failure Vorgehen	5	3	1	L
45	Falscher Drehwinkel	Fehlerhafte Positionierung für den nächsten Montageschritt	Sensorfehler	5	5	1	M	Redundante Sensoren	5	3	1	L
46	Drehsteller dreht sich nicht	Prozessstillstand	Antriebsfehler, Programmierungsfehler	7	3	1	L					
47	Rotation mit zu hoher Geschwindigkeit	Bauteil verrutscht oder fällt vom Drehsteller	Fehlerhafte Regelung, Fehlerhafte Parametrierung	5	3	1	L					
Ausgabe des fertigen Produktes												
48	Bauteil blockiert beim Auswurf	Maschine staut, Stillstand der Maschine	Auswurfschaft verstopft, Sensorfehler	7	3	1	L					



Anhang C 5: Pareto-Diagramm

Risikobeurteilung		Mustermaschine										Erstellt von:										
nach DIN EN ISO 12100:2011												Häberle Annika										
Risikoanalyse												Risikobewertung										
Lfd. Nr.	Lebensphase	Aufgabe/ Tätigkeit	Ursprung der Gefährdung durch Maschine, Umwelt und Mensch	Gefährdungsereignis	Folge der Gefährdung für Mensch	Häufigkeit (F)	Wahrscheinlichkeit (W)	Vermeidung (P)	Schwere (S)	Ergebnis (SIL)	konstruktive Maßnahme/ Verbesserung	Schutzmaßnahmen (technisch; ZUSÄTZLICHE Hard- und Software, Mechanik)	Montageanweisung	Handbuch (Betriebsanleitung)	Häufigkeit (F)	Wahrscheinlichkeit (W)	Vermeidung (P)	Schwere (S)	Ergebnis (SIL)	Warnung vor Risiken		
65	Not-Halt betätigen	U1.10 Beweglichkeit der Maschine	Ausfall von Einrichtungen zum Anhalten von sich bewegenden Teilen	F9.5 alle weiteren Probleme, die als Folge der Auswirkungen der Gefährdungsquellen an der Maschine oder an Teilen der Maschine auftreten	1 1 5 3 AM																	
66		U4.8 pfeifende Pneumatik-Einrichtungen	Emission eines Geräuschpegels, der zu Störungen der Sprachkommunikation oder zu Störungen akustischer Signale führen kann	F4.1 Unbehagen	3 3 4 1 -																	
67				F4.5 Stress	2 3 3 2 AM																	
68				F6.5 Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit usw.	4 3 4 1 AM																	
69		U1.2 spitze Teile	direkter Kontakt	F1.3 Quetschen	2 2 3 2 -																	
70				F1.4 Schneiden oder Abschneiden	3 2 2 3 AM																	
71		U1.14 scharfe Kanten	direkter Kontakt	F1.4 Schneiden oder Abschneiden	2 2 3 2 -																	
72			Kontakt mit scharfen Kanten und Ecken, vorstehenden Teilen	F1.4 Schneiden oder Abschneiden	3 3 2 3 SIL1																	
73		U2.7 Teile, die im Fehlerzustand spannungsführend geworden sind	direkter Kontakt	F2.3 Auswirkungen auf medizinische Implantate	2 3 4 3 SIL1																	
74				F2.8 (elektrischer) Schlag	3 4 3 3 SIL1																	
75		U2.8 Kurzschluss	Kurzschluss	F2.8 (elektrischer) Schlag	2 3 4 2 AM																	
76		U5.7 verschlissene Teile	direkter Kontakt	F1.4 Schneiden oder Abschneiden	2 3 3 3 SIL1																	
77				F1.7 Reiben oder Abschürfen	3 2 2 2 -																	
78	Ursache finden und beseitigen	U8.7 psychische Überbelastung/Unterforderung	menschliche Fehler/ menschliches Fehlverhalten (unbeabsichtigt und/oder vorsätzlich durch die Konstruktion hervorgerufen)	F8.4 Stress	1 2 1 2 -																	
79		U2.7 Teile, die im Fehlerzustand spannungsführend geworden sind	direkter Kontakt	F2.8 (elektrischer) Schlag	2 2 3 2 -																	
80		U1.11 sich bewegende Teile	unbeabsichtigter/unerwarteter Anlauf	F1.4 Schneiden oder Abschneiden	3 3 1 4 SIL2																	
81	Abschließen vom Stromnetz	U2.7 Teile, die im Fehlerzustand spannungsführend geworden sind	Kurzschluss	F2.8 (elektrischer) Schlag	2 2 3 2 -																	
82				F2.4 tödlicher Stromschlag	1 2 2 5 SIL3 FI-Schutzsch														1 2 1 3 -			
83		Demontage	U1.6 herabfallende Gegenstände	Herabfallen oder Ausstoß von Objekten	F1.3 Quetschen	2 3 2 2 -																
84			U1.14 scharfe Kanten	Kontakt mit scharfen Kanten und Ecken, vorstehenden Teilen	F1.4 Schneiden oder Abschneiden	3 3 2 3 SIL1																
85			U1.7 Schwerkraft (gespeicherte Energie)	schmerzhafte und ermüdende Körperhaltungen	F5.5 Wirbelsäulenverletzung	2 2 3 3 AM																
86		Mülltrennung	U1.2 spitze Teile	Kontakt mit scharfen Kanten und Ecken, vorstehenden Teilen	F1.12 Durchstich oder Einstich	2 3 3 3 SIL1																
87			U1.6 herabfallende Gegenstände	Herabfallen oder Ausstoß von Objekten	F1.3 Quetschen	1 2 3 3 AM																
88			U1.14 scharfe Kanten	Kontakt mit scharfen Kanten und Ecken, vorstehenden Teilen	F1.4 Schneiden oder Abschneiden	3 3 1 4 SIL2													2 3 1 3 AM			

Grenzen der automatisierten Montageeinrichtung

Bestimmungsgemäße Nutzung

Die automatisierte Montageeinrichtung ist ausschließlich für den Zusammenbau des DailyM8's konzipiert. Dabei dürfen die Magazine nur mit den definierten Einzelteilen manuell aufgefüllt werden. Für diese manuelle Handhabung und für wartungsgemäße Arbeiten an der Anlage darf die Schutzklappe geöffnet werden. Bevor der Montageprozess jedoch startet muss die Schutzhülle wieder verschlossen werden. Nach dem Start des Prozesses ist dieser nicht mehr zu unterbrechen, außer es ist ein Not-Halt erforderlich. Das fertige Produkt kann anschließend aus dem Ausgabefach entnommen werden.

Betriebsarten:

Automatisierter Prozess zur Herstellung von 10 DailyM8's

Stoppbetrieb zur manuellen Beladung der Magazine

Nothalt

Einsatzbereich:

Die automatisierte Montageeinrichtung wird ausschließlich in klimatisierten Innenräumen auf stabilem und geradem Untergrund.

Personenkreise, die mit der Maschine / dem Produkt in Berührung kommen

Eingewiesene Personen der DHBW Heidenheim.

Lebensphasen*	Personenkreise							
	MA Fertigung	MA Lager	MA der Logistik	Händler + MA	Kunde	Wartungs-personal	Kundendienst-MA	Schrott-händler
Produktion	x	x						
Montage	x	x						
Transport	x	x	x	x				
Inbetriebnahme				x	x		x	
Betrieb					x			
Instandhaltung / Wartung					x	x		
Fehlerfall					x	x	x	
Außerbetriebnahme					x		x	x
Demontage					x		x	x

MA = Mitarbeiter

* s. Tabellenblatt Lebensphasen

Räumliche Grenzen (Wandabstand)

Die automatisierte Montageeinrichtung muss mindestens mit einem Abstand von 0,5 m zu jeder Wandseite betrieben werden.

Zeitliche Grenzen

Ein Durchlauf von 10 Produkten erfolgt in unter 5 min Betrieb und muss anschließend manuell aufgefüllt werden.

Weitere Grenzen

Betriebstemperatur: 10 °C bis 30 °C (Optimalfall: Raumtemperatur von 20 °C)

Luftfeuchtigkeit: relative Luftfeuchtigkeit von max. 70 %

Untergrund: Stabil, gerade und sauber

Bedienung: Nur durch unterwiesenes Personal

Vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendungen:

Definition (vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendungen):

Tätigkeiten die mit der Maschine / dem Produkt innerhalb der gesamten Lebensdauer durch den in der Lebensphase jeweils definierten Personenkreis (z.B. Nutzer, Bedien- oder Fachpersonal) fälschlicherweise, vorsätzlich oder fahrlässig außerhalb der Grenzen der Maschine / des Produktes durchgeführt werden.

Auf richtiges Einlegen der definierten Komponenten an den definierten Orten ist zu achten.

Der Einsatz nicht genehmigter Hilfsstoffe ist nicht gestattet.

Der Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen ist verboten.

Es ist auf die vorgegebenen Wartungsintervalle zu achten.

Jegliche Störungen müssen sofort gemeldet werden und die Maschine ist aus dem Betrieb zu nehmen.

Warn- und Hinweisschilder dürfen nicht entfernt, bedeckt oder geändert werden.

Veränderungen an der Anlage sind nur mit schriftlicher Genehmigung gestattet.

Eingreifen über den Auswerbehälter ist nicht gestattet.

