

Diplomarbeit



Lösungen, die Menschen bewegen.

Teilprozessoptimierung in der Stromabnehmer-Montage mit Prototyprealisierung

Diplomand: Ramadan Ramadani

Schule: TEKO Olten

Klasse: O-TUP-23-T-a

Ausbildung: Prozesstechniker HF

Jahr: 2026

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Management Summary	4
3	Kurzer beruflicher Lebenslauf.....	6
4	Qualifikationsprofil	9
5	Projektinitialisierung.....	11
5.1	Pflichtenheft	11
5.1.1	Vorstellung der Firma	12
5.1.2	Ausgangslage	13
5.1.3	Problemstellung	13
5.1.4	Zielsetzung	14
5.1.5	Projektabgrenzung	14
5.2	Zielscheibe	15
5.3	Aufgabenstellung	16
6	Projektplanung	17
6.1	Vorgehensmodell.....	17
6.2	Projektstrukturplanung.....	18
6.3	Projektablaufplanung	19
6.3.1	Meilensteine.....	19
6.4	Kommunikationsplanung	20
6.5	Risikoanalyse.....	21
7	Projektrealisierung	24
7.1	Analyse	24
7.1.1	Stromabnehmer-Portfolio und Befestigungslayouts.....	24
7.1.2	Abgrenzung des untersuchten Teilprozesses.....	25
7.1.3	Eingesetzte Ressourcen.....	25
7.1.4	Beschreibung des heutigen Ist-Prozesses.....	26
7.1.5	Grafische Darstellung des Ist-Prozesses (Swimlane).....	27
7.1.6	Zeitmessungen am Referenzauftrag	28
7.1.7	Engpassanalyse	28
7.1.8	Verschwendungsanalyse nach Lean (7 Arten)	30
7.1.9	Kennzahlen des Ist-Zustands.....	31
7.1.10	Zusammenfassung und Überleitung	31
7.2	Kreativitätsmethode <Mindmap>.....	32
7.3	Priorisierungsmethode <Paarvergleich>	33
7.4	Variantenbildung.....	35
7.4.1	Kurzbeschreibung der Variante 1 <Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten>	35
7.4.2	Kurzbeschreibung der Variante 2 <Zusätzliche Lehren + Prüfgeräte>	37
7.4.3	Kurzbeschreibung der Variante 3 <Neue Spezial-Hubwagen + Prüfgeräte>	38

7.4.4	Zusammenfassende Gegenüberstellung	40
7.5	Evaluation der geeignetsten Variante	41
7.5.1	Präferenzmatrix	41
7.5.2	Nutzwertanalyse	43
7.5.3	Sensitivitätsanalyse	44
7.5.4	Resultat der Variantenevaluation	46
8	Ausarbeitung der Variante <Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten>.....	48
8.1	Phasenplan zur Umsetzung der Variante <Titel>	48
8.2	SWOT - Analyse	53
8.3	Risiko - Analyse	55
8.4	Kosten-Nutzen-Analyse.....	57
8.4.1	Investitionskosten	57
8.4.2	Jährlicher Nutzen.....	57
8.4.3	ROI Berechnung	59
8.4.4	Sensitivitäts-Check der ROI-Berechnung	59
8.4.5	Zusammenfassung und Empfehlung	59
9	Projektabschluss.....	60
9.1	Projektüberwachung	60
9.2	Evaluation der Zielerreichung.....	61
9.3	Reflexion Weg zum Ziel.....	61
9.4	Lessons learnt.....	62
9.5	Ausblicke.....	63
10	Eigenständigkeitserklärung.....	65
11	Verzeichnisse.....	66
11.1	Abbildungsverzeichnis	66
11.2	Tabellenverzeichnis	66
11.3	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	67
12	Anhang.....	68
12.1	Projektstatusberichte	68
12.2	KVP-Karten	76
12.3	Skizzen Variante 1	79
12.4	Design Variante 1	82
12.5	Prototyp.....	83
12.6	Rohmaterial.....	85

2 Management Summary

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Teilprozessoptimierung in der Stromabnehmer-Montage der Richard AG. Ziel war es, den bestehenden Engpass im Montage- und Prüfprozess aufzulösen und die Produktionsleistung von heute 2,7 auf 5 Stromabnehmer pro Tag zu steigern. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde ein funktionsfähiger Prototyp entwickelt, gefertigt und erfolgreich getestet.

