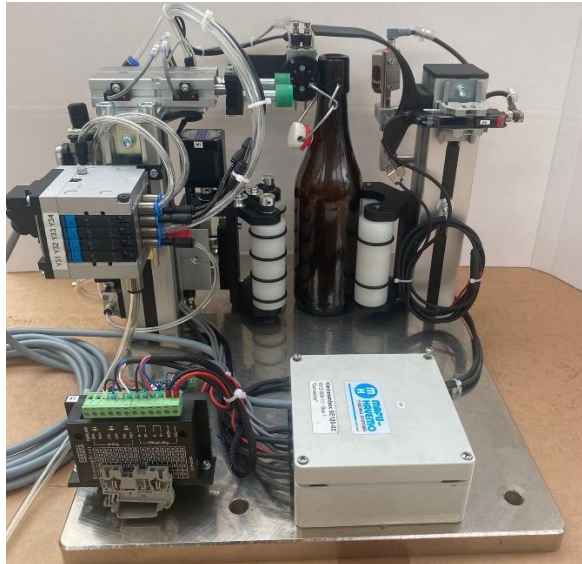




Diplomarbeit

Bügelflaschenverschliessmaschine



Schule: TEKO Schweizerische Fachschule Basel

Klasse: S-TEL22-Mo-z

Diplomlehrer: Lukas Kurmann

Studiengang: Dipl. Elektrotechniker/in HF

Abgabedatum: 29.09.2025

Verfasser:

Nico Kumli
nico.kumli@edu.teko.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Abgrenzung und Umfang der Arbeit	7
2.1	Muss-Kriterien.....	7
2.2	Wunschkriterien	8
2.3	Abgrenzung Nicht-Ziele	9
3	Ausgangslage	9
3.1	Ist-Zustand	9
3.2	Umfeld	10
4	Projektinitialisierung und Planung	11
4.1	Kunden und Stakeholderanalyse	11
4.2	Projektstrukturplan	12
4.3	Zeitplanung GANTT-Diagramm	13
4.4	SWOT-Analyse	18
5	Marktanalyse	21
6	Herausforderungen und Lösungen	22
6.1	Nutzwertanalyse	24
7	Planung und Konzept	25
7.1	Hardwareentwicklung.....	25
7.1.1	Mechanik	25
7.1.2	Vorspannen der Flasche	25
7.1.3	Positionieren der Flasche durch Rotation.....	25
7.1.4	Spannen des Unterbügels.....	25
7.1.5	Aufsetzen des Deckels.....	26
7.1.6	Verschliessen der Flasche	26
7.1.7	Gesamtablauf	26

7.2	Hardware-Schrittmotor	27
8	Software-Entwicklung	28
8.1	SPS-Software	28
8.2	Schrittmotor Software	32
9	Bau und Test des Prototypen	34
9.1	Aufbau	34
9.2	Sensorik	35
9.3	Test und Abnahme	37
10	Herausforderungen und Massnahmen	37
11	Auswertung und Zielerreichung	40
12	Reflexion	42
12.1	Reflexion zur Arbeit	42
12.2	Persönliche Reflexion	42
13	Eigenständigkeitserklärung	43
14	Disclaimer	43
15	Abbildungsverzeichnis	44
16	Tabellenverzeichnis	44
17	Literaturverzeichnis	45
18	Glossar	46
19	Schlusswort	46
20	Danksagung	47
21	Anhang	48

I. Management Summary

Die Brauerei «Unser Bier» steht vor der Herausforderung, Bügelflaschen effizient zu verschliessen. Bisher erfolgt dieser Arbeitsschritt manuell und bindet dadurch erhebliche personelle Ressourcen ein. Hinzu kommt, dass aufgrund beengter Platzverhältnisse keine industriell verfügbare Maschine integriert werden kann.

Ziel dieser Arbeit war es, die Machbarkeit einer kompakten und kostengünstigen Maschine zum automatisierten Verschliessen von Bügelflaschen zu prüfen. Im Vordergrund stand die Entwicklung eines funktionsfähigen Prototyps, der den Prozess vollständig automatisiert abbildet und als Proof of Concept dient.

Das Projekt umfasste die Analyse der Ausgangslage, die Definition von Muss- und Wunschkriterien, die Erarbeitung und Bewertung mehrerer Lösungsansätze sowie die Umsetzung des gewählten Konzepts in Form eines Prototyps. Dabei wurden Mechanik, Pneumatik, Sensorik, SPS-Programmierung und Mikrocontrollertechnik miteinander kombiniert.

Die Ergebnisse zeigen, dass es technisch möglich ist, den Verschliessprozess mit einem Low-Cost-Ansatz zu automatisieren. Der entwickelte Prototyp konnte die Kernfunktionen zuverlässig demonstrieren. Einschränkungen bestehen noch in Bezug auf Leistung und Robustheit, die für einen industriellen Einsatz weiterentwickelt werden müssten.

Damit liefert diese Arbeit die Grundlage für eine zukünftige Optimierung und mögliche Integration einer kompakten Automatisierungslösung in den Produktionsprozess.

II. Beruflicher Werdegang

Meine Ausbildung durfte ich als Automatikmonteur bei der SBB absolvieren. Dort lernte ich vieles über Wartung, Störungssuche und dessen Behebung. Durch regelmässiges Wechseln des Teams konnte ich viele Einblicke gewinnen und verfügte so über ein breites Wissen über die Fahrzeugflotte.

Nach meiner Ausbildung entschied ich mich, noch einige Jahre im Bahnsektor zu bleiben umso mein gelerntes Wissen anwenden und vertiefen zu können.

Seit 2024 arbeite ich bei der Firma MAFU Havemo in Liestal. Letztere hat sich auf Zuführsysteme für Klein- und Kleinstteile spezialisiert.

MAFU Havemo zeichnet sich ebenfalls über die Reproduzierbarkeit ihrer Maschinen aus.. Jede gebaute Anlage wird genaustens dokumentiert und kann so jederzeit reproduziert werden. Eine weitere Spezialität sind die Fördertöpfe, welche gefräst werden. So ist auch hier eine exakte Reproduzierung möglich.

Ich bin für das Projektgeschäft zuständig. Meine Aufgaben liegen darin, die Anlagen aufzubauen, zu verdrahten und SPS-Teststeuerungen zu programmieren. So kann gewährleistet werden, dass jede Anlage den Dauerbetrieb standhält und die geforderte Anzahl Teile pro Minute erfüllt wird.

Um mich beruflich weiterzuentwickeln entschied ich mich für eine Weiterbildung als Elektrotechniker HF der TEKO. Mein Ziel ist es, in der Praxis erlerntes Wissen mit theoretischen Grundlagen verknüpfen zu können sowie neues Wissen anzueignen.

III. Qualifikationsprofil

Arbeitsprozesse und fachliche Kompetenzen

Im Verlauf der Weiterbildung war das Entwickeln von Programmen immer wieder ein grosser Bestandteil. Vorwiegend in der Programmiersprache C++ konnte ich einige Fortschritte machen, da ich zuvor schon Erfahrung damit hatte. Nun habe ich ein besseres Verständnis über die einzelnen Funktionen und weiss wie ich sie gezielt einsetzen kann, um das beste Ergebnis zu erzielen.

Prozess 13: Anlagen projektieren

Die Planung und Umsetzung von technischen Anlagen gehörten während der Weiterbildung zu den zentralen Themen. Besonders beim Projektieren eines Ersatz-Frequenzumrichters für eine Klimaanlage konnte ich mein Wissen praktisch anwenden. Von der Auswahl eines geeigneten Geräts bis zur Integration in das bestehende System habe ich alle Schritte selbstständig ausgeführt. Dadurch habe ich ein tieferes Verständnis für die Anforderungen an elektrische Anlagen entwickelt und kann Projektierungen künftig effizienter umsetzen.

Prozess 14: In Betrieb setzen

Nach erfolgreichem Aufbau einer Sortier- und Zuführstation nehme ich diese in Betrieb. Ich prüfe alle Funktionen und justiere gegebenenfalls Steuergeräte und Sensoren. Bei Abnahme wird ein Abnahmeprotokoll mit dem Kunden ausgefüllt. Dabei werden nochmals alle Funktionen geprüft.

Prozess 15: Elektrotechnische Anlagen unterhalten

Als Servicetechniker war es meine Aufgabe, elektrotechnische Anlagen in Reisezug- und Güterwagen zu unterhalten. Das Handlungsfeld war demnach breit gefächert, wodurch ich Arbeiten

wie das Einstellen und Warten von Türsteuerungen sowie auch Störungsbehebungen durchführen durfte.

Prozess 16: Testeinrichtungen konzipieren und herstellen

In meiner jetzigen Anstellung ist meine Hauptaufgabe, Teststeuerungen für Zuführstationen zu programmieren. Ich bekomme jeweils die Anforderungen, welche die Anlage erfüllen muss und programmiere daraus eine passende Teststeuerung. Bei Abnahme mit dem Kunden wird die Anlage in Betrieb genommen und Punkte wie z.B die Leistung der Anlage (Teile pro Minute) geprüft. Es liegt also in meiner Verantwortung, eine möglichst effiziente Teststeuerung zu programmieren, um dem Kunden das Potenzial seiner neuen Anlage demonstrieren zu können.

Führungs-, soziale und kommunikative Kompetenzen

Prozess 1: Menschen führen

Im Betrieb war ich für die Einarbeitung neuer Mitarbeitender verantwortlich. Es war in meiner Verantwortung, Aufgaben an sie zu delegieren und vorher abzuschätzen, ob diese in der Lage sind, den Auftrag sachgemäss auszuführen. Durch eine Nachkontrolle meinerseits wurden Verbesserungspunkte angebracht und wir diskutierten über Verbesserungsmöglichkeiten.

Prozess 10: Sich persönlich weiterentwickeln

Ich habe mich sowohl fachlich als auch persönlich weiterentwickelt.

Im fachlichen Bereich gab es immer wieder neue Herausforderungen wie eine neue Fahrzeugflotte. Ich lernte neue Dinge sehr schnell und war daran interessiert, Neues zu lernen.

Im persönlichen Bereich gab es auch einige neue Herausforderungen, wie das Einlernen neuer Mitarbeitender wie in Prozess 1 beschrieben.

Prozess 2: Entscheidungen fällen

Im Bereich meiner Anstellung als Servicetechniker für Reisezugwagen musste ich oft wichtige Entscheidungen fällen, welche mehrere Aspekte wie Betriebssicherheit, das Wohl der Fahrgäste und Verfügbarkeit von Ressourcen betrug. Besonders wichtig war die Betriebssicherheit, welche ich selbst beurteilen musste. Diese Entscheidung lag meist bei mir, da ich oft allein unterwegs war. In diesem Bereich eine falsche Entscheidung zu treffen, hätte fatale Folgen haben können wie beispielsweise Verspätungen, Radbrüchen oder gar Entgleisungen..

Prozess 8: Umfeld berücksichtigen

Es gab immer wieder Situationen, bei denen ich Verbesserungen vornahm. Sei es Zeiteinsparungen oder Prozessoptimierungen durch eine Umgestaltung oder Bau von Spezialwerkzeugen. Dies brachte einen erheblichen Mehrwert für mich und meine Arbeitskollegen.

Prozess 9: Probleme analysieren und lösen

Die Störungssuche und deren Behebung gehörten zu meinen Hauptaufgaben als Servicetechniker für Schienenfahrzeuge. Oft gab es nur begrenzte Dokumentationen zu Fahrzeugen, weshalb man oft kreativ werden musste. Auch die Arbeitsmittel und Ersatzteile waren oft begrenzt. Ich musste also immer versuchen, aus den gegebenen Ressourcen in möglichst kurzer Zeit eine passende Lösung zu finden.

1 Einleitung

Im Rahmen der Diplomarbeit ist das Ziel, das Erlernte in die Praxis umzusetzen und dabei so viele Fächer wie möglich zu kombinieren. Da ich gerne tüftle und mich neuen Herausforderungen stelle, war für mich klar, dass ich ein Gerät bauen möchte. Ebenfalls ist es mir ein Anliegen, mit meiner Diplomarbeit etwas zu schaffen, was ein reales Problem löst.

Lukas Kurmann stellte mehrere Themenvorschläge für Diplomarbeiten vor. Besonders angesprochen hat mich die Idee, eine Maschine zum automatisierten Verschliessen von Bügelflaschen für die Brauerei «Unser Bier» in Basel zu entwickeln.

Diese Aufgabenstellung vereint praktische Erfahrung mit technischem Anspruch und bietet die Möglichkeit, mein Wissen in Mechanik, Steuerungstechnik und Automatisierung gezielt anzuwenden.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Geräts bzw. einer Maschine, die den Verschluss von Bügelflaschen vollständig automatisiert. Derzeit wird dieser Arbeitsschritt manuell ausgeführt, was mit einem hohen Kraftaufwand verbunden ist und an personelle Ressourcen bindet. Die entwickelte Lösung soll diesen Prozess künftig autonom übernehmen und dabei die Grundlage für eine mögliche industrielle Umsetzung bilden.

2 Abgrenzung und Umfang der Arbeit

Die Abgrenzung des Projekts liegt in der Realisierung eines funktionsfähigen Prototyps, der die Machbarkeit und Effizienz der angestrebten Lösung nachweist. Ziel ist es, den Übergang von einer blossen Idee zu einem technisch umsetzbaren Konzept aufzuzeigen. Der entwickelte Versuchsaufbau dient somit als technischer Nachweis (Proof of Concept) für die Möglichkeit einer späteren industriellen Umsetzung.

Nicht Bestandteil dieses Projekts ist:

- die vollständige Integration des Systems in die bestehende Produktionslinie,
- die Verwendung lebensmittelechter oder industriell zertifizierter Materialien,
- die Umsetzung umfassender Sicherheitsvorkehrungen gemäss Maschinenrichtlinie,
- sowie eine CE-Konformitätsprüfung oder Serienreife des Endprodukts.

Der Fokus liegt klar auf der technischen Funktionsfähigkeit im Labormassstab – nicht auf industrieller Verwendbarkeit oder Wirtschaftlichkeitsanalyse.

Zielbestimmung

2.1 Muss-Kriterien

Für die erfolgreiche Umsetzung des Projekts müssen folgende grundlegende Anforderungen erfüllt sein. Diese definieren die Minimalziele, die im Rahmen des Proof of Concept zwingend erreicht werden müssen:

Autonomer Verschliessprozess:

Der Prototyp muss in der Lage sein, ohne manuelles Eingreifen während des Zyklus, den Bügelverschluss einer Flasche automatisch zu schliessen.

Funktionierender Gesamtprozess:

Der gesamte Ablauf – von der Erkennung und Positionierung der Flasche bis zum finalen Verschliessen – muss vollständig automatisiert und reproduzierbar durchführbar sein.

Zuverlässige Sensorik:

Die eingesetzte Sensorik und Aktorik kann, je nach technischer Anforderung und Verfügbarkeit der Komponenten, sowohl in analoger als auch in digitaler Form ausgeführt werden.

Alle Sensoren – wie beispielsweise REED- und Lasersensoren – müssen zuverlässig mit der Steuerung kommunizieren und dabei die für die Prozessführung relevanten Informationen bereitstellen. Dies umfasst unter anderem die Erkennung von Positionen, Zuständen sowie den Triggern definierter Abläufe innerhalb des Automatisierungsprozesses.