Anhang C 7: Grenzen der automatisierten Montageeinrichtung

Christian Reile
Marienstraße 20
89518 Heidenheim an der Brenz
Tel.: + 49 (0) 7321 27220



EG-Konformitätserklärung

Der Hersteller: DailyM8 GmbH
Marienstraße 20
D- 89518 Heidenheim an der Brenz
Tel.: +49 (0) 7321 27220

erklärt hiermit, dass folgendes Produkt:

Produktbezeichnung: Automatisierte Montageeinrichtung
Typenbezeichnung: MTMB 2025
Seriennummer: 001
Baujahr: 2025

den folgenden grundlegenden Anforderungen der Richtlinie **Maschinen (2006/42/EG)** entspricht:

Anhang I, Allgemeine Grundsätze Nr 1

Wenn zutreffend ist die unvollständige Maschine zudem konform mit den Bestimmungen der EG-EMV-Richtlinie 2014/30/EU, und es wurden hinsichtlich der elektrischen Gefahren gemäß Anhang I Nr. 1.5.1 der EG-Maschinenrichtlinie die Schutzziele der EG-Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU eingehalten.

Der Hersteller verpflichtet sich, die speziellen Unterlagen zur Maschine einzelstaatlichen Stellen auf begründetes Verlangen elektronisch zu übermitteln.

Die zur Maschine gehörenden speziellen technischen Unterlagen nach Anhang VII Teil B wurden erstellt.

Name des Dokumentationsbevollmächtigten: Christian Reile

Adresse des Dokumentationsbevollmächtigten: siehe Adresse des Herstellers

Heidenheim an der Brenz,

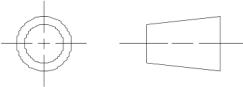
01.06.2025
Datum

Christian Reile
Unterzeichner Christian Reile

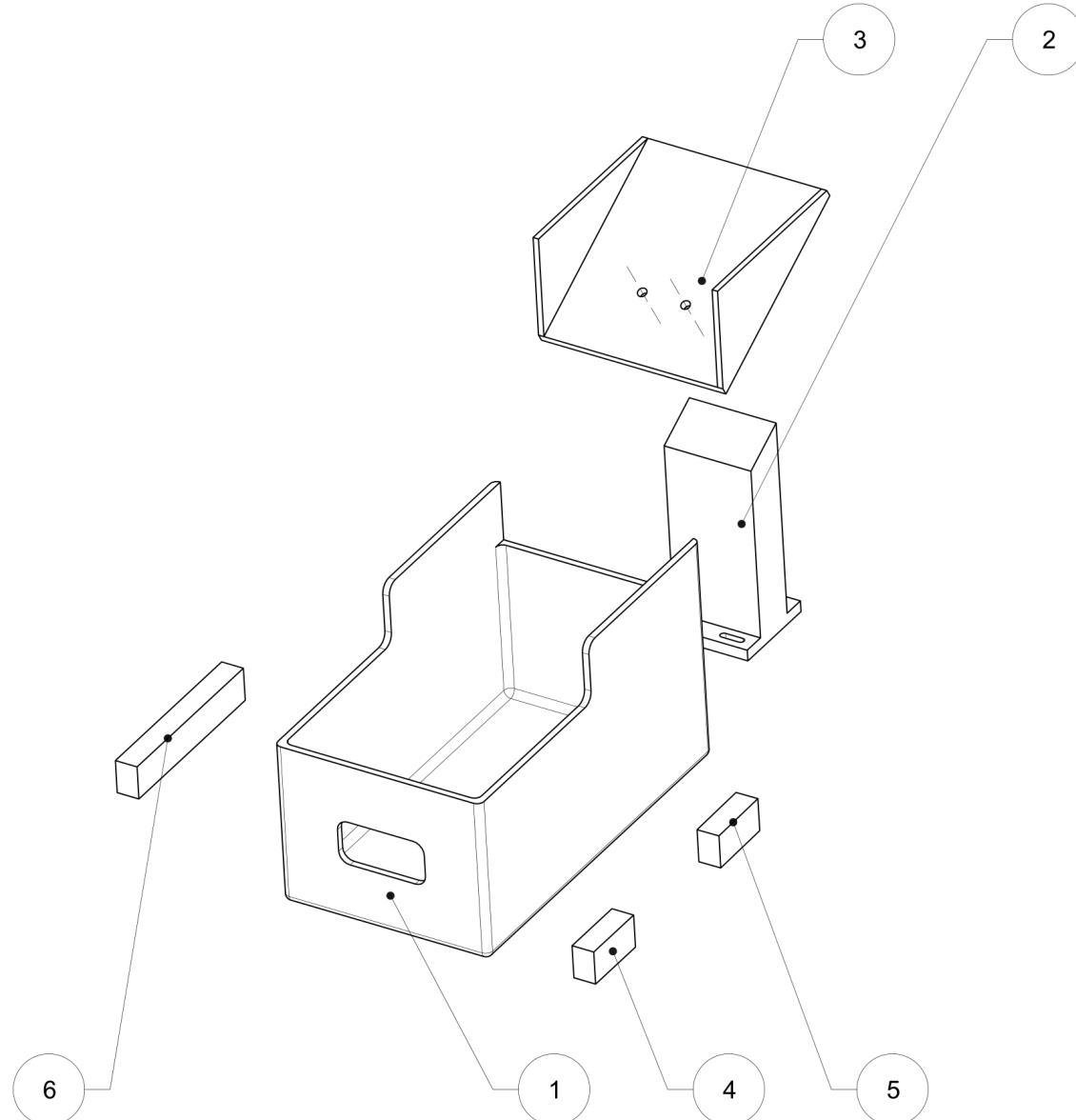
Reile C.
Unterschrift

Anhang D

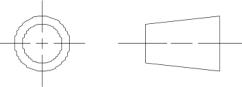
Pos.	Menge	Einheit	Benennung		Sach. Nr. / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung	
1.	1	Stk.	Auswurfbehälter		PLA		
2.	1	Stk.	Stütze-Rutsche		PLA		
3.	1	Stk.	Rutsche		PLA		
4.	1	Stk.	Anschlag Roboterseite klein		PLA		
5.	1	Stk.	Anschlag Roboterseite groß		PLA		
6.	1	Stk.	Anschlag Zahnradseite		PLA		
			Datum	Name	Explosionsansicht - Auswurfschacht		
			Bearb.	09.06.2025	Reile		
						Blatt 1 BL	



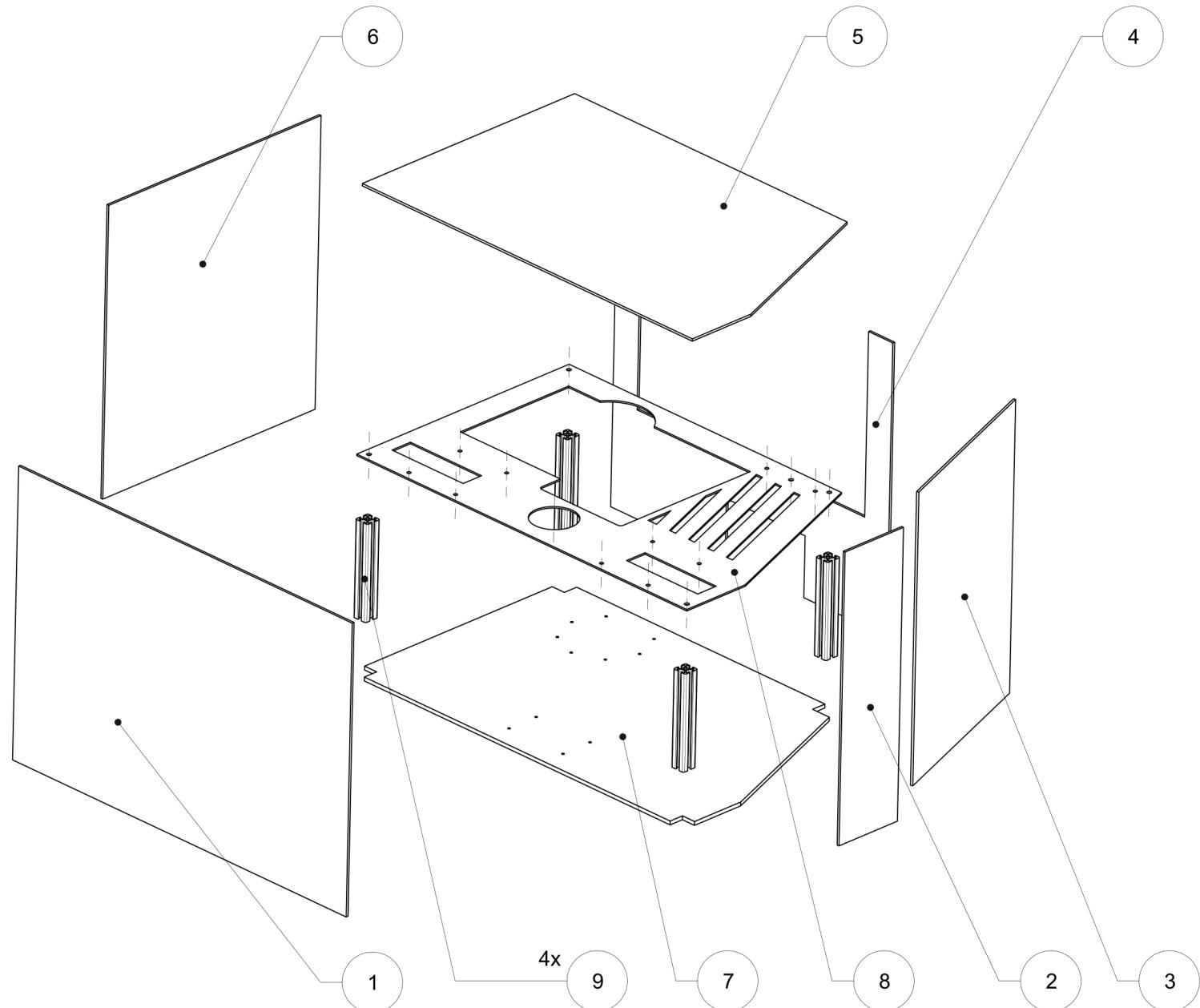
Maßstab 1:2



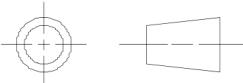
Verantwortl. Abtlg.	Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von	
	ISO 2768-mK	Christian Reile		
	DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg Heidenheim		Dokumentenstatus	
Titel, Zusätzlicher Titel		00_Montagevorrichtung_Auswurffach		
Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt	2 / 3
A	09.06.2025			