Ausgangslage

Die Richard AG mit Hauptsitz in Murgenthal ist seit über 115 Jahren als Zulieferer in der Bahnindustrie tätig und produziert unter anderem Stromabnehmer für elektrische Schienenfahrzeuge. Seit 2021 verfolgt das Unternehmen konsequent die Einführung der Lean-Methodik. Im Jahr 2026 sollte auch die Stromabnehmer-Montage nach Lean-Prinzipien optimiert werden.

Im heutigen Prozess wird die einzige vorhandene Lehre sowohl für die Vormontage der Isolatoren als auch für die Endprüfung der fertigen Stromabnehmer verwendet. Dadurch blockieren sich Montage und Prüfung gegenseitig, was zu Wartezeiten, Unterbrüchen und einer Produktionsleistung von nur 2,7 statt der angestrebten 5 Stromabnehmern pro Tag führte. Die Geschäftsleitung gab als Vorgabe einen Return on Investment von maximal 2,5 Jahren vor.

Vorgehen

Die Arbeit wurde nach dem 4-Phasenmodell strukturiert. In der Analyse-Phase wurde der Ist-Prozess detailliert aufgenommen, die Lehre rechnerisch als zentraler Engpass identifiziert (theoretisches Maximum mit einer Lehre: 3,3 Stromabnehmer pro Tag) und nach den sieben Lean-Verschwendungsarten untersucht.

Auf dieser Basis wurden mittels Mindmap fünf Lösungsansätze entwickelt und mittels Paarvergleich auf drei Hauptvarianten reduziert. Die anschliessende Evaluation erfolgte in drei methodischen Schritten: Präferenzmatrix zur Gewichtung der Bewertungskriterien, Nutzwertanalyse zur Bewertung der Varianten und Sensitivitätsanalyse zur Prüfung der Robustheit des Resultats. Variante 1 – Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten – wurde als beste Lösung ermittelt und gewinnt in allen geprüften Szenarien.

Die gewählte Variante wurde anschliessend als Prototyp konstruiert, gefertigt und am Hubwagen montiert. Die Konstruktion erfolgte in MasterCam, die Fertigung intern auf der 3-Achsen-Fräsmaschine Mynx 750. Die Validierung erfolgte durch Zeitmessungen am Produktionsauftrag PA-000127650 (Stromabnehmer RM 354-202 R2) am 13.05.2026 und 18.05.2026.

Ergebnisse

Der realisierte Prototyp beweist die technische Machbarkeit der Lösung: Vormontage der Isolatoren, Montage des Stromabnehmers und Endprüfung finden am gleichen Hubwagen statt. Sämtliche Transportzeiten zwischen Lehre und Arbeitsplatz wurden eliminiert. Die Durchlaufzeit pro Stromabnehmer wurde von 7 h 52 min auf 7 h 44 min reduziert. Die Akzeptanz und Begeisterung der Mitarbeitenden war von Anfang an gegeben.

Für die volle Wirkung der Lösung ist die Serienkonfiguration notwendig: 8 aufrüstete Hubwagen mit fest montierter Adapterplatte für das SBB-Layout (1310 × 650 mm) und aufsteckbarer Erweiterung für das EN 50206-Layout (800 × 950 mm) sowie 3 Prüfgeräte KM11. Damit werden 62 % der

3 Kurzer beruflicher Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Ramadan Ramadani
Geburtsdatum	15.03.2001
Heimatsberechtigung	Nordmazedonien
Adresse	Säliblickstrasse 23, 4665 Oftringen
Telefon	+41 78 348 15 03
E-Mail	ramadan.ramadani2001@gmail.com
Klasse	O-TUP-23-T-a, TEKO Olten