Ansteuerung aller Aktoren:

Sämtliche Aktoren – wie beispielsweise Pneumatikzylinder und Schrittmotoren – müssen gezielt angesteuert werden können. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass deren Endlagen eindeutig erkannt und an die Steuerung rückgemeldet werden. Dies ermöglicht eine zuverlässige Ablaufsteuerung und verhindert Fehlfunktionen infolge unvollständiger Bewegungen oder Blockierungen.

Grundlegende Steuerungslogik:

Aufgrund der vorhandenen Ventilblöcke und 24V Sensoren wird auf eine SPS-Steuerung zurückgegriffen. Letztere muss den kompletten Ablauf sicher und nachvollziehbar abbilden und steuern.

Mechanische Stabilität:

Die mechanische Ausführung bedarf an einer Robustheit, um alle Testzyklen während der Prototypenphase ohne strukturelle oder funktionale Schäden durchführen zu können.

Testfähigkeit im Labor:

Der Aufbau muss so gestaltet sein, dass alle Funktionen unter Laborbedingungen überprüfbar sind, auch ohne Integration in eine Produktionslinie.

2.2 Wunschkriterien

Neben dem erfolgreichen Verschliessen der Flaschen im Rahmen eines Proof of Concept verfolgt das Projekt weitere ambitionierte Zielsetzungen, die – sofern realisierbar – den Nutzen und die Praxistauglichkeit der Lösung deutlich steigern würden:

Leistungsfähigkeit:

Eine angestrebte Verschlussleistung von über 3'000 Flaschen pro Stunde würde das derzeitige manuelle Verfahren (ca. 3'000–3'500 Flaschen/Stunde) mindestens erreichen und dabei idealerweise die körperliche Belastung des Personals vollständig eliminieren.

Minimierung von Ausfallzeiten:

Die Anlage soll mit möglichst wenigen Unterbrechungen arbeiten. Bereits ab einer konstanten Leistung von 2'500 Flaschen pro Stunde bei hoher Prozessstabilität wäre der Ansatz für den industriellen Einsatz interessant.

Einfache Bedienbarkeit:

Die Steuerung und die Handhabung der Maschine sollen so gestaltet sein, dass sie auch von ungeschultem Personal intuitiv bedient werden kann.

Wartungsfreundlichkeit:

Alle Komponenten sollten gut zugänglich und leicht austauschbar sein, um den Wartungsaufwand gering zu halten.

2.3 Abgrenzung Nicht-Ziele

Da es in dieser Arbeit nur um ein Proof of Concept geht, ist es nicht das Ziel, dass eine funktionierende Anlage abgegeben wird. Die Komponenten der Anlage werden ausschliesslich für die Testzwecke ausgewählt. Deshalb wird hier auf lebensmittelechte Materialien wie z.B. Edelstahl verzichtet.

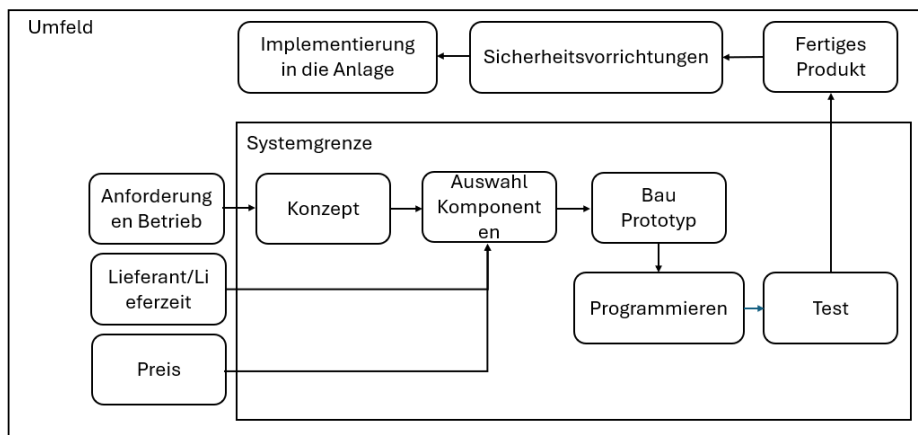


Abbildung 1 Abgrenzungsgrafik

3 Ausgangslage**3.1 Ist-Zustand**

Die Brauerei «Unser Bier» füllt Glasflaschen mit Kronkorken oder Bügel ab.

Das Abfüllen der Bügelflaschen findet etwa alle 2 Wochen für jeweils einen Tag statt. Momentan werden die Bügelflaschen von Hand verschlossen. Dafür werden 2 Personen benötigt. Das Verschliessen der Bügelflaschen braucht spürbare Kraft, welche nach einem Tag erheblich spürbar ist.

3.2 Umfeld

Die abgefüllten Flaschen laufen auf einem Förderband aus der Abfüllmaschine. Danach werden sie in die Etikettiermaschine befördert.



Abbildung 2 Förderband nach Abfüllmaschine

Die Maschinen befinden sich in einer Produktionshalle, welche den geltenden Hygienevorschriften entspricht. Aufgrund begrenzter Platzverhältnisse ist die Integration grosser Maschinen nicht möglich, was bei der Entwicklung berücksichtigt werden muss. Zusätzlich sind typische Umgebungsbedingungen wie erhöhte Luftfeuchtigkeit, Temperaturschwankungen und Reinigungsprozesse zu beachten. Die Versorgung mit Strom und Druckluft ist vorhanden, jedoch auf bestimmte Bereiche konzentriert. Der Lärmpegel durch umliegende Maschinen erfordert gut sicht- und hörbare Signalisierung. In einem späteren Realbetrieb wären zudem sicherheitstechnische Anforderungen, wie Schutzabdeckungen oder Not-Aus-Schalter zu berücksichtigen.

Zudem werden in derselben Produktionsstrasse auch Flaschen mit Kronkorken verarbeitet. Dies bedeutet, dass die Maschine einfach umzurüsten sein sollte. Die Bügelflaschen werden nur etwa alle zwei Wochen für circa einen Tag abgefüllt.

4 Projektinitialisierung und Planung

4.1 Kunden und Stakeholderanalyse

Im Kontext des Projekts wird mit diversen Stakeholdern gearbeitet, die jeweils unterschiedliche Interessen verfolgen und einen variierenden Einfluss auf das Projekt ausüben. Diese Interessensgruppen können sowohl den Projektverlauf positiv unterstützen als auch Risiken für Zeitplan, Kosten oder Qualität mit sich bringen. Um diese Dynamiken besser zu verstehen, wird eine detaillierte Stakeholderanalyse durchgeführt. Dabei werden alle relevanten Anspruchsgruppen identifiziert, ihre Funktionen innerhalb des Projektes festgehalten und anschliessend sowohl ihr Interesse am Projekterfolg als auch ihr Einfluss auf wichtige Entscheidungen bewertet.

Eine solche Analyse bildet die Grundlage, um gezielte Kommunikations- und Einbindungsstrategien zu entwickeln. Während die Geschäftsleitung vor allem durch Budgetentscheidungen massgeblichen Einfluss nimmt, bringt der Braumeister als Fachexperte die entscheidenden Anforderungen an die Anlage ein. Lieferanten hingegen haben einen eher mittelstarken Einfluss, da ihre Hauptaufgabe in der rechtzeitigen Bereitstellung von Komponenten liegt. Bei Verzögerungen oder Qualitätsproblemen können sie jedoch einen erheblichen Risikofaktor darstellen. Der Projektverantwortliche trägt eine Schlüsselrolle, da er für die Gesamtkoordination zuständig ist und sicherstellen muss, dass alle Interessen im Einklang mit den Projektzielen berücksichtigt werden.

Durch diese strukturierte Analyse wird deutlich, welche Stakeholder eng in Entscheidungsprozesse eingebunden werden müssen und bei welchen eine regelmässige, aber weniger intensive Kommunikation ausreicht. Gleichzeitig lassen sich mögliche Konfliktpotenziale frühzeitig erkennen, sodass präventive Massnahmen ergriffen werden können, um die erfolgreiche Umsetzung des Projektes sicherzustellen.

Tabelle 1 Stakeholderanalyse

Anspruchsgruppe/ Stakeholder	Funktion	Einfluss	Interesse
Geschäftsleitung	Budgetierung	Hoch	Hoch
Braumeister	Verantwortlich für die Anforderungen der Anlage	Hoch	Hoch
Lieferanten	Verantwortlich für die Lieferungen der Komponenten	Mittel	Mittel
Projektverantwortlicher	Verantwortlich für Durchführung des Projektes	Hoch	Hoch

4.2 Projektstrukturplan

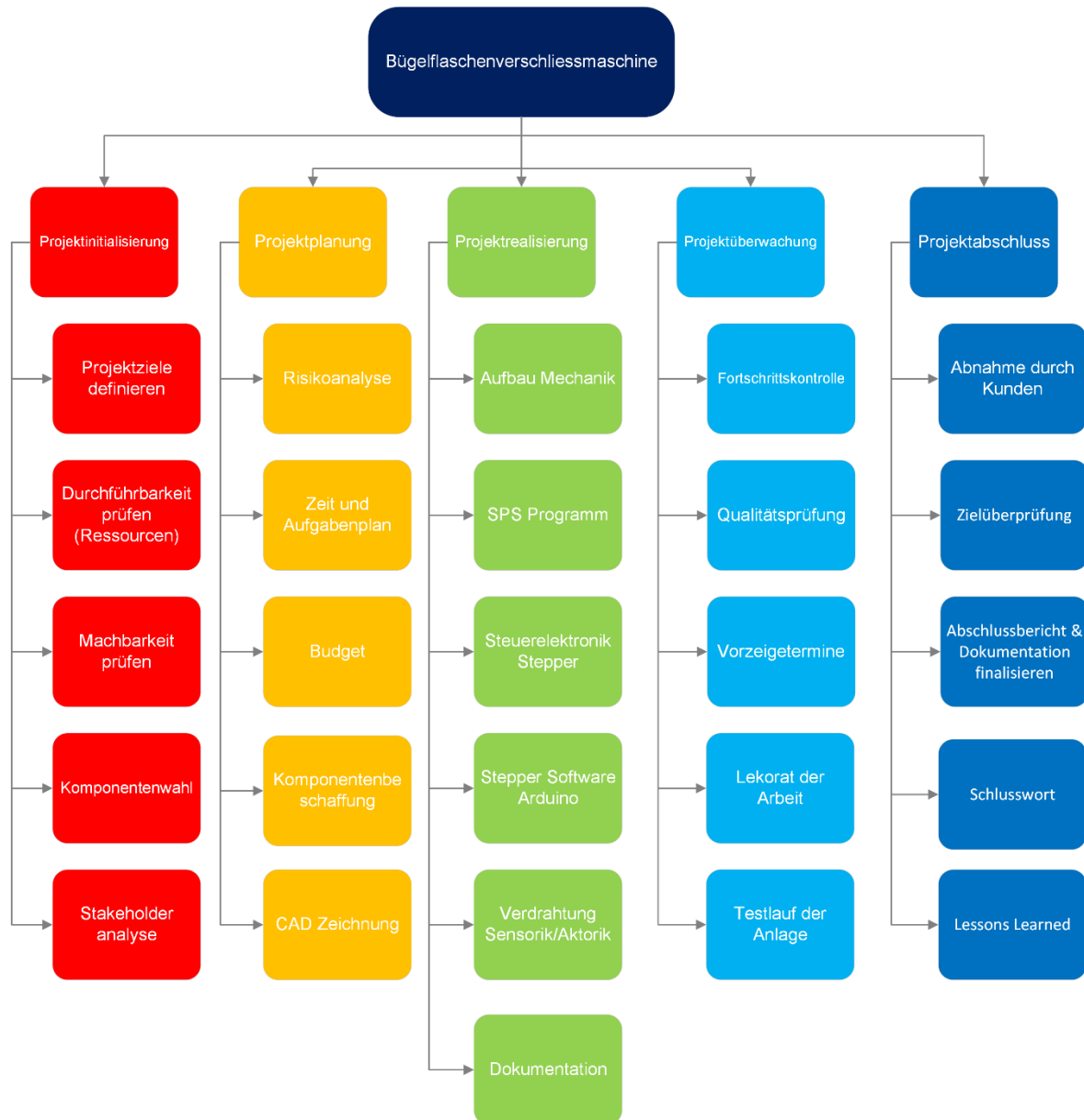


Abbildung 3 PSP

Der Projektstrukturplan gliedert sich in fünf Phasen, wobei sich die ersten beiden Abschnitte primär auf die Vorbereitung und Planung fokussieren.

In der Realisierungsphase findet, wie der Name schon sagt, die Realisierung statt und bildet damit den Kern des Projektes.

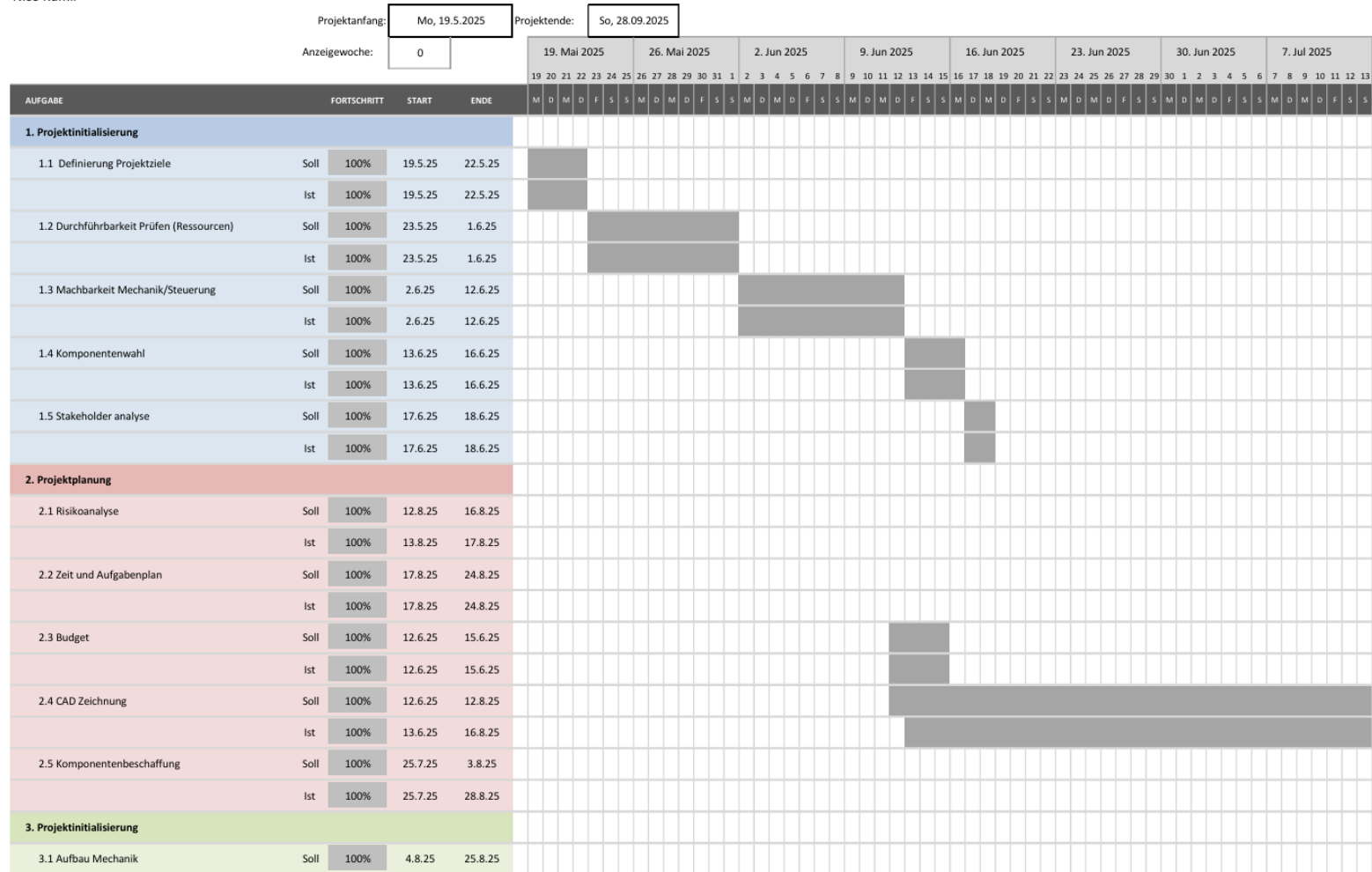
Die vorletzte Phase hat die Aufgabe, den Prozess zu überwachen, um so sicherzustellen, ob der Zeitplan eingehalten werden kann.