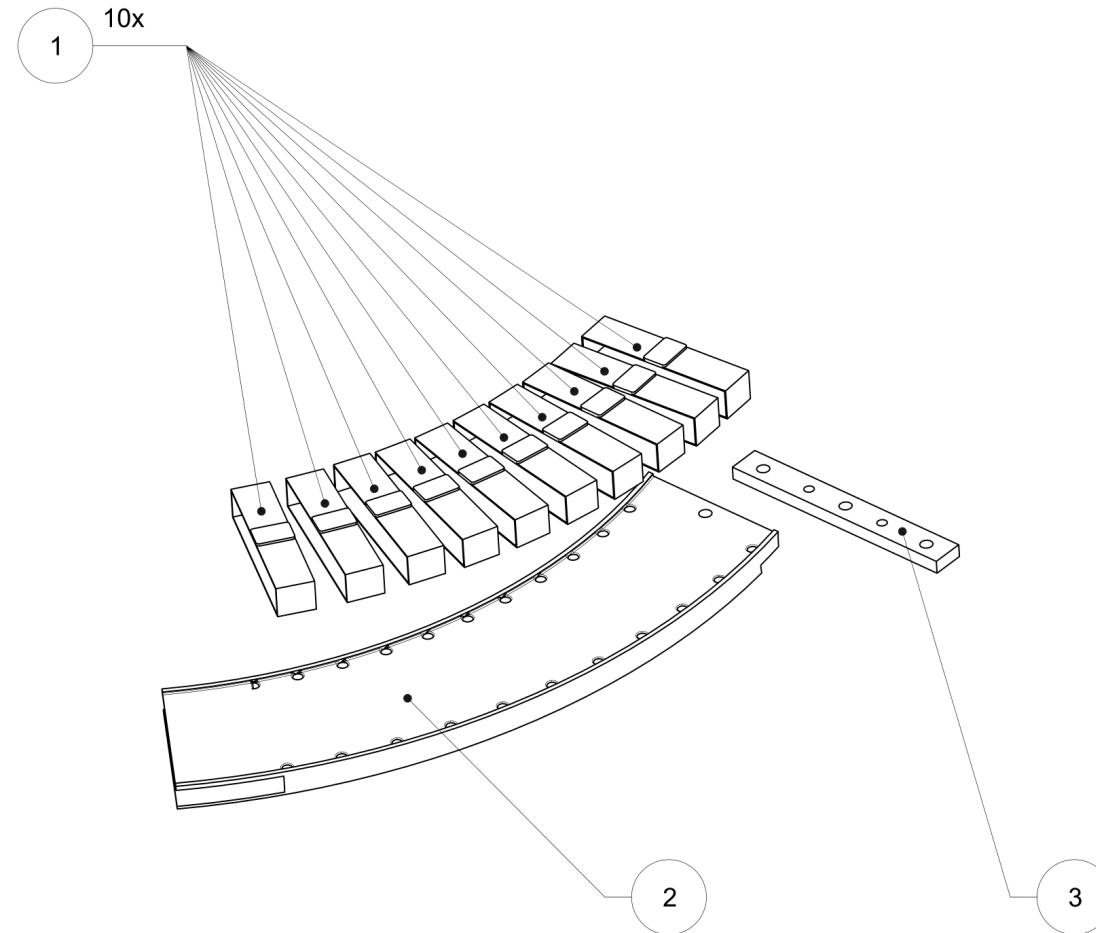
Maßstab 1:5



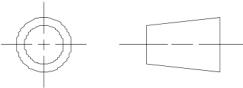
Verantwortl. Abtlg.	Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von			
	ISO 2768-mK	Christian Reile				
	DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg Heidenheim		Dokumentenart	Dokumentenstatus		
	Titel, Zusätzlicher Titel		Grundgestell_Assembly			
			Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
			A	09.06.2025		1 / 1



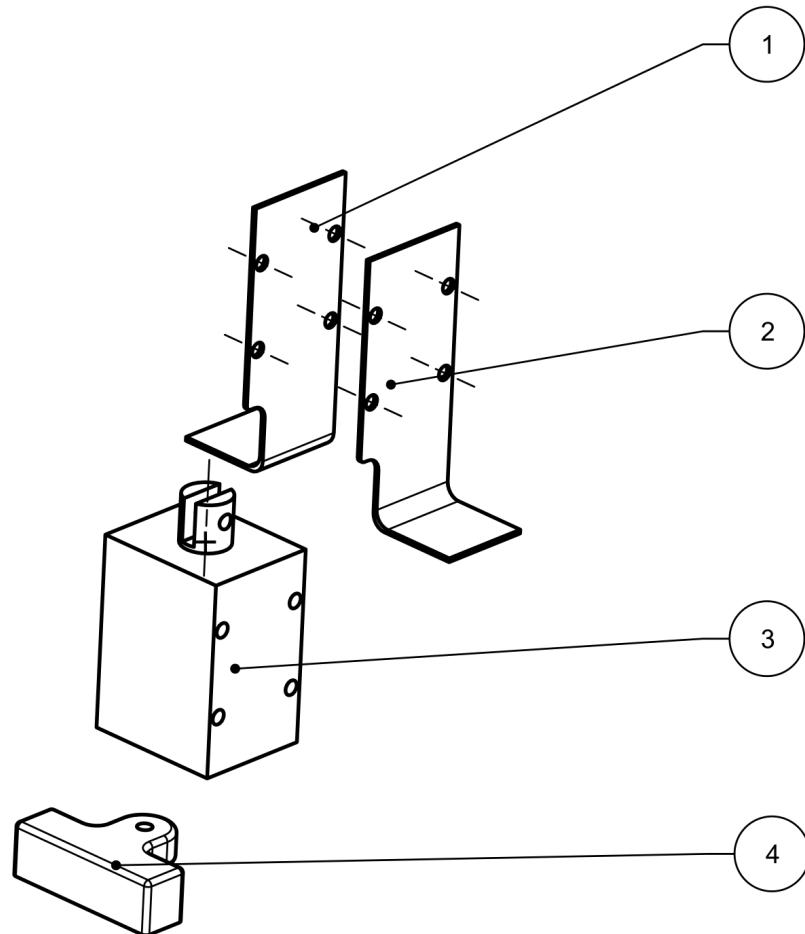
Maßstab 1:2



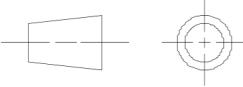
Verantwortl. Abtlg.	Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von			
	ISO 2768-mK	Christian Reile				
	Dokumentenart		Dokumentenstatus			
Titel, Zusätzlicher Titel						
00_Montagevorrichtung_Assembly			Änd.	Ausgabedatum		
			A	09.06.2025		
			Spr.	Blatt		
				3 / 3		



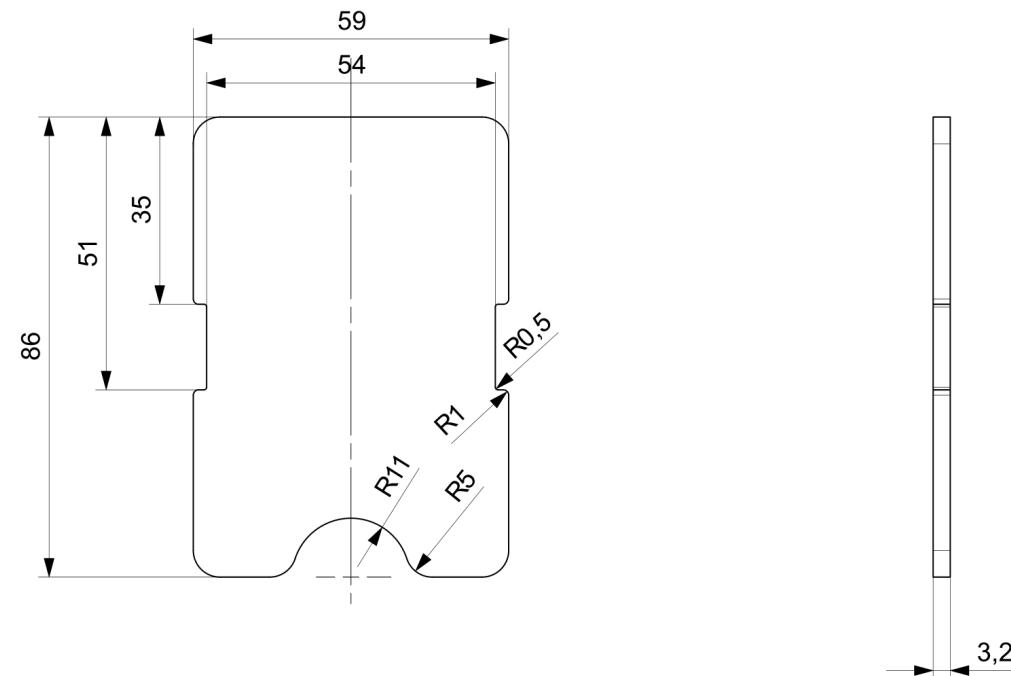
Maßstab 1 : 1



Verantwortl. Abtlg.	Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von			
	ISO 2768-mK	Christian Reile				
	Dokumentenart		Dokumentenstatus			
Titel, Zusätzlicher Titel						
Baugruppe_Solenoid			Explosionsansicht-Solenoid			
Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt			
A	09.06.2025			1 / 1		