Berufliche Tätigkeiten

01.2026 – heute

Richard AG, Murgenthal

Stv. Abteilungsleiter Fertigung

- Operative und organisatorische Leitung der Fertigungs- und Schlossereiabteilung in Stellvertretung
- Sicherstellung eines reibungslosen Produktionsablaufs sowie effizienter Ressourceneinsatz
- Mitarbeiterführung in Abwesenheit des Abteilungsleiters
- Erstbemusterung sämtlicher Dreh- und Frästeile nach dem 4-Augen-Prinzip
- Ausbildung der Lernenden in CNC-Drehen und konventionellem Fräsen
- Pensum 60 % während Diplomarbeit / Weiterbildung Prozesstechniker HF

01.2025 – 12.2025

Richard AG, Murgenthal

Teamleiter Fertigung und Schlosserei

- Leitung des Teams in der Fräserei, Dreherei und Schlosserei
- Feinplanung der täglichen Arbeitsaufträge in Abstimmung mit der Abteilungsleitung
- Überwachung des Fertigungsablaufs und Sicherstellung der termingerechten Fertigstellung
- Kontrolle und Optimierung der Maschinen- und Materialauslastung
- Ausbildung der Lernenden in CNC-Drehen, CNC-Fräsen sowie konventionellem Drehen und Fräsen
- Pensum 80 % während Weiterbildung Prozesstechniker HF

09.2021 – 12.2024

Richard AG, Murgenthal

Polymechaniker EFZ — Festanstellung

- Hauptsächlich tätig im Bereich Dreherei
- Bei Bedarf Einsatz in der Fräserei
- Ab 09.2023 zusätzlich Ausbildner der Lernenden in CNC-Drehen und konventionellem Fräsen

08.2017 – 08.2021

Richard AG, Murgenthal

Berufslehre Polymechaniker EFZ

- CNC-Programmierung und -Optimierung mit MasterCam
- Instandhaltung und Einrichten von CNC-Fräs- und Drehmaschinen (Schwerpunktausbildung)
- Grundausbildung im Bereich Montage

Bildungsweg

04.2023 – heute

TEKO Schweizerische Fachschule, Olten
Weiterbildung Dipl. Prozesstechniker HF (Diplomarbeit 2026)

08.2017 – 08.2021

Berufsschule Zofingen
Polymechaniker EFZ

08.2013 – 07.2017

Sekundarschule Oftringen
Oberstufe

IT-Kenntnisse

CNC-Programmierung

Sehr gute Kenntnisse ISO-Code, Fanuc, Cimco, MasterCam

CAD

Gute Kenntnisse SolidWorks

Microsoft Office

Gute Kenntnisse SIZ Anwender I — Word, Excel, Power-Point, Outlook

Sprachkenntnisse

Albanisch

Muttersprache

Deutsch

Sehr gute Kenntnisse Wort und Schrift

Englisch

Niveau B1 Schulkenntnisse, technische Kommunikation mit externen Servicetechnikern

Französisch

Schulkenntnisse

Persönliche Stärken

- Verantwortungsbewusste und exakte Arbeitsweise
- Teamfähigkeit und organisatorisches Geschick
- Selbstständige, lösungsorientierte und initiative Vorgehensweise
- Belastbarkeit und Bereitschaft zur aktiven Mitarbeit im Tagesgeschäft
- Vernetztes Denken sowie konstruktive Kommunikation

4 Qualifikationsprofil

Persönliches Profil

Diplomierter Polymechaniker EFZ mit mehrjähriger Praxiserfahrung in der mechanischen Fertigung sowie nachgewiesener Führungs- und Ausbildungserfahrung. Aktuell tätig als Stv. Abteilungsleiter Fertigung bei der Richard AG in Murgenthal. Die Weiterbildung zum Prozesstechniker HF an der TEKO Olten wird im 2026 mit der Diplomarbeit zur Teilprozessoptimierung in der Stromabnehmer-Montage abgeschlossen.