Die letzte Phase beschäftigt sich mit dem Abschluss des Projektes und beinhaltet die Abnahme etc.

4.3 Zeitplanung GANTT-Diagramm

Diplomarbeit Bügelflaschenverschlussmaschine

Nico Kumli



[illegible]

Nico Kumli

Anzeigewoche:		8																																																										
					14. Jul 2025				21. Jul 2025				28. Jul 2025				4. Aug 2025				11. Aug 2025				18. Aug 2025				25. Aug 2025				1. Sep 2025																											
					14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7
AUFGABE	FORTSCHRITT		START	ENDE	M	D	M	D	F	S	S	M	D	M	D	F	S	S	M	D	M	D	F	S	S	M	D	M	D	F	S	S	M	D	M	D	F	S	S	M	D	M	D	F	S	S	M	D	M	D	F	S	S							
1. Projektinitialisierung																																																												
1.1 Definierung Projektziele	Soll	100%	19.5.25	22.5.25																																																								
	Ist	100%	19.5.25	22.5.25																																																								
1.2 Durchführbarkeit Prüfen (Ressourcen)	Soll	100%	23.5.25	1.6.25																																																								
	Ist	100%	23.5.25	1.6.25																																																								
1.3 Machbarkeit Mechanik/Steuerung	Soll	100%	2.6.25	12.6.25																																																								
	Ist	100%	2.6.25	12.6.25																																																								
1.4 Komponentenwahl	Soll	100%	13.6.25	16.6.25																																																								
	Ist	100%	13.6.25	16.6.25																																																								
1.5 Stakeholder analyse	Soll	100%	17.6.25	18.6.25																																																								
	Ist	100%	17.6.25	18.6.25																																																								
2. Projektplanung																																																												
2.1 Risikoanalyse	Soll	100%	12.8.25	16.8.25																																																								
	Ist	100%	13.8.25	17.8.25																																																								
2.2 Zeit und Aufgabenplan	Soll	100%	17.8.25	24.8.25																																																								
	Ist	100%	17.8.25	24.8.25																																																								
2.3 Budget	Soll	100%	12.6.25	15.6.25																																																								
	Ist	100%	12.6.25	15.6.25																																																								
2.4 CAD Zeichnung	Soll	100%	12.6.25	12.8.25																																																								
	Ist	100%	13.6.25	16.8.25																																																								
2.5 Komponentenbeschaffung	Soll	100%	25.7.25	3.8.25																																																								
	Ist	100%	25.7.25	28.8.25																																																								
3. Projektinitialisierung																																																												
3.1 Aufbau Mechanik	Soll	100%	4.8.25	25.8.25																																																								

[illegible]

[illegible]

Abbildung 4 Gantt-Diagramm

4.4 SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse ist ein bewährtes Instrument, um die Ausgangslage eines Projektes ganzheitlich zu bewerten und mögliche Chancen und Risiken frühzeitig zu identifizieren. Sie dient dazu, sowohl interne Faktoren (Stärken und Schwächen) als auch externe Einflüsse (Chancen und Bedrohungen) systematisch zu erfassen.

Im Rahmen dieser Analyse werden die relevanten Aspekte in einer Matrix dargestellt:

- **Stärken (Strengths):** Interne Erfolgsfaktoren, die dem Projekt zugutekommen, wie etwa vorhandenes Fachwissen, ausreichende Ressourcen oder eine klare Projektstruktur.
- **Schwächen (Weaknesses):** Interne Faktoren, die den Projekterfolg gefährden können, beispielsweise fehlende Kompetenzen, unklare Verantwortlichkeiten oder mangelnde Kommunikation.
- **Chancen (Opportunities):** Externe Entwicklungen, die sich positiv auf das Projekt auswirken können, wie neue Marktbedürfnisse, technologische Fortschritte oder günstige regulatorische Rahmenbedingungen.
- **Risiken/Bedrohungen (Threats):** Externe Einflussfaktoren, die den Projekterfolg negativ beeinflussen könnten, darunter Lieferengpässe, steigende Kosten oder rechtliche Hürden.

Durch diese strukturierte Vorgehensweise lassen sich Massnahmen ableiten, um die Stärken gezielt auszubauen, Schwächen zu minimieren, Chancen aktiv zu nutzen und Bedrohungen frühzeitig zu begegnen. Damit stellt die SWOT-Analyse ein zentrales Werkzeug dar, um die strategische Ausrichtung des Projektes abzusichern und Risiken nicht nur zu erkennen, sondern auch konstruktiv in die Projektplanung einzubeziehen.

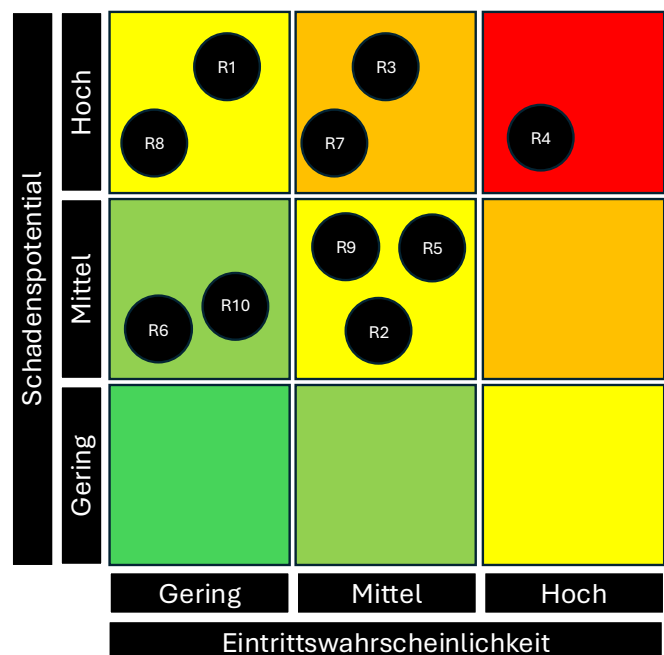


Abbildung 5 SWOT-Analyse Matrix

Tabelle 2 SWOT-Analyse Bedrohungen

Nr.	Risiko	Beschreibung	Kategorie	Wahrscheinlichkeit	Schaden
R1	Das Produkt entspricht nicht den Vorgaben des Projektes.	Die Beschriebenen Leistungen und Anforderungen können nicht eingehalten werden.	Qualität	Gering	Hoch
R2	Nicht Einhaltung des Zeitplanes.	Der erstellte Zeitplan kann nicht eingehalten werden, da aus diversen Gründen Abweichungen entstehen.	Zeitmanagement	Mittel	Mittel
R3	Abgabetermin kann nicht eingehalten werden.	Durch diverse Verzögerungen kann das geplante Abgabedatum nicht eingehalten werden.	Zeitmanagement	Mittel	Hoch
R4	Die zuvor geplante und konstruierte Mechanik funktioniert nicht.	Die Mechanik funktioniert gar nicht oder ist unzuverlässig.	Planung	Hoch	Hoch
R5	Positionserkennung der Flasche ungenau.	Durch falsche Sensoren wird die Flasche nicht zuverlässig erkannt.	Material	Mittel	Mittel
R6	Liefertermine werden nicht eingehalten.	Durch Verzögerungen seitens Lieferant wird das Material verspätet ausgeliefert.	Material	Niedrig	Mittel
R7	Defekte Hardware	Die gelieferte Hardware ist defekt oder geht kaputt.	Material	Mittel	Hoch
R8	Budget zu knapp	Das zuvor kalkulierte Budget kann nicht eingehalten werden, da die Komponenten teurer als geplant sind.	Ressourcen	Niedrig	Hoch
R9	Ausfall durch Unfall/Krankheit.	Durch Personalmangel kommt es zu Verzögerungen.	Ressourcen	Mittel	Mittel
R10	Datenverlust	Durch einen technischen Defekt oder andere Gründe gehen Daten ganz oder teilweise verloren.	Datensicherung	Niedrig	Mittel

Tabelle 3 SWOT-Analyse Bedrohungen

Nr.	Risiko	Ursache	Auswirkung	Vorbeugen
R1	Das Produkt entspricht nicht den Vorgaben des Projektes	Anforderungen unklar oder Änderungen im Projektverlauf, mangelnde Abstimmung mit Stakeholdern	Produkt ist nicht abnahmefähig, Nacharbeit nötig, Projektverzögerung	Klare Anforderungsspezifikation, regelmässige Reviews, Prototyping, Tests mit Stakeholdern
R2	Nicht Einhaltung des Zeitplanes	Produkt ist nicht abnahmefähig, Nacharbeit nötig, Projektverzögerung	Projektfortschritt verzögert sich, Abgabetermine in Gefahr	Realistische Zeitplanung mit Puffer, wöchentliche Fortschrittskontrolle, Priorisierung kritischer Aufgaben
R3	Abgabetermin kann nicht eingehalten werden	Verzögerungen in Entwicklung, Materialbeschaffung oder Testphasen	Projektabschluss verspätet, Auftraggeber unzufrieden.	Zusätzliche Ressourcen in kritischen Phasen, Backup-Lieferanten, frühzeitige Eskalation bei Abweichungen
R4	Das zuvor geplante und konstruierte Mechanik funktioniert nicht	Fehlkonstruktion, unzureichende Tests, falsche Dimensionierung	Mechanik unzuverlässig, Produkt unbrauchbar oder funktionsunfähig	Simulationen, Prototypenbau
R5	Positionserkennung der Flasche ungenau	Sensorwahl ungeeignet, Kalibrierung fehlerhaft, Störeinflüsse (z. B. Licht, Material)	Falsche Erkennung, Fehlfunktionen im Betrieb	Geeignete Sensoren evaluieren, Kalibrierung sicherstellen
R6	Liefertermine werden nicht eingehalten	Lieferantenprobleme, fehlende Vertragsklarheit, späte Bestellung	Material zu spät, Stillstand im Projekt, Terminverzug	Frühzeitige Bestellung, alternative Lieferanten
R7	Defekte Hardware	Schlechte Qualität, Transportschäden, falsche Handhabung	Verzögerungen durch Austausch, zusätzliche Kosten	Lieferantenauswahl nach Qualität, Wareneingangskontrolle, Ersatzteile vorhalten
R8	Budget zu knapp	Kosten unterschätzt, Preissteigerungen, falsche Kalkulation	Finanzierungsprobleme, Abbruch oder Reduzierung des Projekts	Detaillierte Kalkulation, Pufferbudget, frühzeitige Angebotseinholung, Kostencontrolling
R9	Ausfall durch Unfall/Krankheit	Schlüsselpersonen fallen kurzfristig aus	Verzögerungen im Projektanlauf, Wissensverlust	Aufgaben dokumentieren, Vertretungsregelungen, Wissen im Team verteilen
R10	Datenverlust	Hardwaredefekt, Bedienfehler, Malware, fehlende Backups	Verlust wichtiger Projektinformationen, Mehraufwand, Verzögerung	Automatisierte Backups (lokal + Cloud), regelmässige Tests der Wiederherstellung

5 Marktanalyse

Um die Ausgangslage besser zu verstehen, wurde zuerst eine Marktanalyse durchgeführt, in welcher die bereits bestehenden Anlagen miteinander verglichen wurden. Ebenfalls wurden die Funktionsweisen der einzelnen Anlagen analysiert, um die Hauptkomponenten zu kennen und die Funktionsfähigkeit einer solchen Maschine besser zu verstehen.

Bei der Recherche kristallisierte sich die Firma AMS Getränketechnik heraus, die sich bereits sehr intensiv mit dieser Thematik auseinandersetzt und bereits viele verschiedene Anlagen baut und vertreibt.

Anforderungen an die Anlage:

2000-3500 Flaschen/min.

Einfache Integration in die Anlage (bestehendes Förderband).

Umbaumöglichkeit auf Durchlauf der Flaschen ohne Bearbeitung (Flaschen mit Kronkorken)

einige Anlagen im Vergleich:

AMS Bügelverschliesser BV8 – 2000 [1]

Nennleistung: 2000 Flaschen/h.

Maximalleistung 2200 Flaschen/h.

Vollautomatisch

AMS Bügelverschliesser Däumling [1]

Nennleistung: 2000 Flaschen/h.

Maximalleistung 2250 Flaschen/h.

Halbautomatisch (manuelles aufsetzen des Deckels)

BVH 3.5 3.500 Flaschen/h [2]

Nennleistung: 3500 Flaschen/h.

Preis: **138.500,- €.**

Während der Diplomarbeit hat sich herausgestellt, dass der Hersteller AMS Getränketechnik Konkurs angemeldet hat. Webseite und E-Mail sind deshalb nicht mehr erreichbar. Als alternative Option wurde eine Maschine der Firma Rico-Maschinenbau herausgesucht. Diese erreicht eine maximale Kapazität von 3500 Flaschen/h.



Abbildung 6 BVH 3.5 [2]

6 Herausforderungen und Lösungen

Um eine ideale Lösung für dieses Projekt zu finden, wurden durch Brainstorming drei Lösungsvarianten ausgearbeitet.

Lösungsvariante 1 -Rundschalttisch:

Die erste Lösungsvariante basiert auf dem Konzept einer Rundtaktanlage. Hierbei werden die Flaschen vom Förderband abgegriffen und nach der Bearbeitung wieder aufgesetzt.

Der Vorteil liegt darin, dass die Anlage durch das Entfernen der Räder (rot) und den Banden (grün) schnell umgebaut werden kann.

Ein weiterer Vorteil liegt in der gleichzeitigen Bearbeitung mehrerer Positionen (blau).