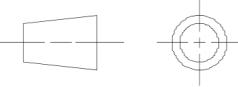


Maßstab 1 : 1

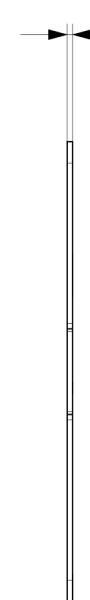
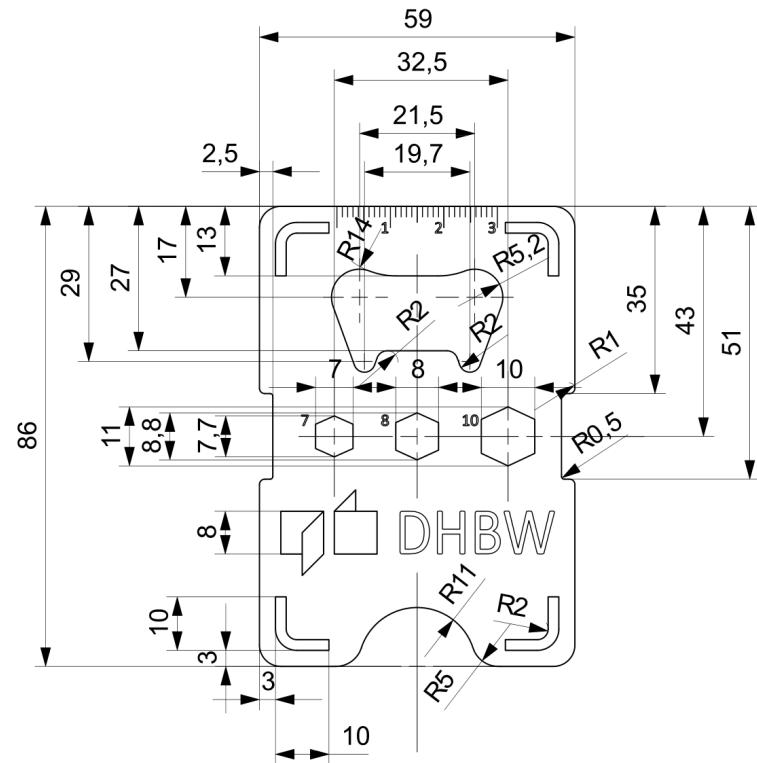


Alle nicht bemaßten Radien R4

Verantwortl. Abtg.	Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von	Material: PLA
	ISO 2768-mK	Christian Reile		
	Dokumentenart			Dokumentenstatus
Titel, Zusätzlicher Titel				
	Give-Away Magsafe			02_Unterseite_Magsafe
	Magsafe			
Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt	
A	29.04.2025			1 / 1

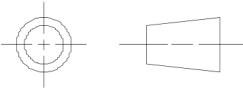


Maßstab 1 : 1

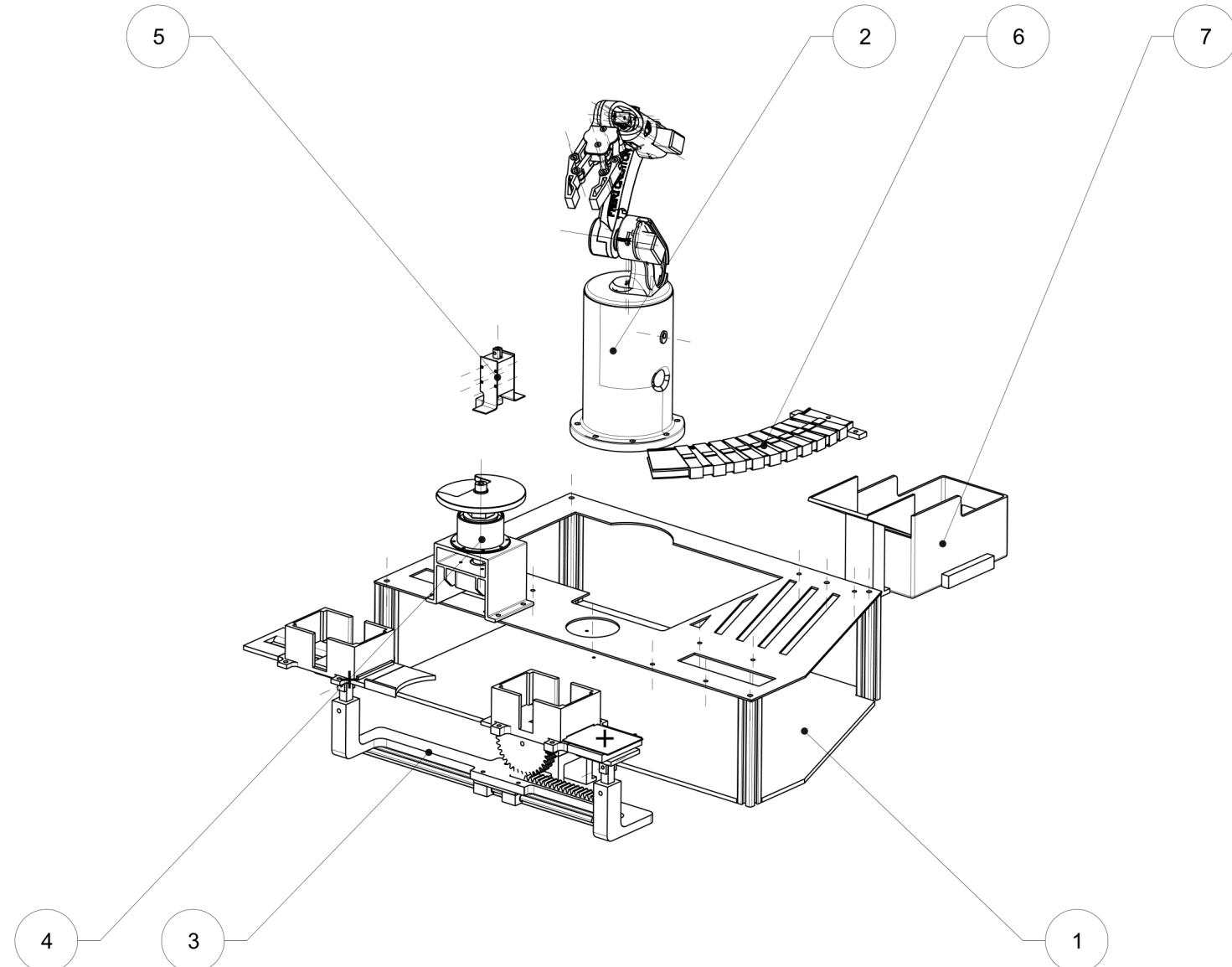


Alle nicht bemaßten Radien R4

Verantwortl. Abtlg.	Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von	Material: X6Cr17
	ISO 2768-mK	Christian Reile		
Dokumentenart		Dokumentenstatus		
Titel, Zusätzlicher Titel				
01_Oberseite_TOOL_99 (1)				
Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt	
A	14.04.2025			1 / 1



Maßstab 1:5



Verantwortl. Abtlg.	Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von	
	ISO 2768-mK	Christian Reile		
	DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg Heidenheim		Dokumentenart	Dokumentenstatus
Titel, Zusätzlicher Titel			00_Montagevorrichtung_Assembly	
Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt	1 / 1
A	10.06.2025			