Fach- und Methodenkompetenz

- CNC-Programmierung in MasterCam, ISO-Code, Fanuc, Cimco – mehrjährige Erfahrung an 3-Achsen-Fräsmaschinen und CNC-Drehmaschinen
- Fertigungsplanung und Arbeitsvorbereitung von Dreh-, Fräs- und Schweissprozessen bis zur Ausführungsreife (Konstruktion, Materialdisposition, Fertigungsfolge)
- Lean-Methodik: Verschwendungsanalyse (7 Mudas), Engpassanalyse, Shopfloor-Management, KVP
- Projektmanagement nach 4-Phasenmodell mit Nutzwertanalyse, Sensitivitätsanalyse, Risikoanalyse und Kosten-Nutzen-Analyse
- Definition und Auswertung von Prozesskennzahlen (KPI) zur Produktionssteuerung und Liefersituation
- Qualitätssicherung gemäss 4-Augen-Prinzip, Erstbemusterung, kontinuierliche Verbesserung

Sozial- und Führungskompetenz

- Stellvertretende Leitung der Fertigungs- und Schlossereiabteilung der Richard AG (130 Mitarbeitende), inkl. Mitarbeiterführung, Einsatz- und Urlaubsplanung
- Mehrjährige Ausbildungserfahrung mit Lernenden in CNC-Drehen, CNC-Fräsen, konventionellem Drehen und Fräsen
- Konfliktmoderation, lösungsorientierte Kommunikation, respektvoller Umgang mit Diversität im Arbeitsumfeld
- Teamorientierte Zusammenarbeit über Abteilungsgrenzen hinweg (AVOR, Montage, Qualität, Schweisserei, Lackierung)
- Schriftliche und mündliche Kommunikation adressatengerecht in Deutsch und Englisch (B1) inkl. technischer Fachterminologie

Selbstkompetenz

- Selbstständige, exakte und verantwortungsbewusste Arbeitsweise
- Belastbarkeit auch bei kurzfristigen Anforderungen und Mehrfachverantwortung (Pensum 60 % parallel zur Diplomarbeit)
- Initiative und Eigenmotivation, dokumentiert durch eigenständig erarbeitete Prozessoptimierungen (CNC-Programmstandard, Kurzstangen-Berechnung, Adapterplatten-Prototyp)
- Kontinuierliche Weiterentwicklung der eigenen Kompetenzen durch Weiterbildung HF Prozesstechnik

Konkrete Praxisbeispiele aus dem Berufsalltag

Adapterplatten-Prototyp	Eigenständige Konstruktion (MasterCam), Fertigung (Mynx 750) und Validierung eines Hubwagen-Aufbaus zur Auflösung des Engpasses an der Stromabnehmer-Lehre. ROI 0.06 Jahre, Diplomarbeit 2026.
CNC-Programmstandard	Analyse uneinheitlicher Programmaufbauten an CNC-Drehmaschinen, Erarbeitung und Einführung eines einheitlichen Standards für Programmkopf, Werkzeugbeschriftung und Programmende.
Kurzstangen-Berechnung	Optimierung des Rohmaterialbestellprozesses durch exakte Berechnungsformel (Teilelänge + 3 mm/Stk × Stückzahl + 30 mm Spannen). Reduktion von Nachbestellungen und Restmaterial.
Fertigungsstrategie Aluminiumumwelle	Analyse wiederkehrender Nacharbeit, Umstellung auf vollständiges Drehen ab Stange mit angepasstem Innendurchmesser. Vollständige Eliminierung der Nacharbeit.
Putz- und Ämtliplan Lernende	Analyse, Modellierung und Einführung eines verbindlichen Reinigungs- und Ämtliprozesses für Lernende inkl. Karteikarten und einmonatiger Testphase mit anschließender Optimierung.

5 Projektinitialisierung

5.1 Pflichtenheft

Das Pflichtenheft bildet die verbindliche Grundlage für die gesamte Diplomarbeit. Es wurde im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten erstellt und definiert sämtliche Rahmenbedingungen, Ziele und Erfolgskriterien, an denen das Projektergebnis gemessen wird.

Das Pflichtenheft wurde gemeinsam mit dem Fachexperten Urs Katzenstein (Projektleitung Lean, Richard AG) erarbeitet und am 17.03.2026 vom Diplomanden sowie vom Fachexperten unterzeichnet. Die Genehmigung durch den Diplomihrer Sandro Ryf erfolgte am 30.03.2026 zum offiziellen Start der Diplomarbeit.