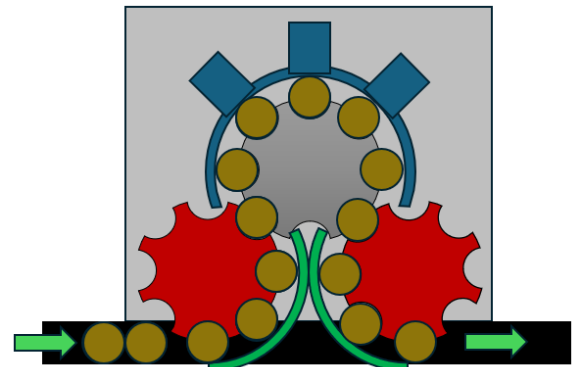


Abbildung 7 Prinzip Rundtaktanlage

Lösungsvariante 2 -Förderbandintegration:

Bei dieser Lösungsvariante bleiben die Flaschen auf dem Förderband und werden direkt verarbeitet. Hierzu müssen die Flaschen in der Bewegung vereinzelt und ausgerichtet werden z.B. durch eine Rückhalteschnecke. Diese lässt sich unabhängig vom Förderband steuern und somit auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit individuell anpassen beziehungsweise stoppen.

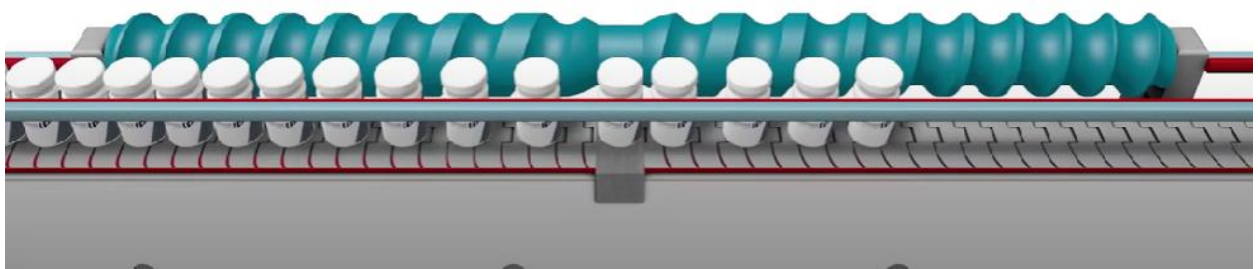


Abbildung 8 Rückhalteschnecke [3]

Lösungsvariante 3 -Stationäre Testanlage:

Die Anlage wird nur teilweise auf einer Grundplatte aufgebaut. Zu einem späteren Zeitpunkt kann diese Anlage gemäss Lösungsvariante 1 ausgebaut werden.

So können erste Tests als Rückmeldung zu Gesamtkonzept und Stabilität ohne grosses Budget und Risiko ausgeführt werden. Dabei kann das Gesamtkonzept wie Stabilität und Geschwindigkeit getestet werden.



Abbildung 9 konzeptzeichnung Prototypanlage

6.1 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse fokussiert sich auf folgende 4 Kriterien. Als Grundlage für die Kriterien bestehen die in der Konzeptionsphase festgelegten Ziele. Nachfolgend wird beschrieben, inwiefern die Auswahl Auswirkungen auf die Erreichung des jeweiligen Zieles hat:

- **Geringhaltung der Kosten:** Bei der Auswahl der Hardware ist auf den Kosten-Nutzen-Faktor zu achten, einschliesslich möglicher versteckter Kosten für Peripheriegeräte oder Software.
- **Verfügbarkeit & Zuverlässigkeit:** Die Maschine muss für den Dauerbetrieb geeignet sein und eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen. Stillstandzeiten bedeuten Produktionsverluste, daher ist die Zuverlässigkeit sehr wichtig.
- **Leistung & Kapazität:** Die Maschine sollte die geforderte Stückzahl pro Zeiteinheit (z. B. Verschlüsse pro Minute/Stunde) sicher bewältigen können. Zudem ist die Qualität der Verschlüsse (korrekter Sitz des Deckels) entscheidend.
- **Benutzerfreundlichkeit & Wartungsaufwand:** Eine einfache Bedienung, schneller Formatwechsel sowie leichter Zugang für Reinigung und Wartung reduzieren Bedienfehler und Ausfallzeiten. Auch ergonomische Aspekte für das Bedienpersonal sind zu berücksichtigen.

Tabelle 4 Nutzwertanalyse

Kann Ziele	Gewichtung	K1		K2		K3	
Geringhaltung der Kosten	9	4	36	3	27	10	90
Verfügbarkeit & Zuverlässigkeit	8	8	64	5	40	4	32
Leistung & Kapazität	6	8	48	7	42	5	30
Benutzerfreundlichkeit & Wartungsaufwand	5	6	30	5	25	8	40
Nutzwert:		Σ	187	Σ	134	Σ	192

Auswahl der Lösung:

Auf Grundlage der durchgeführten Nutzwertanalyse wurden drei mögliche Alternativen miteinander verglichen. Dabei wurden die Kriterien: *Kosten*, *Verfügbarkeit & Zuverlässigkeit*, *Leistung & Kapazität* und *Benutzerfreundlichkeit & Wartungsaufwand* berücksichtigt und entsprechend ihrer Relevanz gewichtet.

Das Ergebnis zeigt, dass Variante 3 mit einem Gesamtnutzwert von 192 Punkten am besten abschliesst. Ein ausschlaggebender Punkt dafür war die hohe Kosteneffizienz dieser Variante. Ein weiteres Kriterium dafür war die einfache Integration in Variante 1, die es ermöglicht, das Risiko zu vermindern.

7 Planung und Konzept

7.1 Hardwareentwicklung

7.1.1 Mechanik

Bei Planung und Entwicklung gibt es einige zentrale Punkte, welche beachtet werden müssen. Zur Lösung dieses Problems habe ich jeden Schritt einzeln analysiert und mir einen Mechanismus dazu überlegt. Die Schritte gliedern sich folgendermassen auf:

7.1.2 Vorspannen der Flasche

Als erstes widmete ich mich der Aufgabe, die Flasche zu fixieren. Die Entscheidung fiel auf einen Pneumatikzylinder da diese schnell und zuverlässig funktionieren. Ebenfalls kann durch Sensoren die Endlage leicht abgefragt werden.

7.1.3 Positionieren der Flasche durch Rotation

Das Drehen der Flasche in die richtige Position ist mit der Vorspannvorrichtung gekoppelt. Das Drehen erfolgt über vier Rollen, wovon 2 durch einen Schrittmotor angetrieben werden.



Abbildung 10 Vorspannmechanismus mit Drehvorrichtung

Der Schrittmotor ist über ein Zahnriemen mit den beiden Rollen gekoppelt. Durch diverse Umlenkrollen wird der Riemen geführt. Die Langlöcher in der Motorplatte machen das Spannen des Riemens möglich. So kann später gewährleistet werden, dass der Riemen aufgrund zu geringer Spannung nicht durchrutscht.

7.1.4 Spannen des Unterbügels

Um den Deckel korrekt auf den Flaschenhals aufzusetzen, muss zuerst der Unterbügel arretiert werden. So werden die Bewegungsmöglichkeiten auf einen Drehpunkt reduziert. Dies geschieht ebenfalls durch einen Pneumatikzylinder.

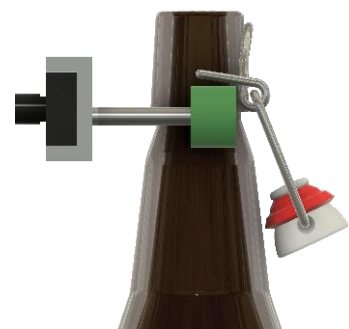


Abbildung 11 Spannen des Unterbügels

7.1.5 Aufsetzen des Deckels

Der Deckel kann vor dem Verschliessen verschiedene Lagen haben. Durch das Anheben des Deckels wird dieser immer gleich ausgerichtet, da der Schwerpunkt in Richtung Deckelunterseite liegt.

Um den Deckel mit Oberbügel anzuheben und aufzusetzen, wird ein pneumatisches Drehmodul verwendet. Dies erlaubt eine 180-Grad Drehung des in der Scheibe eingelassenen Stiftes.

Durch die Führungshilfe wird die Deckeloberseite geführt. So wird gewährleistet, dass der Deckel oben in der richtigen Position ankommt.



Abbildung 12 Aufsetzvorrichtung mit Führungshilfe

7.1.6 Verschliessen der Flasche

Um die Flasche zu verschliessen, wird diese durch die Drehvorrichtung um 180 Grad gedreht. Anschliessend wird der Spannzylinder erneut ausgefahren und verschliesst so die Flasche. Die zweifache Nutzung des Zylinders ist kosteneffizient, jedoch erhöht dies die Bearbeitungs-dauer pro Flasche.

7.1.7 Gesamtablauf

Durch die jeweiligen Mechanismen entsteht eine gesamte Einheit. Der Ablauf ist aus Abb. 13 zu entnehmen.

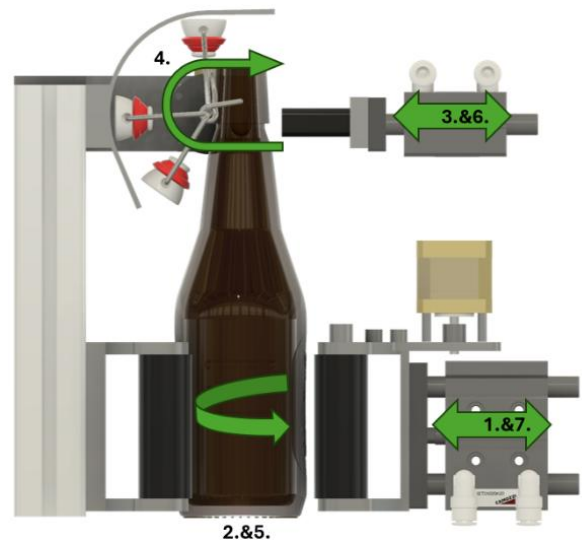


Abbildung 13 Gesamtanlage

7.2 Hardware-Schrittmotor

Da der Schrittmotor nicht über die verwendete SPS-Steuerung betrieben werden kann, braucht es eine andere Lösung.

Wie in der Grafik gezeigt, wird ein Levelshifter für die Kommunikation zwischen SPS und Arduino verwendet. Dieser steuert den Schrittmotortreiber, welcher wiederum den Schrittmotor steuert.

SPS und Arduino sind mit zwei Leitungen verbunden. Die erste Leitung ist für die konstante Drehung verantwortlich. Solange ein Signal ansteht, wird die Flasche rotiert. Sobald die Sensoren die richtige Lage der Flasche erkannt haben, stoppt die Rotation.

Die zweite Leitung steuert die 180-Grad Drehung vor dem Verschliessen. Dafür soll eine positive Flankenerkennung dienen, welche den einmaligen Befehl zur Drehung gibt.

Um den Levelshifter zu realisieren, wird ein Optokoppler LTV-817-C verwendet. Dieser hat laut Datenblatt eine Forward Voltage von 1.2V und eine Stromaufnahme von 20mA.

$$\frac{24V - 1,2V}{20mA} = 1140\Omega$$

Daraus ergibt sich der Vorwiderstand von 1140Ω. Wird nun ein 1.2kΩ verwendet, fliesst ein Strom von ca. 19mA. Daraus ergibt sich eine Leistung von 0.43 Watt.

Der verwendete Widerstand sollte also minimum für ½ Watt oder mehr ausgelegt sein.

Um den Aufbau des Levelshifters zu realisieren, wird wie erwähnt ein Optokoppler verwendet. Der Vorteil ist dabei die galvanische Trennung. Optokoppler basieren, wie der Name bereits sagt, auf optischer Übertragung. Eingangsseitig befindet sich eine Leuchtdiode, welche das Licht innerhalb des Gehäuses ausstrahlt. Dieses trifft auf eine Fotodiode oder einen Fototransistor.

Für den Aufbau wird eine Lochrasterplatine verwendet. Darauf werden die beiden Optokoppler mit Vorwiderstand verlötet. Als Anschlussmöglichkeit werden Stiftleisten verwendet.

Um den Arduino mit Spannung zu versorgen, wird ein Spannungswandler 24V-5V verwendet (U1). Der Arduino besitzt einen internen Spannungswandler, jedoch kann am VIN-Pin eine Spannung von maximal 12V angelegt werden.

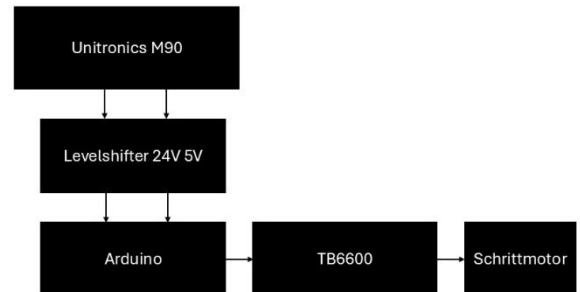


Abbildung 14 Prinzipschema

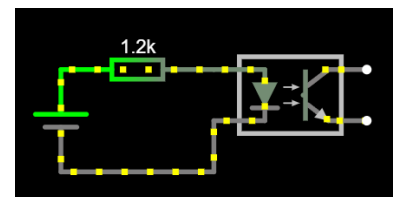


Abbildung 15 Falsdat Schema Optokoppler (Quelle: Falstad)

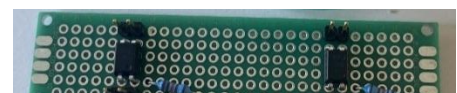


Abbildung 16 2 Kanal Optokoppler Board

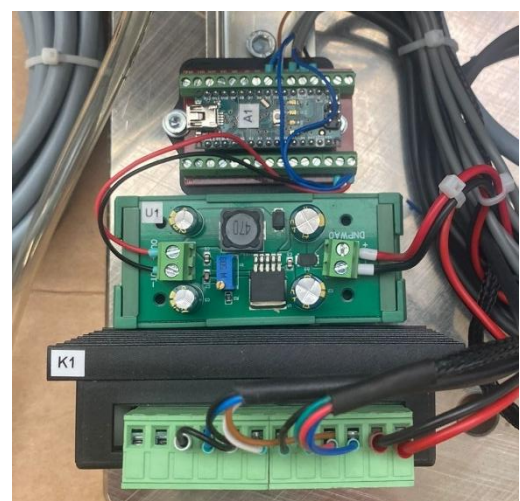


Abbildung 17 Montage auf DIN-Schiene

8 Software-Entwicklung

8.1 SPS-Software

Für die Umsetzung der SPS-Software wurde die Software U90 Ladder von Unitronics verwendet. Die einzige verfügbare Sprache in diesem Programm ist KOP. Da für diese Anwendung eine Schrittkettenprogrammierung ausreicht, kann dies problemlos mit KOP realisiert werden.