Power Supply

Page Name: power-supply

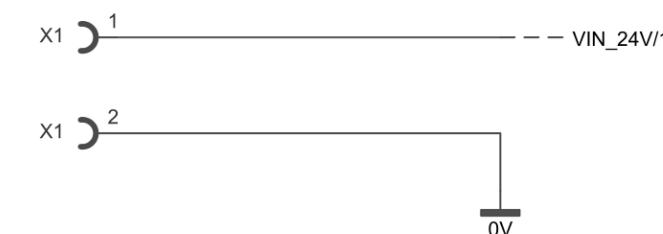
File Rev.: 428

Design Variant: <Master Design>

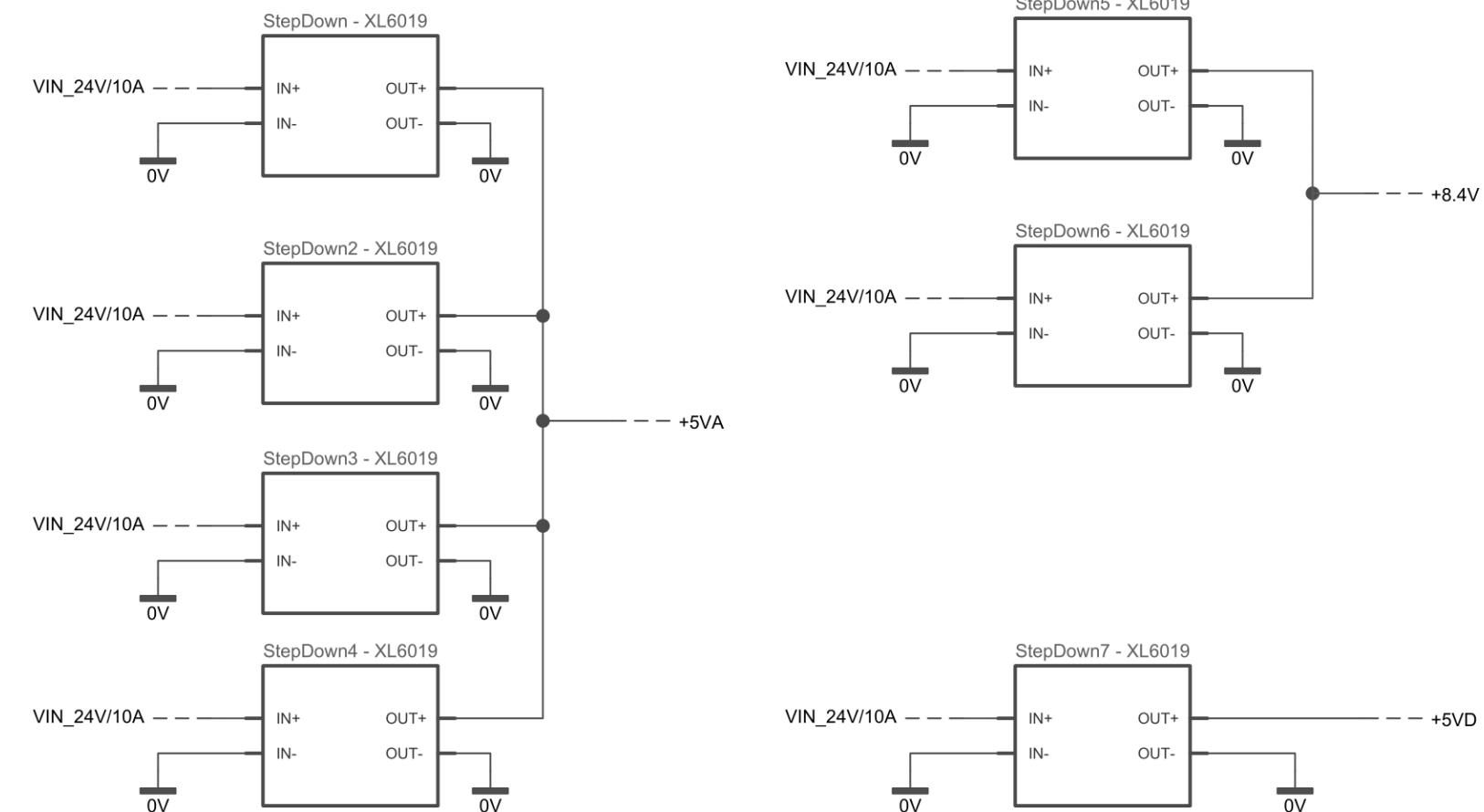
Confidential

Refer to protection notice ISO 16016 / Copyright reserved

In 24V 10A



Out +5VA, +5VD, +8.4V



Schaltnetzteil 100-240V AC to DC 24V/10A

CE Zertifiziert:
 -> überstrom abgesichert
 -> kurzschluss abgesichert
 -> überhitzung abgesichert

5VA für alle Motoren
 -> Spannung für Mikrocontroller zu schlecht
 aufgrund zu vielen Spannungsspitzen

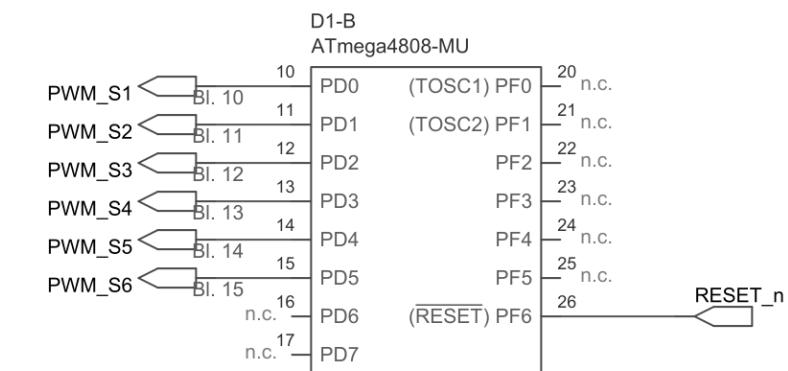
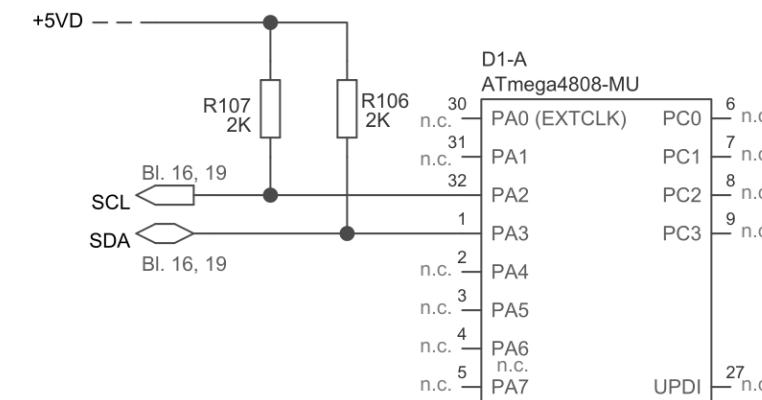
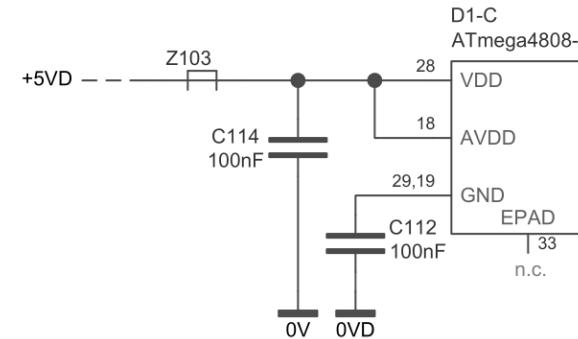
For components see electrical
 bill of material
 Adress-Nr.: DailyM8-main

F

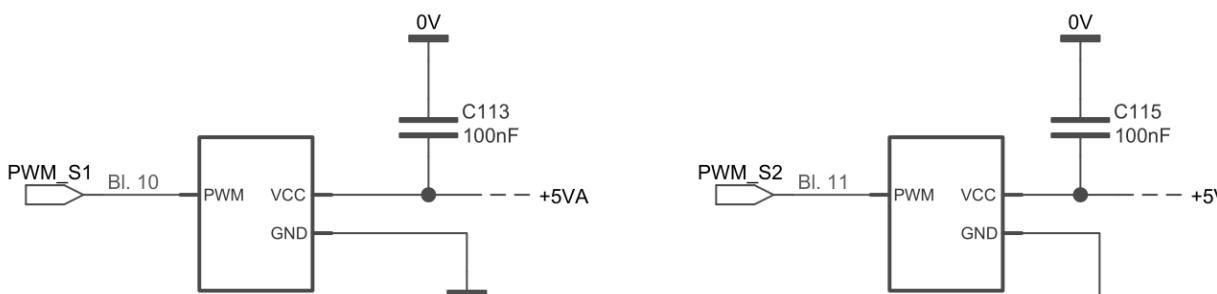
Drawn	11.06.2025	Marvin Bullinger	Changed	.	.	Description	DAILY-M8 - Projektgruppenarbeit	Labor./Off.	Type of supplementary document	Authorization Group			Size
Change number		First issue	Checked	.	.	Material number	P60 600 013	K60	Schematic				A3
ZEISS		Safety relevant No	Techn.	.	.	Project class, Component (level / counter / character)	G / . / E	Document no.		Doc. type	Doc. part	Version	Sh. 1 of 24
Released	PC base					001	01	
1	2	3	4	5	6	7	8						

Abblock Kondensator -> C112; C114
-> PWM Signale auf längere Leitungsstrecken
-> Problematik davor: Aussetzen von Arduinos bei der Ansteuerung von Servomotoren aufgrund von vielen Pegelwechseln

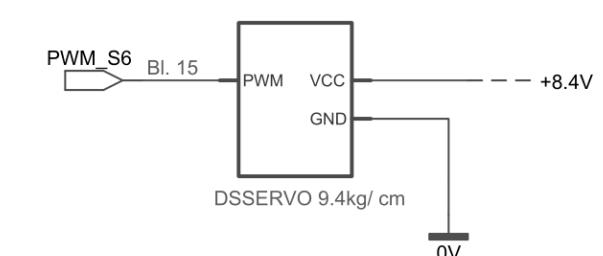
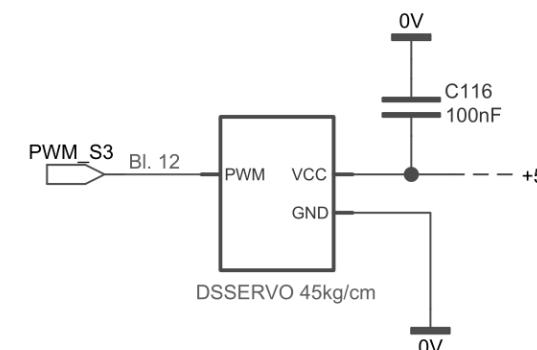
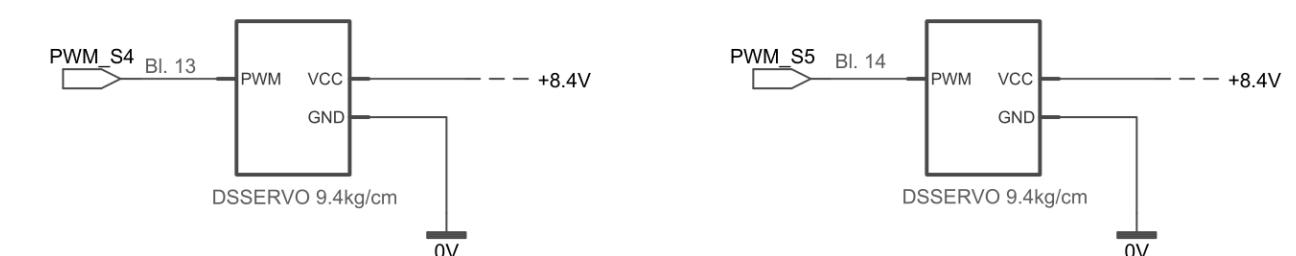
Robot-unit