Die nachfolgenden Inhalte werden in diesem Kapitel zusammengefasst und gegenüber dem ursprünglichen Pflichtenheft konsolidiert:

- Kurzvorstellung der Richard AG
- Beschreibung der Ausgangslage und Idee
- Problemstellung
- Zielsetzung mit konkreten Teilzielen und Messgrössen
- Projektabgrenzung

Das vollständige genehmigte Pflichtenheft mit Unterschriften befindet sich im Anhang.

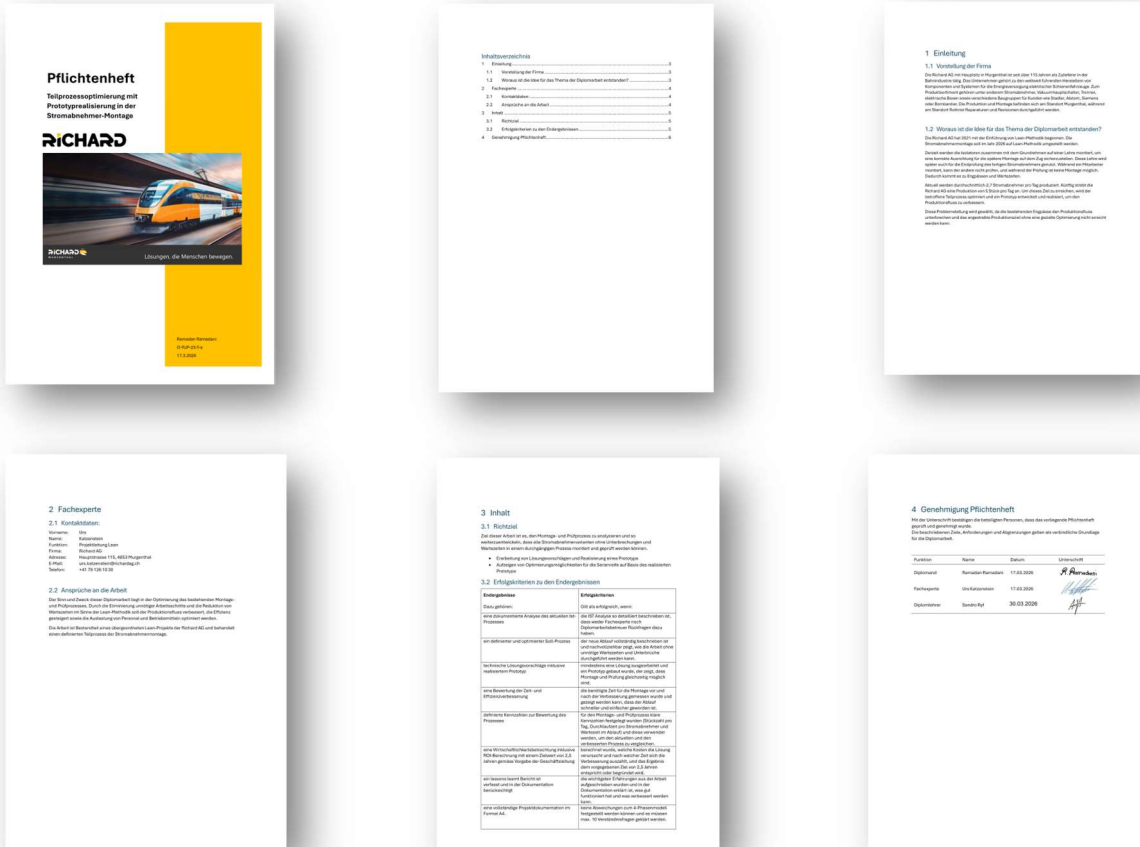


Abbildung 2: Pflichtenheft

5.1.1 Vorstellung der Firma

Die Richard AG mit Hauptsitz in Murgenthal ist seit über 115 Jahren als Zulieferer in der Bahnindustrie tätig. Das Unternehmen gehört weltweit zu den führenden Herstellern von Komponenten und Systemen für die Energieversorgung elektrischer Schienenfahrzeuge. Zum Produktsortiment gehören unter anderem Stromabnehmer, Vakuumschalter, Trenner, elektrische Boxen sowie verschiedene Baugruppen für Schienenfahrzeuge.