Die Hauptfunktionen (1.) in U90 Ladder sind direkte und invertierte Kontakte. Ebenfalls können

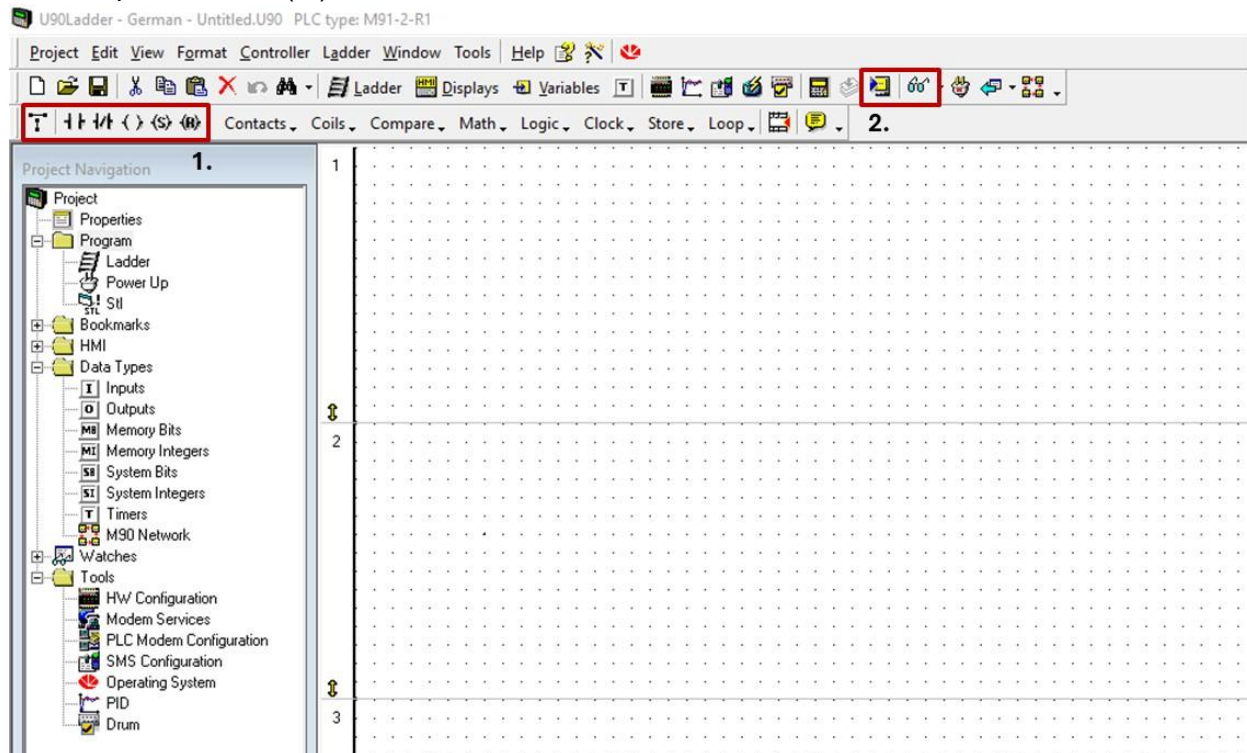


Abbildung 18 U90 Ladder

sogenannte «Coils» mit Bausteinen, wie Set und Reset gesetzt werden. Die Software verfügt über eine Live-Funktion (2.) bei der kontrolliert werden kann, an welcher Stelle sich das Programm befindet. Daneben befindet sich zusätzlich der Upload-Button.

Die Programmierung erfolgt in sogenannten «Nets». Jedes Net kann mit einem Kommentar versehen werden.

Auf der linken Seite befindet sich der Menu-Baum. Dort können die jeweiligen In- und Outputs festgelegt werden. Ebenfalls die Timer- und Memorybits.

HMI

Das HMI kann verschiedene Displays anzeigen. Für jedes Display wird ein eigener Text hinterlegt. Um die Displays zu wechseln, werden «Jump Conditions» verwendet. Bei jeder «Jump Condition» wird eine Bedingung hinterlegt, bei welcher ein Wechsel erfolgt. Zusätzlich wird dazu das Display hinterlegt, zu welchen gewechselt werden soll.

Diese Übersicht kann bei mehreren Displays und Conditions schnell unübersichtlich werden.

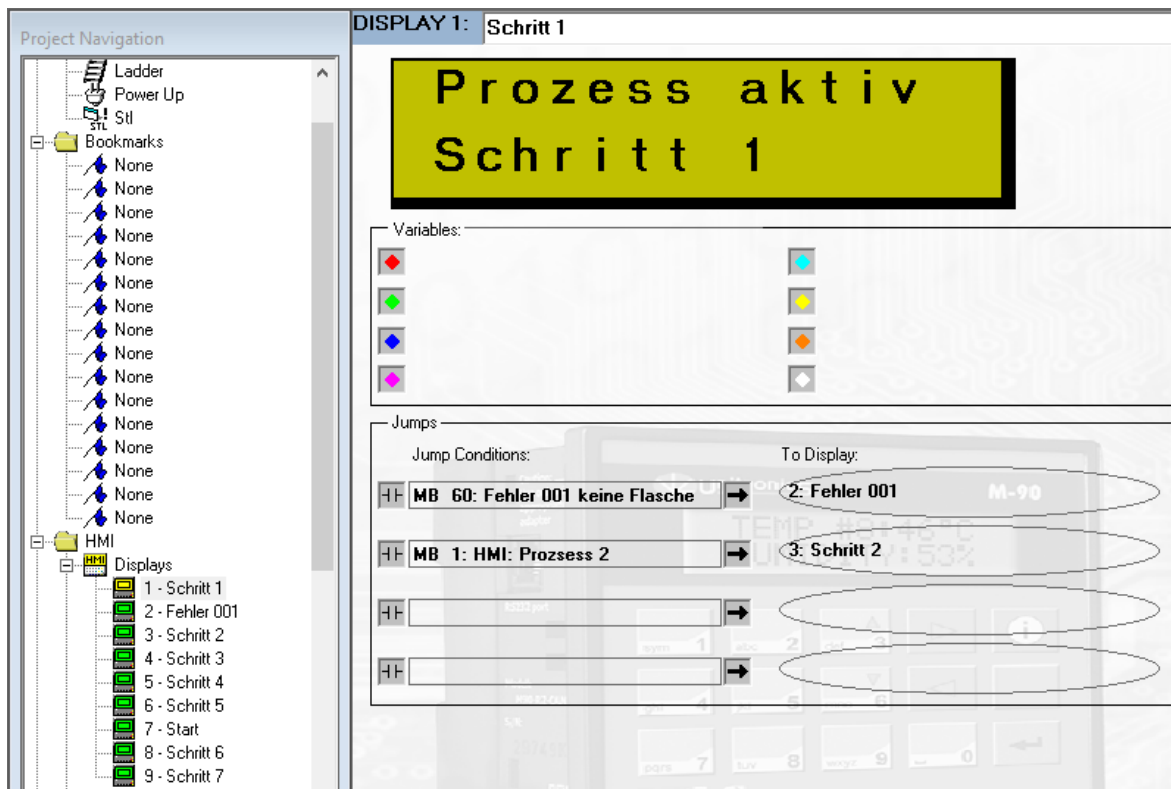


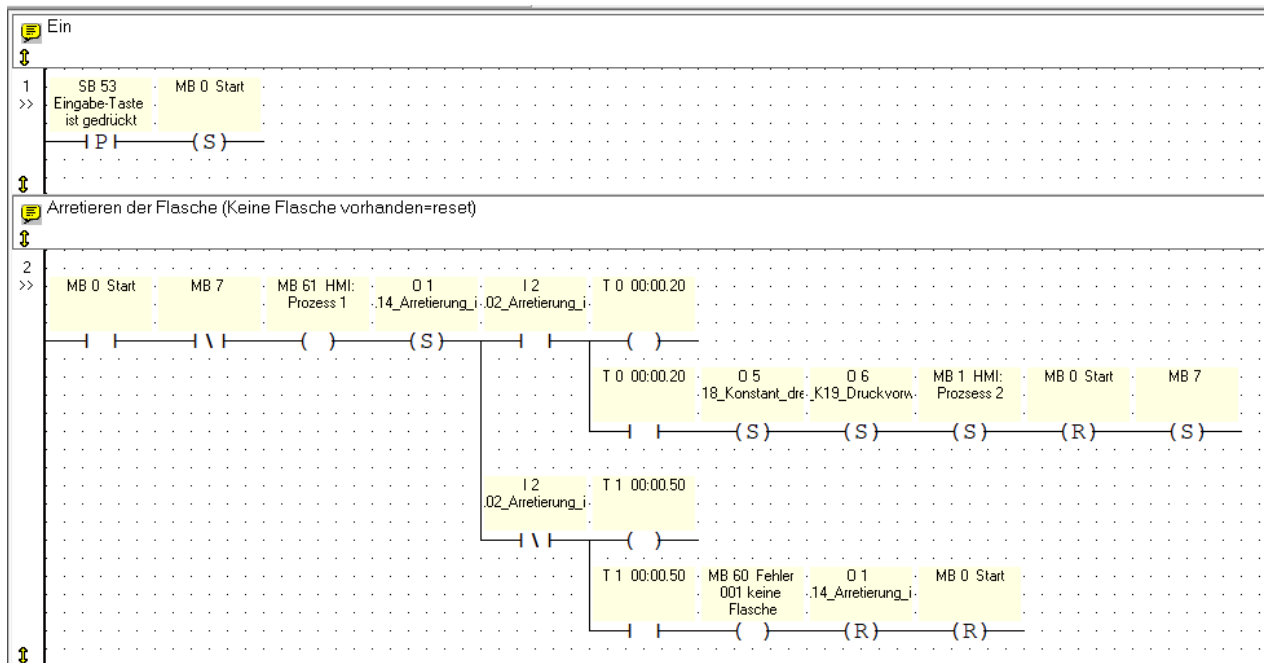
Abbildung 19 U90 Ladder HMI

Net 1: In diesem Netz wird die Eingabetaste auf eine positive Flanke überprüft.

Net 2: Wenn der MB 0 gesetzt wurde und der vorherige Ablauf beendet wurde, wird ein neuer Durchlauf gestartet und die Arretierung wird ausgefahren. Wenn sich keine Flasche in der Anlage befindet, überfährt der Zylinder den Endschalter. Ist dieser länger als eine halbe Sekunde nicht betätigt wird, wird ein Reset ausgeführt und der Zylinder öffnet sich.

Das Display zeigt nun einen aktiven Fehler an. Durch erneutes Drücken auf Enter wird der Vorgang erneut gestartet.

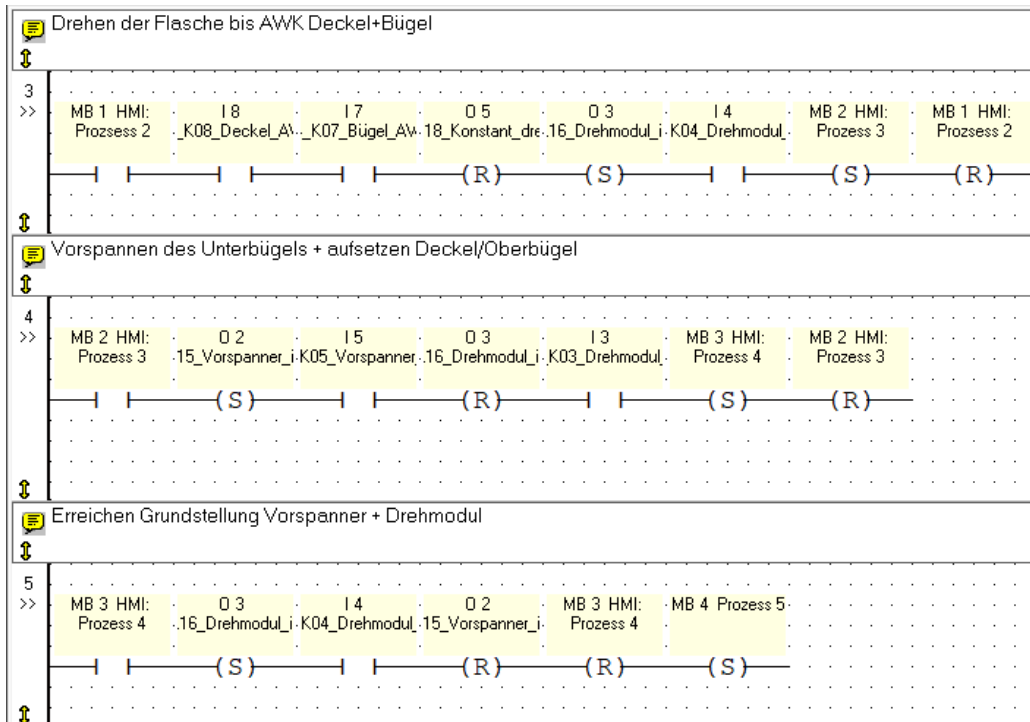
Befindet sich nun eine Flasche in der Anlage, wird die Arretierung ausgefahren. Im Anschluss wird die Druckumschaltung auf Niederdruck umgeschaltet und die konstante Drehung aktiviert.



Net 3: Die Lage der Flasche wird überprüft. Wenn beide Sensoren aktiv sind, wird die Drehung unterbrochen. Das Drehmodul fährt in AS.

Net 4: Der Vorspanner wird ausgefahren. Nach Erreichen der Endlage wird der Deckel durch das Drehmodul aufgesetzt.

Net 5: Drehmodul und Vorspanner fahren in GS.



Net 6: Nach Erreichen der GS des Vorspanners wird die 180-Grad-Drehung aktiviert. Anschliessend wird die Druckvorwahl auf den Hauptleitungsdruck erhöht und der Vorspanner verschliesst die Flasche.

Net 7: Erreichen der Grundstellung aller Aktoren.

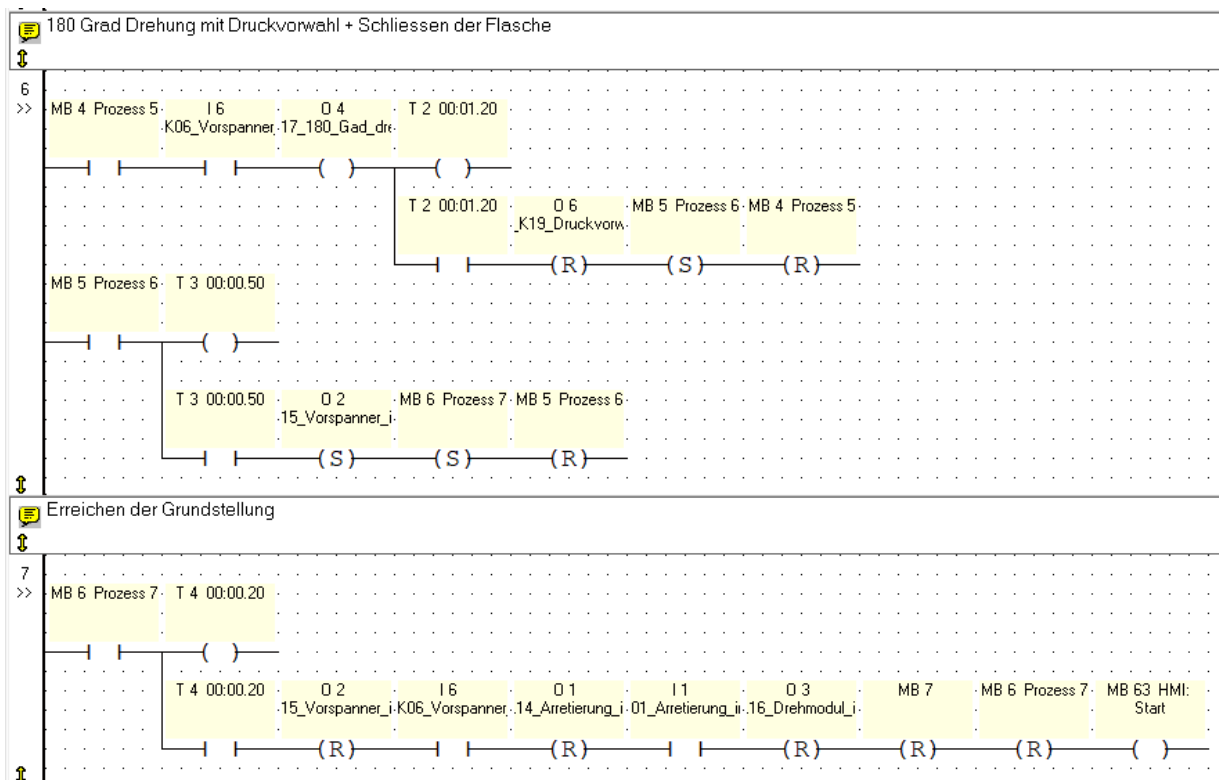


Abbildung 20 U90 Ladder Programm

8.2 Schrittmotor Software

Da mit der ausgewählten SPS-Hardware kein Schrittmotor programmiert werden kann, ist eine zusätzliche Hardware nötig. Verwendet wird ein Arduino Nano. Dieser wird über die Arduino IDE Software in C++ programmiert.