45 kg/cm Servomotoren



9.4 kg/cm Servomotoren



Aus Datenblatt: $I_{max} = 3.5A$; $V_{in} = 6V$
 $P_{max} = 3.5A * 6V = 21W$

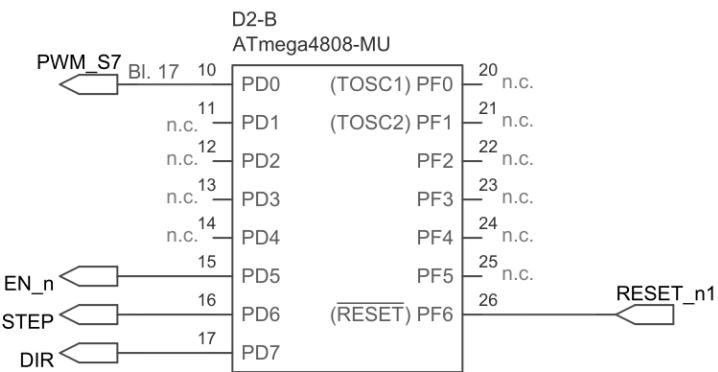
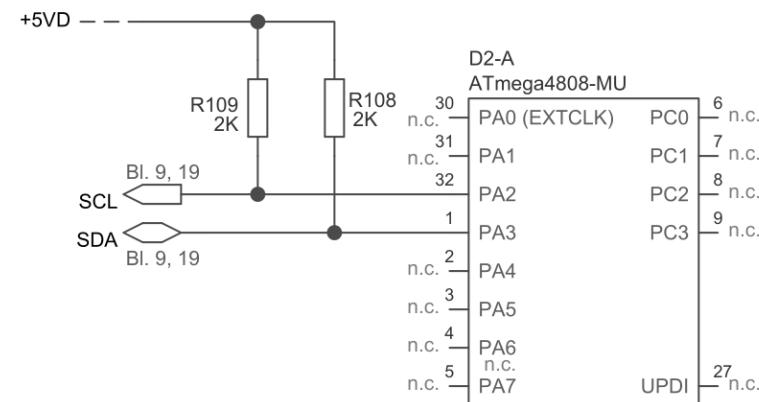
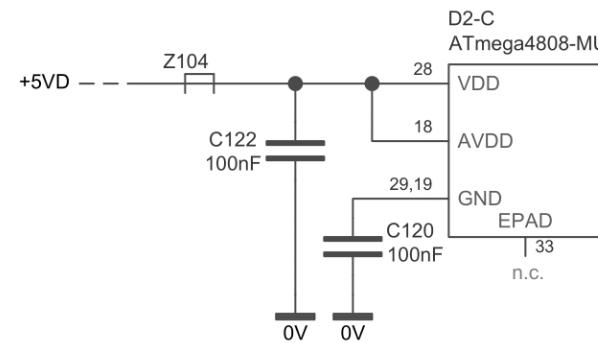
Aus Datenblatt: $I_{max} = 2A$; $V_{in} = 8.4V$
 $P_{max} = 2A * 8.4V = 16.8W$

For components see electrical bill of material
Adress-Nr.: DailyM8-main

Drawn	11.06.2025	Marvin Bullinger	Changed	.	.	Description	DAILY-M8 - Projektgruppenarbeit	Labor./Off.	Type of supplementary document	Authorization Group			Size
Change number		First issue	Checked	.	.	Material number		K60	Schematic				A3
ZEISS		Safety relevant No	Techn.	.	.	Project class, Component (level / counter / character)		G / . / E		Document no.	Doc. type	Doc. part	Version
			Safety	.	.	P60 600 013						001	01
			Released	.	.	PC base						Sh. 9 of 24	

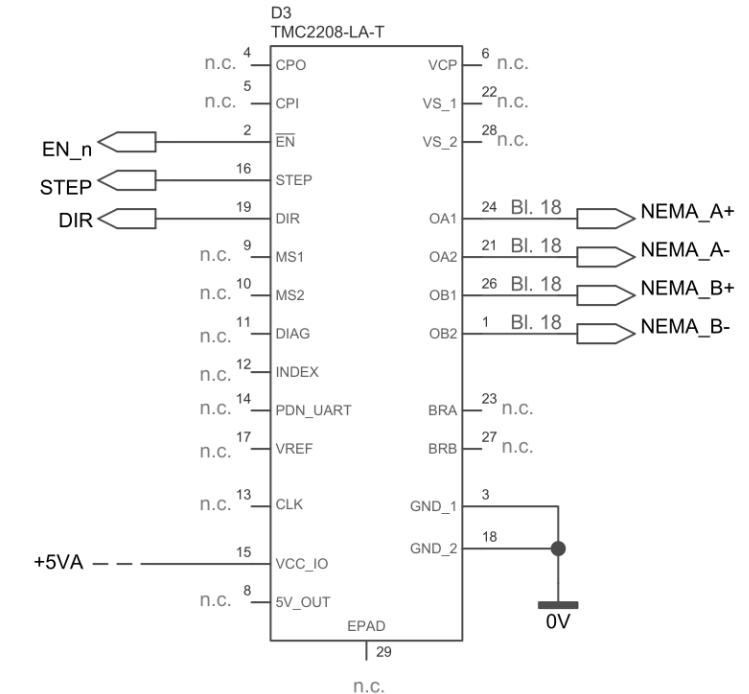
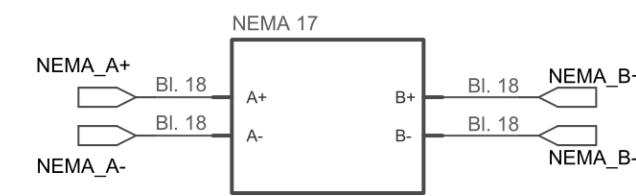
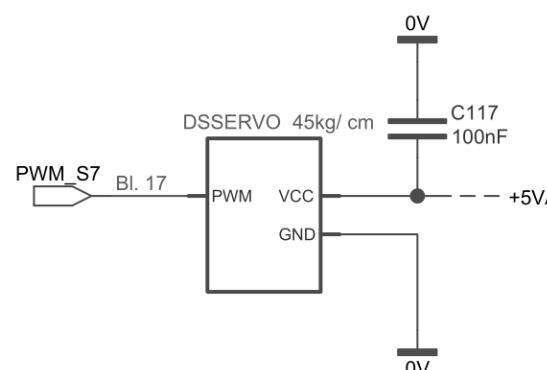
Abblock Kondensator -> C122; C120
-> PWM Signale auf längere Leitungsstrecken
-> Problematik davor: Aussetzen von Arduinos bei der Ansteuerung von Servomotoren aufgrund von vielen Pegelwechseln

Turntable-unit



Stepper & Treiber

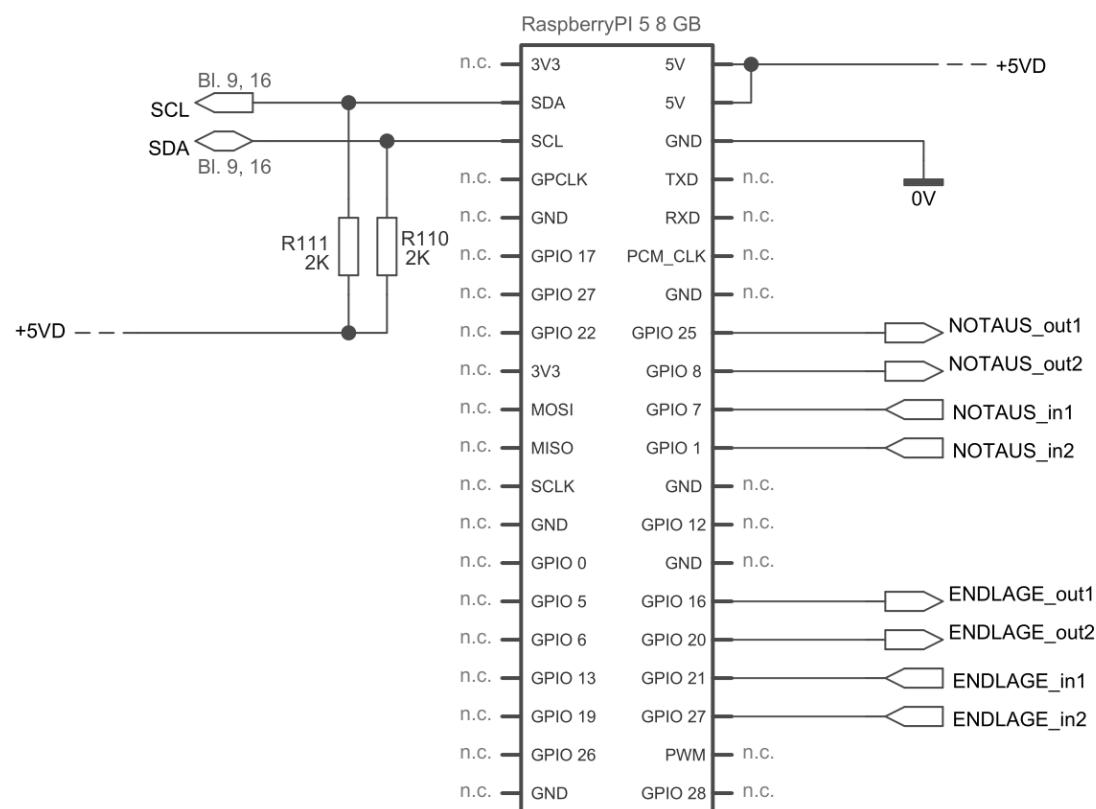
45 kg/cm Servomotor



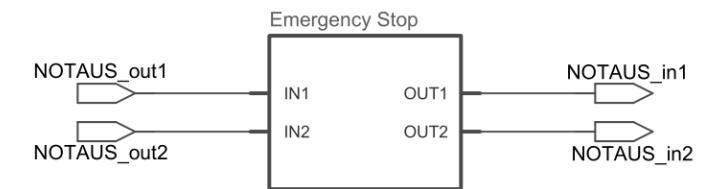
For components see electrical
bill of material
Adress-Nr.: DailyM8-main