Die Produkte der Richard AG werden unter anderem an Kunden wie Stadler Rail, Alstom, Siemens und Bombardier geliefert. Die Produktion und Montage befinden sich am Standort Murgenthal, während am Standort Rothrist Reparaturen und Revisionen durchgeführt werden.

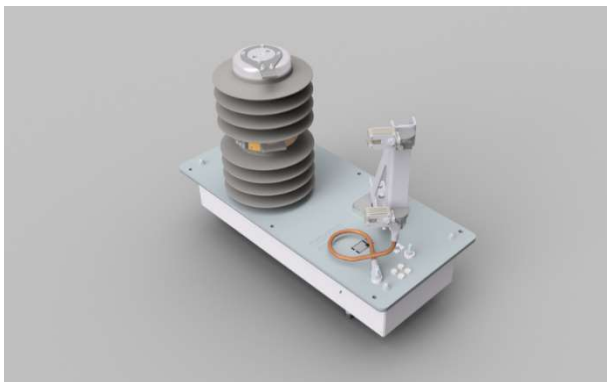


Abbildung 3 Vakuumschalter
(Quelle: <https://www.richardag.ch/elektrisch>)



Abbildung 4 Stromabnehmer
(Quelle: <https://www.richardag.ch/stromabnehmer-bahn>)

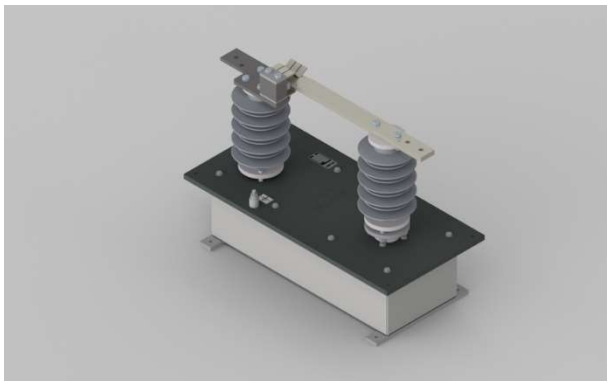


Abbildung 5 Trenner
(Quelle: <https://www.richardag.ch/dachleitungstrenner>)

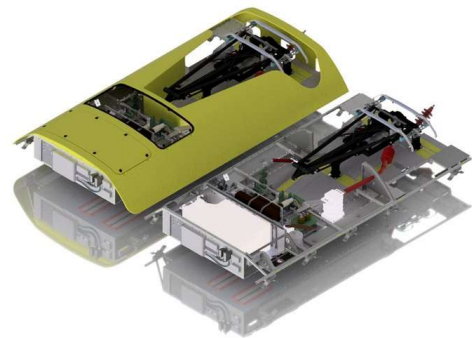


Abbildung 6 Dachboxen
(Quelle: <https://www.richardag.ch/dachbox>)

5.1.2 Ausgangslage

Seit dem Jahr 2021 verfolgt die Richard AG die Einführung der Lean-Methodik, um Produktionsprozesse effizienter zu gestalten. Im Jahr 2026 soll nun auch die Stromabnehmermontage nach Lean-Prinzipien optimiert werden.

Im heutigen Montageprozess werden die Isolatoren zusammen mit dem Grundrahmen auf einer Lehre montiert. Diese Lehre stellt sicher, dass die Bauteile später korrekt auf dem Fahrzeug montiert werden können. Dieselbe Lehre wird anschliessend ebenfalls für die Endprüfung des fertigen Stromabnehmers verwendet. Dadurch kann die Lehre jeweils nur für eine Tätigkeit genutzt werden: Entweder für die Montage oder für die Prüfung. Während ein Mitarbeitender montiert, kann kein anderer Mitarbeitender prüfen. Umgekehrt ist während der Prüfung keine weitere Montage möglich. Dadurch entstehen Wartezeiten, Unterbrechungen und ein ungleichmässiger Produktionsfluss.