Ermitteln der Übersetzung

Der Schrittmotor hat eine angegebene Rotation von 1.8° pro Schritt. Dies ergibt 200 Schritte pro Umdrehung. Der TB600 Treiber wurde mit 8 Mikrostepps konfiguriert. Dies bedeutet, dass jeder Schritt in 8 Mikrostepps unterteilt ist.

$$200 \times 8 = 1600 \text{ Mikrostepps pro Umdrehungen}$$

Um nun die Schritte für eine halbe Umdrehung zu berechnen, muss zuerst die Übersetzung ausgerechnet werden. Dafür müssen zuerst alle bekannten ermittelt werden (Abb. 14). Anschliessend werden diese in die Formel eingesetzt.

$$\eta_{\text{klein}} = 0,5 \times \frac{72\text{mm}}{38,5\text{mm}} = \frac{36}{38,5\text{mm}} \cong 0,935$$

Danach wird das Übersetzungsverhältnis mit Anzahl der Schritte multipliziert, um die Mikrostepps für eine halbe Drehung zu erhalten.

$$1600 \times 0,935 = \mathbf{1496}$$

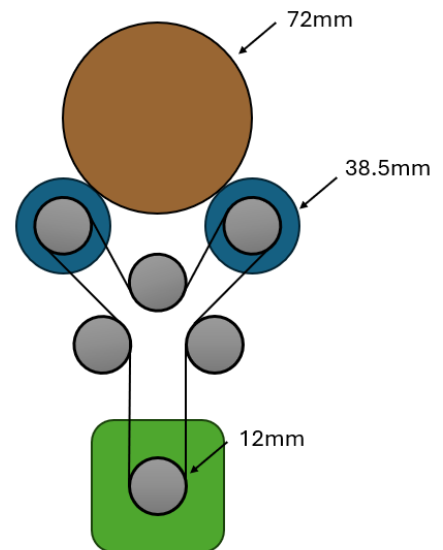


Abbildung 21 Anschauungsabbildung Übersetzung

Die minimale Pulsbreite für den TB6600 beträgt $2,2 \mu\text{s}$. [4] In Abb. 15 als Impulsdauer t gekennzeichnet.

Die Pausendauer entspricht in der Software `stepDelayMicros`. Über diese Dauer wird die Geschwindigkeit des Schrittmotors gesteuert.

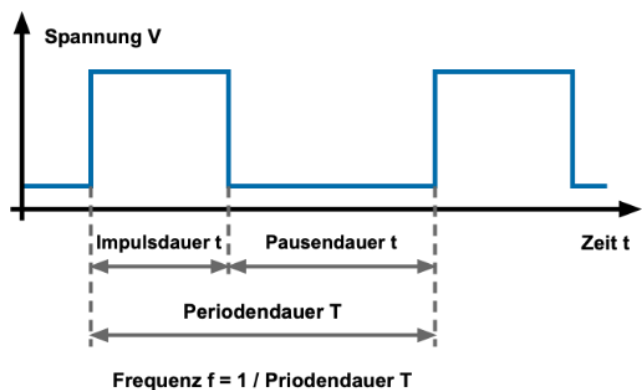


Abbildung 22 Pulsweitenmodulation [8]

Aufbau Arduino Code

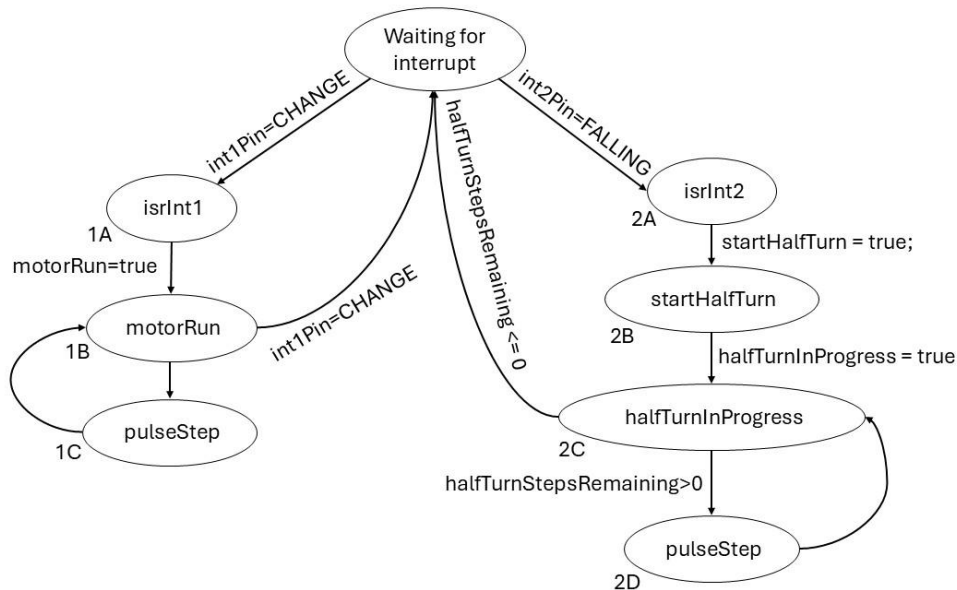


Abbildung 23 Ablaufplan Schrittmotorcode

Der Code basiert auf zwei Hauptfunktionen, konstante und halbe Umdrehung.

Um eine schnelle Um- bzw. Abschaltung des Motors gewährleisten zu können wird die Funktion **Interrupt** verwendet. Diese Funktion ist an bestimmte Eingänge gebunden. Wird nun einer dieser Eingänge getriggert, springt das Programm sofort in die entsprechende Interrupt-Funktion. Nach Abschliessen der Funktion wird der Code an der entsprechenden letzten Zeile weitergeführt.

Um blockierte Wartezeit zu umgehen, wird anstelle von Delay die Funktion `micro()` verwendet. In der fortgeschrittenen Programmierung wird diese Funktion oft verwendet, damit eine blockierte Wartezeit vermieden werden kann.

Um auf einen externen Pullup-Widerstand zu verzichten, wird dieser in der Software gesetzt. Das bedeutet, dass der Eingang auf Ground gezogen werden muss, um ein Eingangssignal zu erkennen.

Szenario 1: Konstant Umdrehung

Wird eine Flanke am int1Pin (1A) erkannt, wird **motorRun** auf **true** gesetzt (1B). Eine weitere If-Schleife überprüft, ob bereits eine Umdrehung des Motors in Gange ist. Wenn dies nicht der Fall ist, wird in der Funktion **pulseStep** (1C) ein Schritt gemacht. Dies wird so lange gemacht, bis keine Flanke erkannt wird. Andernfalls wird **lastMotorRun** auf **false** gesetzt.

Szenario 2: 180° Umdrehung

Die zweite Funktion wird ebenfalls durch ein Interrupt aufgerufen (2A). In dieser Funktion wird zuerst geprüft, ob eine halbe Umdrehung aktiv ist. Ist dies nicht der Fall, wird **startHalfTurn** auf **True** gesetzt. Dort werden die nötigen Schritte für eine halbe Umdrehung festgelegt (2B). Nach diesem Schritt wird in die Funktion **halfTurnInProgress** (2C) gewechselt. Hier wird nun die Funktion **pulseStep** (2D) aufgerufen. Anschliessend wird von **halfTurnStepsRemaining**

nach jedem Durchlauf minus eins abgezogen, bis diese Variable null ist. Ist die halbe Umdrehung nun vollständig ausgeführt, wird die Funktion verlassen.

9 Bau und Test des Prototypen

9.1 Aufbau

Der Aufbau der gesamten Anlage erfolgt auf einer Grundplatte aus vernickeltem Stahl. Auf der Platte sollen alle Komponenten wie Ventile (3), Schrittmotorsteuerung (1) und Klemmenkasten (2) Platz finden. Die SPS-Steuerung wird über ein 27 Pol D Sub Kabel mit dem Klemmenkasten verbunden.

Der gesamte Verschlussmechanismus wird an zwei 50x50 Aluminium-T-Nut-Profilen befestigt. Diese Bauweise ermöglicht nicht nur eine stabile Grundstruktur, sondern erleichtert auch den späteren Einrichtbetrieb, beispielsweise beim Justieren von Sensoren oder dem Nachrüsten zusätzlicher Komponenten. Kabel, Ventile und weitere Bauteile können flexibel an den Profilen befestigt werden, wodurch eine saubere und aufgeräumte Leitungsführung gewährleistet wird.

Alle Elektronikkomponenten der Schrittmotorsteuerung sind auf einer DIN-Schiene montiert. Um eine einfache Demontage und Austauschbarkeit zu ermöglichen, wurden hierfür eigens Halterungen mittels 3D-Druck gefertigt.

Die Halterungen für die Lauf- und Antriebsrollen wurden aus Aluminium gefertigt, um den beim Verschiessen auftretenden hohen Kräften zuverlässig standzuhalten. In die Antriebsrollenhalter sind Kugellager eingepresst, die für einen reibungsarmen und langlebigen Lauf sorgen.

Die Rollen selbst bestehen aus einem Polyamidstab. Dieses Material wurde aufgrund seiner hohen Verschleissfestigkeit und geringen Reibung ausgewählt. Zur Verbesserung der Kraftübertragung und um ein Durchrutschen der Flasche zu verhindern, wurden an den Antriebs- und Laufrollen versetzt O-Ringe angebracht. Dadurch entsteht ein gleichmässiger Anpressdruck, der die Flasche während des gesamten Verschlussprozesses stabil führt.

Zusätzlich wurden die Komponenten so angeordnet, dass eine einfache Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten möglich ist. Kabelwege sind bewusst kurz gehalten, um Signalverluste zu minimieren. Die Anschlüsse der Steuerung sind klar und gut sichtbar beschriftet. Dies erleichtert sowohl die Inbetriebnahme als auch eine mögliche Fehlersuche im späteren Betrieb.

Der Aufbau ist so gemacht, dass einzelne Teile einfach ausgetauscht oder erweitert werden können. Dadurch lässt sich die Maschine später leicht an andere Flaschen oder Verschlüsse anpassen. Auch bei Reparaturen oder Änderungen ist der modulare Aufbau von Vorteil, weil nicht die ganze Anlage zerlegt werden muss.

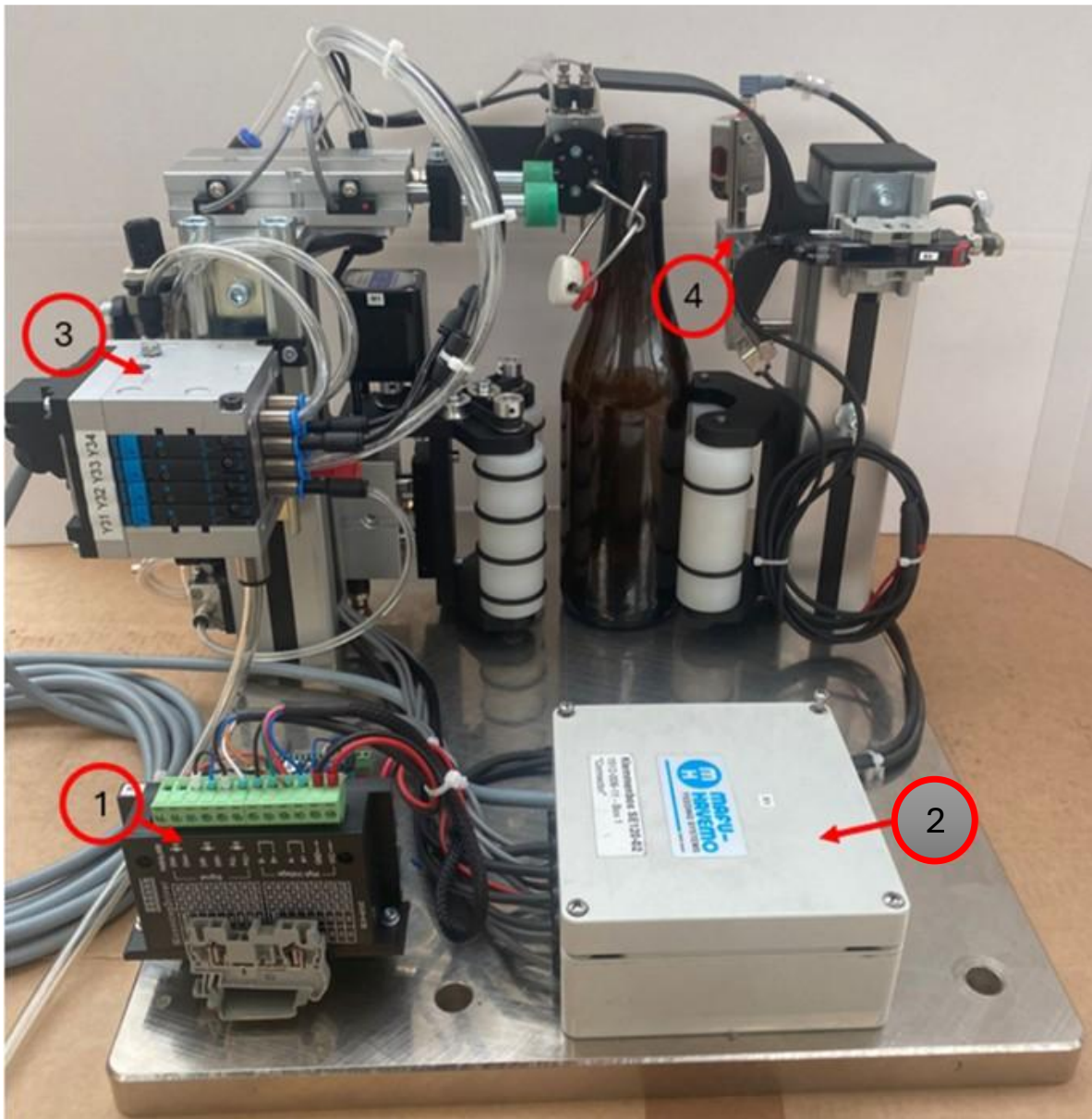


Abbildung 24 Aufbau

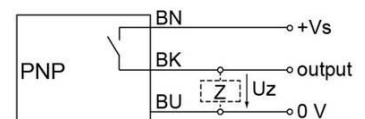
9.2 Sensorik

D-M9P

Die Erkennung aller Positionen erfolgt über mehrere Sensoren. Die Pneumatikzylinder werden mittels D-M9P abgefragt. Dieser Sensor ist ein solid state auto switch. Im Vergleich zu einem normalen Reed-Schalter hat dieser Sensor keine mechanischen Komponenten, sondern elektronische Magnetsensoren.