Drawn	11.06.2025	Marvin Bullinger	Changed	.	.	Description	DAILY-M8 - Projektgruppenarbeit	Labor./Off.	Type of supplementary document	Authorization Group			Size	
Change number		First issue	Checked	.	.	Material number	P60 600 013	K60	Schematic				A3	
ZEISS		Safety relevant No	Techn.	.	.	Project class, Component (level / counter / character)			Document no.			Doc. type	Doc. part	Version
			Safety	.	.	G / . / E						Sh. 16		
			Released	.	.	PC base						of 24	001 01	

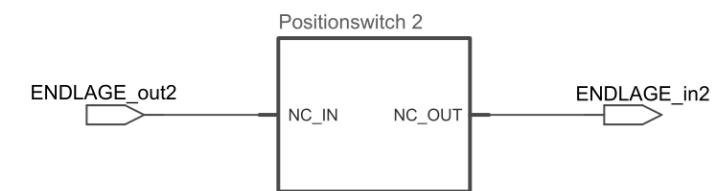
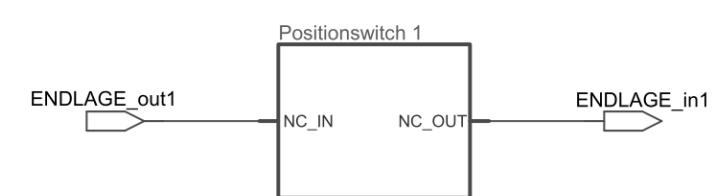
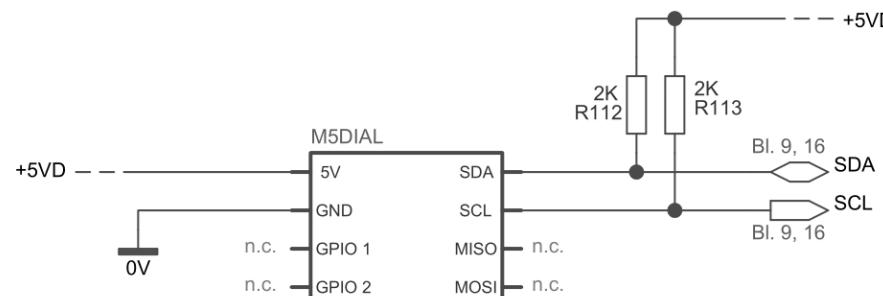
Raspberry Pi



Security



Smart Knob



For components see electrical
bill of material
Adress-Nr.: DailyM8-main

Drawn	11.06.2025	Marvin Bullinger	Changed	.	.	Description	DAILY-M8 - Projektgruppenarbeit	Labor./Off.	Type of supplementary document	Authorization Group			Size
Change number		First issue	Checked	.	.	Material number		K60	Schematic				A3
ZEISS		Safety relevant No	Techn.	.	.	Project class, Component (level / counter / character)	P60 600 013	G /	/ E	Document no.	Doc. type	Doc. part	Version
Released	.	.	Safety	.	.	PC base						001	01
Sh. of	19	24											

Anhang E Raspberry Pi Code

```
#!/usr/bin/env python3

import smbus
import time
import RPi.GPIO as GPIO
import threading

# I2C-Adressen
TURNTABLE_ADDR = 0x09
ROBO_ADDR = 0x08
M5DIAL_ADDR = 0x10

# Befehle an Roboter/Drehteller
TURN_MOVE_ASM = 30
TURN_MOVE SND = 40
ROBO_MOVE_A = 10
CMD_CONTINUE = 98
CMD_STOP = 99
CMD_CAL = 90

# Signale vom M5Dial
DIAL_START = 1
DIAL_STOP = 2
DIAL_CONTINUE = 3 # Antwort vom M5Dial (z. B. für "weiter")

# Status-Rückmeldungen
DONE_1 = 105
DONE_2 = 115
DONE_3 = 125

# GPIO
NOTAUS_PIN = 17
bus = smbus.SMBus(1)
```

```

# Steuer-Flags
pause_flag = threading.Event()
start_flag = threading.Event()
bus_lock = threading.Lock()

def init_gpio():
    GPIO.setmode(GPIO.BCM)
    GPIO.setup(NOTAUS_PIN, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)

def is_notaus_active():
    return GPIO.input(NOTAUS_PIN) == GPIO.HIGH

def send_command(addr, cmd, name):
    with bus_lock:
        print(f"[{name}] → Sende Befehl {cmd} an {hex(addr)}")
        try:
            bus.write_byte(addr, cmd)
        except Exception as e:
            print(f"[{name}] Fehler beim Senden: {e}")

def wait_for_idle(addr, idle_value, name):
    print(f"[{name}] Warte auf Status {idle_value} von {hex(addr)}...")
    while True:
        if pause_flag.is_set():
            print(f"[{name}] → Pause erkannt – warte...")
            time.sleep(1)
            continue
        try:
            with bus_lock:
                status = bus.read_byte(addr)
                print(f"[{name}] Status: {status}")
                if status == idle_value:
                    print(f"[{name}] abgeschlossen.")
                    return
        except Exception as e:
            print(f"[{name}] Fehler beim Lesen: {e}")

```

```

time.sleep(0.5)

def monitor_m5dial():
    while True:
        try:
            with bus_lock:
                status = bus.read_byte(M5DIAL_ADDR)

            if status == DIAL_STOP and not pause_flag.is_set():
                print("[M5Dial] NOT-AUS erkannt – pausiere System")
                pause_flag.set()
                send_command(ROBO_ADDR, CMD_STOP, "Roboter")
                send_command(TURNTABLE_ADDR, CMD_STOP, "Drehteller")
                send_command(M5DIAL_ADDR, CMD_CONTINUE, "M5Dial (zeige Quittierung)") # 98 = zeige Popup

            elif status == DIAL_CONTINUE and pause_flag.is_set():
                print("[M5Dial] Quittierung erkannt – sende CONTINUE an Geräte")
                pause_flag.clear()
                send_command(ROBO_ADDR, CMD_CONTINUE, "Roboter")
                send_command(TURNTABLE_ADDR, CMD_CONTINUE, "Drehteller")

            elif status == DIAL_START and not start_flag.is_set():
                print("[M5Dial] START erkannt – Ablauf starten")
                start_flag.set()

        except Exception as e:
            print("[M5Dial] Fehler:", e)

        time.sleep(0.5)

def monitor_console():
    while True:
        cmd = input(">> ").strip().lower()
        if cmd == "stop":
            print("[Console] STOP erkannt")
            pause_flag.set()

```

```

    send_command(ROBO_ADDR, CMD_STOP, "Roboter")
    send_command(TURNTABLE_ADDR, CMD_STOP, "Drehteller")

elif cmd == "cont":
    print("[Console] CONTINUE erkannt")
    pause_flag.clear()
    send_command(ROBO_ADDR, CMD_CONTINUE, "Roboter")
    send_command(TURNTABLE_ADDR, CMD_CONTINUE, "Drehteller")

elif cmd == "cal":
    print("[Console] KALIBRIERUNG")
    send_command(ROBO_ADDR, CMD_CAL, "Roboter")
    send_command(TURNTABLE_ADDR, CMD_CAL, "Drehteller")

else:
    print("[Console] Unbekannter Befehl:", cmd)

def main():
    print("[Init] Sende CONTINUE und führe Kalibrierung durch")
    send_command(ROBO_ADDR, CMD_CONTINUE, "Roboter")
    send_command(TURNTABLE_ADDR, CMD_CONTINUE, "Drehteller")
    time.sleep(1)
    send_command(ROBO_ADDR, CMD_CAL, "Roboter")
    send_command(TURNTABLE_ADDR, CMD_CAL, "Drehteller")
    time.sleep(3)
    send_command(ROBO_ADDR, 20, "Roboter")

    # Hintergrundthreads starten
    threading.Thread(target=monitor_m5dial, daemon=True).start()
    threading.Thread(target=monitor_console, daemon=True).start()

    print("[System] Warte auf Startsignal vom M5Dial...")

while True:
    try:
        if start_flag.is_set() and not pause_flag.is_set():
            print("[System] Ablauf beginnt...")
            start_flag.clear()