Der Vorteil ist die erheblich höhere Lebensdauer im Vergleich zu Reed-Schaltern. Ebenfalls gibt es keine Gefahr von Kontaktprellen.

PNP Schliesser (NO)



Zustand	U _z	LED
unbedämpft	low	off
bedämpft	high	on

Abbildung 25 Schema PNP Sensor [9]

LR-Z

Der LR-Z Sensor von Keyence ist ein optischer CMOS-Sensor. Mittels der Triangulationsmethode wird der Abstand zuverlässig berechnet. Diese Methode funktioniert auch bei komplexen Formen und Farbabweichungen zuverlässig

Über das integrierte Bedienfeld am Sensor können zwei Positionen eingespeichert werden und so der Schaltpunkt definiert werden.

[5]



Abbildung 26 LR-Z Sensor [5]

LR-X

Der LR-X funktioniert gleich wie der LR-Z. Der Unterschied zwischen den beiden besteht beim Lichtfleck. Der LR-X hat einen grünen und der LR-Z einen roten Lichtfleck. Diese Eigenschaft ist vor allem bei dunklen Oberflächen nötig, da der grüne Punkt bis zu 4x heller ist.

Triangulationsmethode: Bei der Triangulationsmethode wird ein Laser auf das Objekt projiziert. Durch eine Kamera im Winkel dazu beobachtet, wo dieser Punkt auf dem Sensor landet. Je nach Objektentfernung verschiebt sich die Position des Punktes. Aus dieser Verschiebung lässt sich über geometrische Funktionen der Abstand berechnen. [6]



Abbildung 27 LR-X Sensor [6]

Die Sensoren werden mittels Säulen und Säulenlenkungen (Abb:28.) befestigt. Dies ermöglicht, dass die Sensoren frei einstellbar sind.

Der Sensor LR-Z (Abb. 28. 1) erkennt den Bügel.

Dabei ist der Sensor auf die Stelle gerichtet, bei der der Bügel mit der Flasche verbunden ist. Diese Stelle, der an der Flasche ist, die einzige stelle, die eine genaue Positionsabfrage ermöglicht.

Die Flasche dreht sich im Uhrzeigersinn. Der Sensor zündet unmittelbar vor den Bügel (Abb: 29)

Zusätzlich braucht es einen weiteren Sensor (Abb. 28. 2) um die Orientierung des Deckels zu überprüfen, da der erste Sensor beide Bügel an der Flasche erkennt.

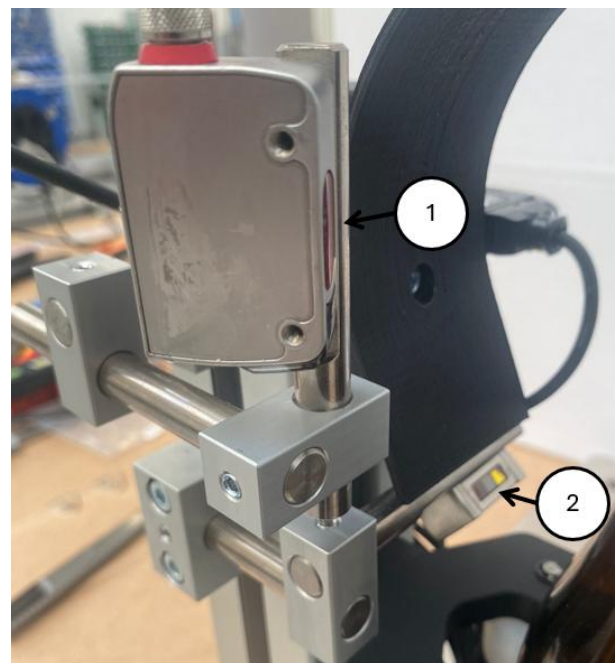


Abbildung 28 Sensoren



Abbildung 29 Abfrageposition Sensor

9.3 Test und Abnahme

Bei der Synthesearbeit wurden verschiedene Kriterien definiert, die für eine erfolgreiche Durchführung des Projektes als entscheidend erachtet werden. Diese Kriterien dienen als Massstab, um die Qualität und Zielerreichung des Projektes zu gewährleisten. Zur Sicherstellung der Einhaltung dieser Vorgaben werden die Kriterien systematisch überprüft und dokumentiert.

Die Überprüfung wurde in einem Abnahmeprotokoll festgehalten. Dieses Protokoll bildet die Grundlage für eine gemeinsame Bewertung des Projektfortschritts und der erzielten Resultate. Zusammen mit dem Geschäftsführer von «Unser Bier» wurden die einzelnen Punkte kritisch geprüft und mögliche Abweichungen analysiert. Notwendige Massnahmen für die Optimierung zum Einbau in die Anlage wurden ebenfalls besprochen.

Die Abnahme wurde erfolgreich durchgeführt und gilt als bestanden.

10 Herausforderungen und Massnahmen

Bei der Durchführung des Projektes gab es einige unerwartete Probleme, auf welche in diesem Kapitel eingegangen wird.

Vorspannzylinder hat zu wenig Kraft

Der Vorspannzylinder hat zu wenig Kraft, um den Bügel zu zudrücken.

Lösung:

Um mehr Kraft zu erlangen, wird der jetzige Zylinder gegen einen Zylinder mit dickerer Kolbenstange ausgetauscht.

Arretierzylinder hat zu wenig Kraft

Da der Vorspannzylinder stärker ist, als zu Beginn, ist nun auch der Arretierzylinder zu schwach, um dem Schliessdruck standzuhalten.

Lösung:

Um mehr Kraft zu erlangen, wird der jetzige Arretierzylinder gegen einen Zylinder mit dickerer Kolbenstange getauscht.

Wichtig hierbei ist, dass der Zylinder stärker als der Vorspannzylinder ist. Dazu wurde ein Zylinder mit 25mm Bohrungsdurchmesser verwendet. Der Vorspannzylinder hat einen Bohrungsdurchmesser von 20mm.

Motor ist zu schwach, um die Flasche zu drehen

Die Arretiervorrichtung muss mit ausreichend Kraft auf die Flasche wirken, damit diese beim Verschliessen nicht zu fest nachgibt.

Lösung:

Der Zylinder mit der Arretiervorrichtung wird über ein zusätzliches Ventil mit einem geringeren Druck angesteuert. So kann während der Ausrichtung der Flasche auf einen niedrigeren Druck umgeschaltet werden.

Dafür wird zusätzlich ein weiteres Ventil benötigt, das im Gegensatz zur Ventilinsel mit einem separaten Druck versorgt werden kann. Dieses ist für die Schaltung des Zylinders verantwortlich.

Das Zusatzventil wird pneumatisch geschaltet, um weiteren Verdrahtungen zu entgehen. Ebenfalls kann es mit dem letzten freien Ventil der Ventilinsel geschaltet werden.

Durch ein **Oder**-Ventil kann der ausgewählte Druck weitergegeben werden, ohne dass dieser über das 5/2 Ventil entlüftet wird.

Um die zusätzlichen Komponenten, wie Ventile und Druckregler zu befestigen, wurden im CAD Halterungen dafür gezeichnet. Anschliessend wurden diese mit einem 3D-Drucker ausgedruckt. Für das Gehäuse des Oder-Ventils wurde ein 3D-Drucker verwendet, der mehrere Farben gleichzeitig drucken kann.

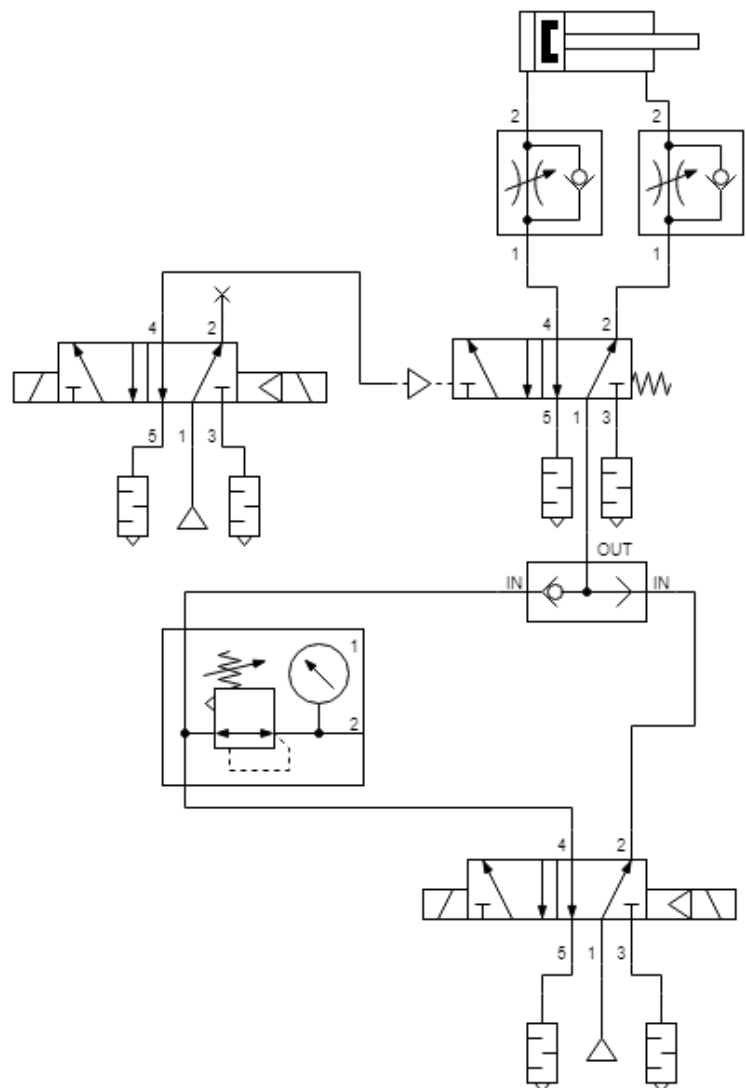


Abbildung 30 Pneumatikschema



Abbildung 31 CAD-Halterungen



Abbildung 33 Druckumschaltung



Abbildung 32 Gehäuse ODER Ventil

11 Auswertung und Zielerreichung

In diesem Kapitel werden die zuvor definierten Ziele auf deren Erreichung überprüft.

Muss-Ziele:

Autonomer Verschliessprozess und Gesamtprozess:

Der Prototyp ist in der Lage, den Bügelverschluss automatisch, ohne manuelles Eingreifen zu schliessen.

Sensorik

Die eingesetzten Sensoren kommunizieren zuverlässig mit der Steuerung und liefern die relevanten Prozessinformationen.

In den Tests wurden alle Positionen und Zustände korrekt erkannt.

Die Zuverlässigkeit ist somit gewährleistet.

Um die Fehlerrisiken zu minimieren, könnte optional ein Encoder an einer der beiden Laufrollen befestigt werden. So wird gewährleistet, dass die Flasche auch effektiv eine halbe Umdrehung macht.

Ansteuerung aller Aktoren:

Alle Aktoren wie Schrittmotor und Zylinder konnten gezielt angesteuert werden. Alle Endlagen werden eindeutig erkannt und an die Steuerung rückgemeldet. Dies ermöglicht einen fehlerfreien Ablauf.

Grundlegende Steuerungslogik:

Die eingesetzte Unitronics-SPS bildet den Ablauf nachvollziehbar ab und steuert den Prozess sicher. Die 24V-Infrastruktur konnte vollständig integriert werden.

Mechanische Stabilität:

Der mechanische Aufbau hielt allen Testzyklen stand und zeigte keine strukturellen Schäden. Die Robustheit des Prototyps müsste für eine reale Anlage noch ein wenig überarbeitet werden.

Die Rundpuffer, die für das Vorspannen und Verschliessen verantwortlich sind, weisen Verschleiss Spuren auf. Es müsste in einem Dauerlauf geprüft werden, wie lange ihre Lebensdauer ist und ob es bessere Alternativen gibt.

Testfähigkeit im Labor:

Alle Funktionen konnten unter Laborbedingungen getestet und validiert werden. Eine Integration in die Produktionslinie war für den Proof of Concept nicht erforderlich.

Einhaltung des Budgets:

Im Rahmen der Vorbesprechung wurde ein Budget von 1000 CHF vereinbart. Die verwendeten Ressourcen beliefen sich auf einen Betrag von 521.65 CHF. Der Grund, weshalb sich die effektiven Kosten nur auf die Hälfte beliefen, lag darin, dass der Grossteil der Komponenten von der Firma MAFU Havemo zur Verfügung gestellt wurde.

Kann-Ziele:

Leistungsfähigkeit:

Die Zielgrösse von > 3'000 Flaschen pro Stunde wurde mit dem Prototyp nicht erreicht. Die Testleistung lag deutlich darunter, womit die gewünschte Produktivität (noch) nicht gegeben ist.

Minimierung von Ausfallzeiten:

Eine konstante Prozessleistung von ca. 2'500 Flaschen pro Stunde konnte nicht nachgewiesen werden. Zwar war der Ablauf stabil, die Zykluszeiten jedoch zu lang. Eine Integration in z.B eine Rundtaktanlage wäre notwendig, um mehrere Schritte gleichzeitig zu bearbeiten.

Einfache Bedienbarkeit:

Die Bedienung der Anlage erfolgt über das Display der SPS-Steuerung. Auf dem Display wird der aktuelle Schritt sowie Fehler angezeigt.

Wartungsfreundlichkeit:

Die Komponenten sind grundsätzlich zugänglich, allerdings erfordert der Austausch teilweise technische Vorkenntnisse. Eine weitere Optimierung der Wartungsfreundlichkeit wäre sinnvoll.

12 Reflexion

12.1 Reflexion zur Arbeit

Mit dieser Arbeit konnten einige wertvolle Erkenntnisse über das Prinzip und die Funktionsweise gesammelt werden. In einem weiteren Schritt kann das gesammelte Wissen genutzt werden, um die Anlage weiterzuentwickeln. So können Ausfallszeiten und verschleiss minimiert werden, da die Schwachstellen identifiziert und festgehalten wurden.

Weitere Schritte, wie Maschinenrichtlinien und Sicherheitsaspekte müssten im Anschluss geprüft werden und berücksichtigt werden, da diese Punkte ausserhalb der jetzigen Systemgrenze liegen.

Trotz einiger Hürden und Hindernisse konnte die Arbeit zur Zufriedenheit aller Projektpartner erfolgreich abgeschlossen werden.

12.2 Persönliche Reflexion

Besonders Freude in dieser Arbeit bereitete mir die enge Verknüpfung von Mechanik und Elektronik. Das Projekt bot mir die Möglichkeit, eine grosse Bandbreite meines Wissens praktisch anzuwenden: von Mathematik, Elektronik und Elektrotechnik über SPS-Programmierung und Datenanbindung bis hin zu Mikrocomputertechnik, Sensorik und Softwareentwicklung. Dadurch konnte ich meine Kenntnisse vertiefen und festigen.

Mir wurde bewusst, dass es für beinahe jedes Problem eine passende Lösung gibt. Wichtig dabei ist, sich nicht in einer Richtung festzufahren. Besonders hilfreich ist es, frühzeitig Rückmeldungen von Teamkollegen oder Mitstudierenden einzuholen. Dadurch lässt sich der eigene Horizont erweitern und der Blickwinkel auf neue Ansätze öffnen.

Ebenso habe ich gelernt, komplexe Herausforderungen Schritt für Schritt zu zerlegen und so auch mit begrenzten Ressourcen praktikable Lösungen zu entwickeln. Diese Erfahrung hat mir gezeigt, wie wichtig ein strukturiertes Vorgehen, aber auch Kreativität und Flexibilität im Umgang mit Problemen sind.

Insgesamt hat mir die Arbeit nicht nur fachlich viel gebracht, sondern auch meine persönliche Herangehensweise an Projekte geprägt: lösungsorientiert, offen für Feedback und mit dem Bewusstsein, dass Rückschläge Teil des Prozesses sind.

Ich sehe meiner weiteren beruflichen Laufbahn mit Freude entgegen und bin gespannt, mein erworbenes Wissen in der Praxis anwenden und erweitern zu können.

13 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe verfasst habe. Alle verwendeten Quellen und Hilfsmittel wurden im Literaturverzeichnis angegeben. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Liestal 29.9.2025

Ort/ Datum



Unterschrift

14 Disclaimer

Bei der Erstellung dieser Arbeit wurde ChatGPT (OpenAI, Version 5) unterstützend eingesetzt.

Die KI wurde ausschliesslich verwendet, um erste Textentwürfe zu strukturieren, sprachliche Formulierungen zu verbessern oder Rechercheideen zu generieren.

Alle inhaltlichen Entscheidungen, Bewertungen und Schlussfolgerungen wurden von der Verfasserin/dem Verfasser selbst getroffen.

15 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Abgrenzungsgrafik	9
Abbildung 2 Förderband nach Abfüllmaschine	10
Abbildung 3 PSP	12
Abbildung 4 Gantt-Diagramm	17
Abbildung 5 SWOT-Analyse Matrix	18
Abbildung 6 BVH 3.5 [2]	21
Abbildung 7 Prinzip Rundtaktanlage	22
Abbildung 8 Rückhalteschnecke [3]	22
Abbildung 9 konzeptzeichnung Prototypanlage	23
Abbildung 10 Vorspannmechanismus mit Drehvorrichtung	25
Abbildung 11 Spannen des Unterbügels	25
Abbildung 12 Aufsetzvorrichtung mit Führungshilfe	26
Abbildung 13 Gesamtanlage	26
Abbildung 14 Prinzipschema	27
Abbildung 15 Falsdat Schema Optokoppler (Quelle: Falstad)	27
Abbildung 16 2 Kanal Optokoppler Board	27
Abbildung 17 Montage auf DIN-Schiene	27
Abbildung 18 U90 Ladder	28
Abbildung 19 U90 Ladder HMI	29
Abbildung 20 U90 Ladder Programm	31
Abbildung 21 Anschauungsabbildung Übersetzung	32
Abbildung 22 Pulsweitenmodulation [8]	32
Abbildung 23 Ablaufplan Schrittmotorcode	33
Abbildung 24 Aufbau	35
Abbildung 25 Schema PNP Sensor [9]	35
Abbildung 26 LR-Z Sensor [5]	36
Abbildung 27 LR-X Sensor [6]	36
Abbildung 28 Sensoren	36
Abbildung 29 Abfrageposition Sensor	37
Abbildung 30 Pneumatikschema	38
Abbildung 31 CAD-Halterungen	39
Abbildung 32 Gehäuse ODER Ventil	39
Abbildung 33 Druckumschaltung	39

Alle Abbildungen ohne Referenzangabe sind eigens erstellte Grafiken oder Bilder.

16 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Stakeholderanalyse	11
Tabelle 2 SWOT-Analyse Bedrohungen	19
Tabelle 3 SWOT-Analyse Bedrohungen	20
Tabelle 4 Nutzwertanalyse	24

17 Literaturverzeichnis

- [1] „<https://www.youtube.com/@AmsGetraenketechnik>“, AMS, [Online]. Available: <https://www.youtube.com/@AmsGetraenketechnik>.
- [2] „www.rico-maschinenbau.de/“, rico-maschinenbau, [Online]. Available: www.rico-maschinenbau.de/.
- [3] „Youtube“, Rolf Schmidt Industri Plast, [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=9nJZdGpmqHY&ab_channel=RolfSchmidtIndustriPlast-rsip.com.
- [4] Mixos, „www.electronics-lab.com“, 25 Mai 2016. [Online]. Available: https://www.electronics-lab.com/project/4-5amps-bipolar-stepper-motor-driver-based-on-tb6600/?utm_source=chatgpt.com.
- [5] Keyence LR-Z, „Keyence.eu“, 2025. [Online]. Available: <https://www.keyence.eu/dede/products/sensor/photoelectric/lr-z/>.
- [6] Keyence LR-X, „Keyence.eu“, 2025. [Online]. Available: <https://www.keyence.eu/dede/products/sensor/photoelectric/lr-x/>.
- [7] Wikipedia, „Wikipedia.org“, 2 8 2023. [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Triangulation_%28Messtechnik%29.
- [8] „elektronik-kompendium“, [Online]. Available: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/0401111.htm>.
- [9] „baumer“, baumer, [Online]. Available: https://www.baumer.com/ch/de/service-support/inbetriebnahme-montage/inbetriebnahme-und-montage-von-induktiven-sensoren/a/Know-how_Mounting_Inductive-sensors.

18 Glossar

AWK	Anwesenheitskontrolle
GS	Grundstellung
AS	Arbeitsstellung
KOP	Kontaktplan
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung

19 Schlusswort

Mit dieser Diplomarbeit konnte gezeigt werden, dass der Verschliessprozess von Bügelflaschen auch mit einem Low-Cost-Ansatz technisch realisierbar ist. Der entwickelte Prototyp bildet die wesentlichen Schritte des automatisierten Verschliessens ab und liefert damit einen wichtigen Nachweis für die Machbarkeit.

Die Arbeit bot viele spannenden Herausforderungen, die mir nicht nur neue technische Kenntnisse vermittelt, sondern auch meine Fähigkeit zum strukturierten und lösungsorientierten Arbeiten gestärkt haben.

Auch wenn für einen industriellen Einsatz noch weitere Optimierungen erforderlich wären, legt diese Arbeit die Grundlage für zukünftige Entwicklungen. Gleichzeitig zeigt sie, wie wertvoll praxisnahe Projekte sind, um theoretisches Wissen anzuwenden und zu vertiefen.

Ich blicke mit Freude darauf, dass in dieser Diplomarbeit erarbeitete Wissen in weiteren Projekten einzusetzen und weiter auszubauen.

20 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben und mich auf diesem Weg begleitet haben. Ohne ihre Unterstützung wäre die erfolgreiche Umsetzung in dieser Form nicht möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der Firma **MAFU Havemo**. Durch ihre fachliche Kompetenz, ihre Bereitschaft zum Austausch und die konstruktiven Rückmeldungen konnte ich wertvolle Einblicke gewinnen und meine Arbeit inhaltlich erheblich bereichern. Ebenso danke ich der Firma **MAFU Havemo** dafür, dass sie mir grosszügig eine Vielzahl an Komponenten leihweise zur Verfügung gestellt hat.

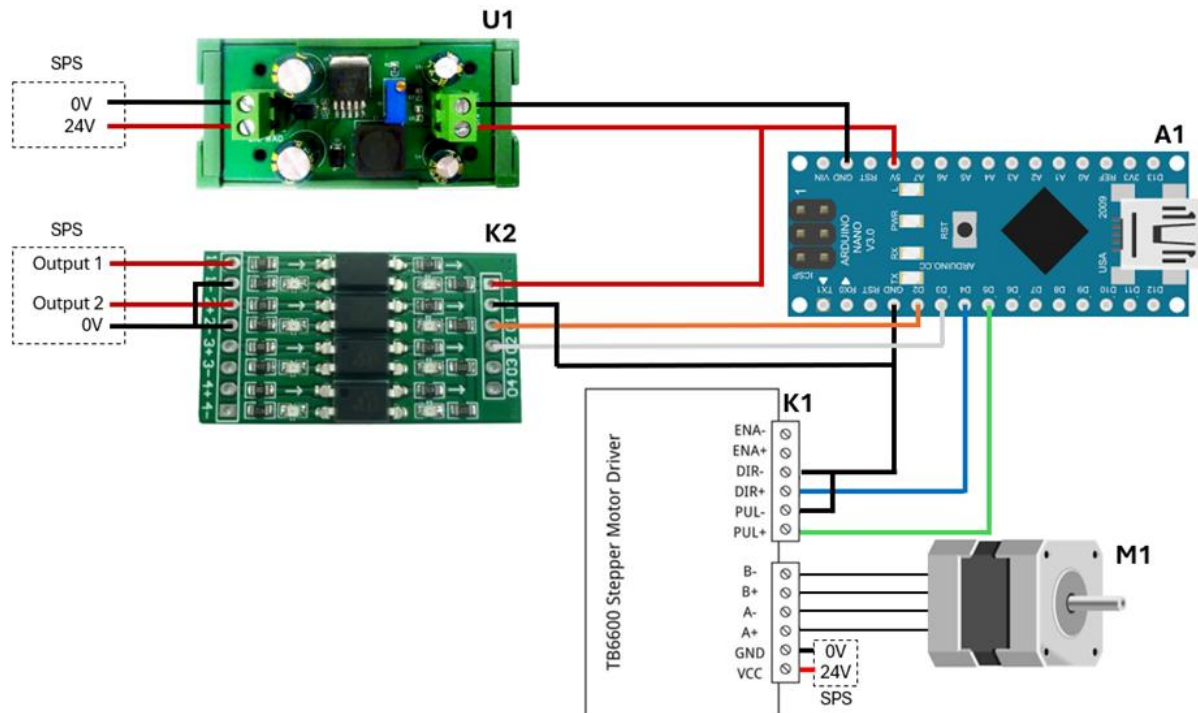
Darüber hinaus möchte ich mich bei meinem Diplomlehrer **Lukas Kurmann** bedanken. Er stand mir während der gesamten Arbeit mit grossem Engagement, fachlicher Unterstützung und motivierenden Worten zur Seite. Seine hilfreichen Anregungen, seine Geduld sowie seine konstruktive Kritik haben entscheidend dazu beigetragen, die Qualität dieser Arbeit zu sichern und mich persönlich wie fachlich weiterzuentwickeln.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Mitstudenten für den regen Austausch während der Diplomarbeit bedanken. Besonderer Dank gilt **Fabian Jost** für das 3D-Drucken des zweifarbigen Gehäuses des Oder-Ventils.

Abschliessend danke ich allen, die mich in dieser intensiven Zeit begleitet haben – sei es durch hilfreiche Diskussionen, durch praktische Unterstützung oder einfach durch ihr Verständnis und ihre Ermutigung. Ihnen allen gilt meine aufrichtige Dankbarkeit.

21 Anhang

Schema Schrittmotorsteuerung



```
1 // Pins TB6600
2 const int stepPin = 4;
3 const int dirPin = 5;
4
5 // Interrupt-Eingänge
6 const int int1Pin = 2; // Interrupt 0
7 const int int2Pin = 3; // Interrupt 1
8
9 // Motor Parameter
10 const int stepsPerRevolution = 200; // NEMA17: 1.8° pro Schritt
11 const int microstepSetting = 8; // TB6600 DIP-Schalter einstellen
12 const int stepDelayMicros = 800; // Geschwindigkeit (µs zwischen Steps)
13
14 volatile bool motorRun = false;
15 volatile bool startHalfTurn = false;
16 volatile bool halfTurnInProgress = false;
17 volatile long halfTurnStepsRemaining = 0;
18
19 void setup() {
20     pinMode(stepPin, OUTPUT);
21     pinMode(dirPin, OUTPUT);
22
23     // Eingänge mit internem Pullup → Signal muss nach GND geschaltet werden
24     pinMode(int1Pin, INPUT_PULLUP);
25     pinMode(int2Pin, INPUT_PULLUP);
26
27     digitalWrite(dirPin, HIGH); // Drehrichtung (ggf. ändern)
28
29     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(int1Pin), isrInt1, CHANGE);
30     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(int2Pin), isrInt2, FALLING);
31
32     Serial.begin(9600);
33     Serial.println("System gestartet.");
34 }
35
```

```
36 void loop() {
37     static unsigned long lastStepTime = 0;
38     static bool lastMotorRun = false;
39     static bool lastHalfTurnInProgress = false;
40
41     // Dauerbetrieb bei INT1
42     if (motorRun) {
43         if (!lastMotorRun) {
44             Serial.println("Motor START: Dauerlauf (INT1 Signal aktiv).");
45             lastMotorRun = true;
46         }
47         //Zeit zwischen den Steps
48         if (micros() - lastStepTime >= stepDelayMicros) {
49             pulseStep();
50             lastStepTime = micros();
51         }
52     } else {
53         if (lastMotorRun) {
54             Serial.println("Motor STOP: Dauerlauf beendet (INT1 Signal aus).");
55             lastMotorRun = false;
56         }
57     }
58
59     // Einmalige 180°-Drehung bei INT2
60     if (startHalfTurn) {
61         halfTurnStepsRemaining = (1496); //Schritte für eine halbe Umdrehung
62         halfTurnInProgress = true;
63         startHalfTurn = false;
64         Serial.println("Motor START: 180 Grad Drehung (INT2 Impuls).");
65     }
66 }
```

```
67     if (halfTurnInProgress) {
68         if (micros() - lastStepTime >= stepDelayMicros) {
69             pulseStep();
70             halfTurnStepsRemaining--;
71             lastStepTime = micros();
72             if (halfTurnStepsRemaining <= 0) {
73                 halfTurnInProgress = false;
74                 Serial.println("Motor STOP: 180 Grad Drehung beendet.");
75             }
76         }
77     }
78
79     lastHalfTurnInProgress = halfTurnInProgress;
80 }
81
82 void pulseStep() {
83     digitalWrite(stepPin, HIGH);
84     delayMicroseconds(2); // TB6600 min. Pulsbreite
85     digitalWrite(stepPin, LOW);
86 }
87
88 void isrInt1() {
89     // invertierte Logik wegen Pullup: LOW = aktiv
90     motorRun = (digitalRead(int1Pin) == LOW);
91 }
92
93 void isrInt2() {
94     if (!halfTurnInProgress) {
95         startHalfTurn = true;
96     }
97 }
```