```

```
for stueck in range(1, 11):
    if pause_flag.is_set(): break

    print(f"[System] Bearbeite Stück {stueck}")

    send_command(TURNTABLE_ADDR, TURN_MOVE_ASM, "Drehsteller ASM")
    wait_for_idle(TURNTABLE_ADDR, DONE_1, "Drehsteller ASM")

    send_command(ROBO_ADDR, ROBO_MOVE_A + (stueck - 1), "Roboter MOVE_A")
    wait_for_idle(ROBO_ADDR, DONE_2, "Roboter MOVE_A")

    send_command(TURNTABLE_ADDR, TURN_MOVE SND, "Drehsteller SND")
    wait_for_idle(TURNTABLE_ADDR, DONE_3, "Drehsteller SND")

print("[System] Ablauf abgeschlossen.")

except KeyboardInterrupt:
    print("[System] Beendet durch Nutzer.")
    break

except Exception as e:
    print("[System] Fehler:", e)

time.sleep(0.5)

GPIO.cleanup()

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Anhang F

Kostenkalkulation			
Bauteilname	Betrag (Eigenfinanzierung)	Betrag (Sponsoring)	Einheit
1. Werbegeschenk			
a) Toolingseite			
Wasserstrahlschneidanlage	100,00		€
b) Magnetseite			
Magnete	6,30		€
c) Gummizug			
Gummiband	12,00		€
3D-Druck Filament	21,00		€
Zwischensumme	139,30	0,00	€
2. Elektronik			
Arduino	15,00	15,00	€
Hauptschalter	3,00		€
Netzteil	17,99		€
Not-Halt Schalter	8,99		€
Servomotoren	222,00		€
Schrittmotor (Drehvorrichtung)	12,20		€
Motortreiber	3,50	3,50	€
Lichtschranken	4,00	4,00	€
Schrittmotor (Lineareinheit)	10,80		€
Positionssensoren	10,00		€
Spannungswandler	15,00		€
Smart-Knob	50,00		€
Hubmagnet (Solenoid)	21,90		€
Kabel & Platinen & Lötzin	30,79		€
RaspberryPI	80,00		€
LED Streifen	20,00		€
Logic Converter	10,00		€
Jumper Wire & Lötbrücken	25,00		€
Zwischensumme	560,17	22,50	€
3. Mechanik			
Alu-Profile 20x20		8,00	€
Nutenstein / Befestigungsmaterial		10,00	€
Grundplatte (2,5mm)		30,00	€
Magazinplatte (2mm)		25,00	€
Griffe		10,00	€
Plexiglasscheiben		60,13	€
Holz		17,45	€
Linearführungen		13,99	€
Schlitten		27,67	€
Wälzlager	12,96		€
Welle	10,00		€
Schrauben, Winkel	20,00		€
Muttern M22	7,57		€
3D-Druck		203,88	€
Zwischensumme	50,53	406,12	€
Gesamtssumme	750,00	428,62	€
Offenes Budget	0,00		€
Gesamtkosten Anlage		1178,62	€

Zuschlagskalkulation für die Anlage					
Kostenkategorie	Hinweise	Zuschlagssatz	Betrag		
Materialeinzelkosten	Betrag von Kostenkalkulation Werbegeschenk		1.178,62 €		
Materialgemeinkosten		15,00%	176,79 €		
Materialkosten				1.355,41 €	
Fertigungslöhne	Zusammenbau der Anlage	6 Gruppenmitglieder; Summe an geleisteten Studen = 350h (13,00€/h)	4.550,00 €		
Restfertigunggemeinkosten		50,00%	2.275,00 €		
Maschinenkosten	3D-Druck; Wasserstrahl- schneidanlage		100,00 €		
Sondereinzelkosten	Entwicklung	6 Gruppenmitglieder; Summe an geleisteten Studen = 600h (13,00€/h)	7.800,00 €		
Fertigungskosten				14.725,00 €	
Herstellkosten					16.080,41 €
Verwaltungsgemeinkosten	Sofware, Buchhaltung	5,00%	804,02 €		
Vertriebsgemeinkosten	Marketing, Vertrieb	5,00%	804,02 €		
Verw-, Vertr-Kosten					1.608,04 €
Selbstkosten					17.688,45 €
Gewinnzuschlag	von Hundert	10,00%		1.768,85 €	
Nettobarverkaufspreis					19.457,30 €
Skonto	im Hundert	3,00%		601,77 €	
Bruttoparverkaufspreis					20.059,07 €
Rabatt	im Hundert	5,00%		1.055,74 €	
Zielverkaufspreis					21.114,81 €
MwSt.	von Hundert	19,00%		4.011,81 €	
GESAMTPREIS BRUTTO					25.126,63 €

Zuschlagskalkulation für die Anlage					
Kostenkategorie	Hinweise	Zuschlagssatz	Betrag		
Materialeinzelkosten	Betrag von Kostenkalkulation Werbegeschenk		1.178,62 €		
Materialgemeinkosten		15,00%	176,79 €		
Materialkosten				1.355,41 €	
Fertigungslöhne	Zusammenbau der Anlage	6 Gruppenmitglieder; Summe an geleisteten Studen = 350h (80€/h)	28.000,00 €		
Restfertigunggemeinkosten		50,00%	14.000,00 €		
Maschinenkosten	3D-Druck; Wasserstrahl- schneidanlage		100,00 €		
Sondereinzelkosten	Entwicklung	6 Gruppenmitglieder; Summe an geleisteten Studen = 600h (80€/h)	48.000,00 €		
Fertigungskosten				90.100,00 €	
Herstellkosten					91.455,41 €
Verwaltungsgemeinkosten	Sofware, Buchhaltung	5,00%	4.572,77 €		
Vertriebsgemeinkosten	Marketing, Vertrieb	5,00%	4.572,77 €		
Verw-, Vertr-Kosten					9.145,54 €
Selbstkosten					100.600,95 €
Gewinnzuschlag	von Hundert	10,00%		10.060,10 €	
Nettobarverkaufspreis					110.661,05 €
Skonto	im Hundert	3,00%		3.422,51 €	
Bruttoberverkaufspreis					114.083,56 €
Rabatt	im Hundert	5,00%		6.004,40 €	
Zielverkaufspreis					120.087,95 €
MwSt.	von Hundert	19,00%		22.816,71 €	
GESAMTPREIS BRUTTO					142.904,67 €

Variable Kosten Werbegeschenk pro Teil								
Bauteilname / Kostenpunkt	Stundensatz (Maschine/ Personal)	Materialkosten	Maße	Zeit	Masse	Länge	Anzahl	Preis
Einheit	[€/h]		[m ²]	[h]	[kg]	[m]	[Stck]	[€]
1. Toolingseite								
Materialkosten - Blech		10,54 [€/m ²]		0,006				0,06 €
Wasserstrahlschneidanlage								4,00 €
Sandstrahlanlage / Entgraten	40			0,04				1,60 €
Laseranalge	40			0,04				1,60 €
2. Magnetseite								
Materialkosten - Filament		13 [€/kg]			0,02			0,26 €
3D-Druck	0,5			0,5				0,25 €
Materialkosten - Magnete		0,004 [€/Stck.]				30		0,12 €
3. Gummizug inkl. Verschluss								
Materialkosten - Gummiband		1,5 [€/m]			0,01			0,02 €
Materialkosten - Verschluss		13 [€/kg]			0,004			0,05 €
3D-Druck Verschluss	0,5			0,2				0,10 €
Löten	50			0,01				0,50 €
							Summe	8,56 €

Anhang F 4: Variable Kosten Werbegeschenk 10 Teile

Variable Kosten Werbegeschenk pro Teil (10.000 Werbegeschenk)								
Bauteilname / Kostenpunkt	Stundensatz (Maschine/Personal)	Materialkosten	Maße	Zeit	Masse	Länge	Anzahl	Preis
Einheit	[€/h]		[m ²]	[h]	[kg]	[m]	[Stck]	[€]
1. Toolingseite								
Materialkosten - Blech		8,50 [€/m ²]	0,006					0,05 €
Wasserstrahlschneidanlage								1,00 €
Sandstrahlanlage / Entgraten	20			0,04				0,80 €
Laseranalge	20			0,04				0,80 €
2. Magnetseite								
Materialkosten - Filament		13 [€/kg]			0,02			0,26 €
3D-Druck	0,5			0,5				0,25 €
Materialkosten - Magnete		0,004 [€/Stck.]				30		0,12 €
3. Gummizug inkl. Verschluss								
Materialkosten - Gummiband		1,5 [€/m]				0,01		0,02 €
Materialkosten - Verschluss		13 [€/kg]			0,004			0,05 €
3D-Druck Verschluss	0,5			0,2				0,10 €
Löten	50			0,01				0,50 €
							Summe	3,95 €

Anhang F 5: Variable Kosten Werbegeschenk 10.000 Teile

Zuschlagskalkulation Werbegeschenk				
Kostenkategorie	Posten	Zuschlagssatz	Betrag	
Materialeinzelkosten	Materialkosten - Blech		0,05 €	
	Materialkosten - Filament		0,31 €	
	Materialkosten - Gummiband		0,02 €	
	Materialkosten - Magnete		0,12 €	
Materialgemeinkosten		15,00%	0,07 €	
Materialkosten			0,57 €	
Fertigungslöhne (variabel)	Wasserschneidanlage		1,00 €	
	Sandstrahlanlage		0,80 €	
	Laseranlage		0,80 €	
	3D-Druck		0,35 €	
	Löten		0,50 €	
Restfertigunggemeinkosten		50,00%	1,73 €	
Maschinenkosten (fix)			25.126,63 €	
Fertigungskosten			25.131,80 €	
Herstellkosten pro Stück				25.132,37 €
Verwaltungsgemeinkosten		5,00%	1.256,62 €	
Vertriebsgemeinkosten		5,00%	1.256,62 €	
Verw-, Vertr-Kosten				2.513,24 €
Selbstkosten				27.645,61 €
Gewinnzuschlag		10,00%	2.764,56 €	
Nettobarverkaufspreis				30.410,17 €
Skonto		3,00%	940,52 €	
Bruttobarverkaufspreis				31.350,69 €
Rabatt		5,00%	1.650,04 €	
Zielverkaufspreis				33.000,73 €
MwSt.		19,00%	6.270,14 €	
GESAMTPREIS BRUTTO				39.270,87 €