Die heutige Produktionsleistung beträgt durchschnittlich 2,7 Stromabnehmer pro Tag. Das Unternehmensziel liegt jedoch bei 5 Stromabnehmern pro Tag. Mit dem bestehenden Prozess kann dieses Ziel nicht erreicht werden, da der Engpass an der Lehre den gesamten Ablauf begrenzt. Um die geforderte Produktionsleistung künftig sicherzustellen, muss der betroffene Teilprozess analysiert und verbessert werden.

5.1.3 Problemstellung

Die bestehende Lehre übernimmt heute zwei Funktionen gleichzeitig: Sie dient einerseits zur Montage der Isolatoren und andererseits zur Endprüfung des fertigen Stromabnehmers. Da nur eine Lehre vorhanden ist, blockieren sich Montage und Prüfung gegenseitig. Dies führt zu Wartezeiten, Leerlauf und unnötigen Unterbrüchen im Prozess.

Aus Sicht der Lean-Methodik handelt es sich dabei um Verschwendung in Form von Wartezeit und unzureichendem Material- und Personalfluss. Der Engpass verhindert eine kontinuierliche Bearbeitung und reduziert die Auslastung der Mitarbeitenden sowie der vorhandenen Betriebsmittel.

Die zentrale Problemstellung dieser Diplomarbeit lautet deshalb:

Wie kann der bestehende Montage- und Prüfprozess so optimiert werden, dass Montage und Prüfung gleichzeitig durchgeführt werden können und dadurch die Produktionsleistung von heute 2,7 auf künftig 5 Stromabnehmer pro Tag gesteigert wird?

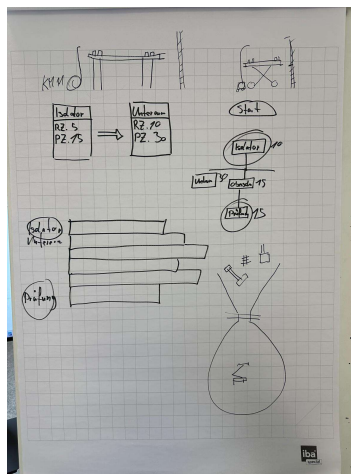


Abbildung 7: Flip-Chart Analyse

5.1.4 Zielsetzung

Ziel der Diplomarbeit ist es, den bestehenden Montage- und Prüfprozess zu analysieren und einen optimierten Soll-Prozess zu entwickeln, bei welchem sämtliche Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten und Unterbrüche montiert und geprüft werden können. Dazu sollen verschiedene Lösungsvarianten erarbeitet, bewertet und die beste Variante als Prototyp umgesetzt werden.

Folgende Teilziele werden verfolgt:

- Aufnahme und Analyse des heutigen Ist-Prozesses
- Identifikation der Ursachen für Wartezeiten und Engpässe
- Erarbeitung von mindestens drei Lösungsvarianten
- Bewertung der Varianten mittels geeigneter Methode
- Realisierung eines Prototyps
- Nachweis, dass Montage und Prüfung gleichzeitig möglich sind
- Messung der Zeit- und Effizienzverbesserung
- Definition und Vergleich geeigneter Kennzahlen
- Durchführung einer Wirtschaftlichkeits- und ROI-Berechnung
- Ableitung von Empfehlungen für eine spätere Serienlösung

Ziel	Messgrösse	Sollwert
Produktionsleistung erhöhen	Stück pro Tag	5
Wartezeiten reduzieren	Wartezeit je Auftrag	möglichst 0
Prozess beschleunigen	Durchlaufzeit	kleiner als heute
Wirtschaftlichkeit erreichen	ROI	≤ 2,5 Jahre

5.1.5 Projektbegrenzung

Die Diplomarbeit beschränkt sich auf den Teilprozess der Stromabnehmermontage, bei welchem die Isolatoren auf dem Grundrahmen montiert und anschliessend geprüft werden. Andere Produktionsbereiche der Richard AG sind nicht Bestandteil der Untersuchung.

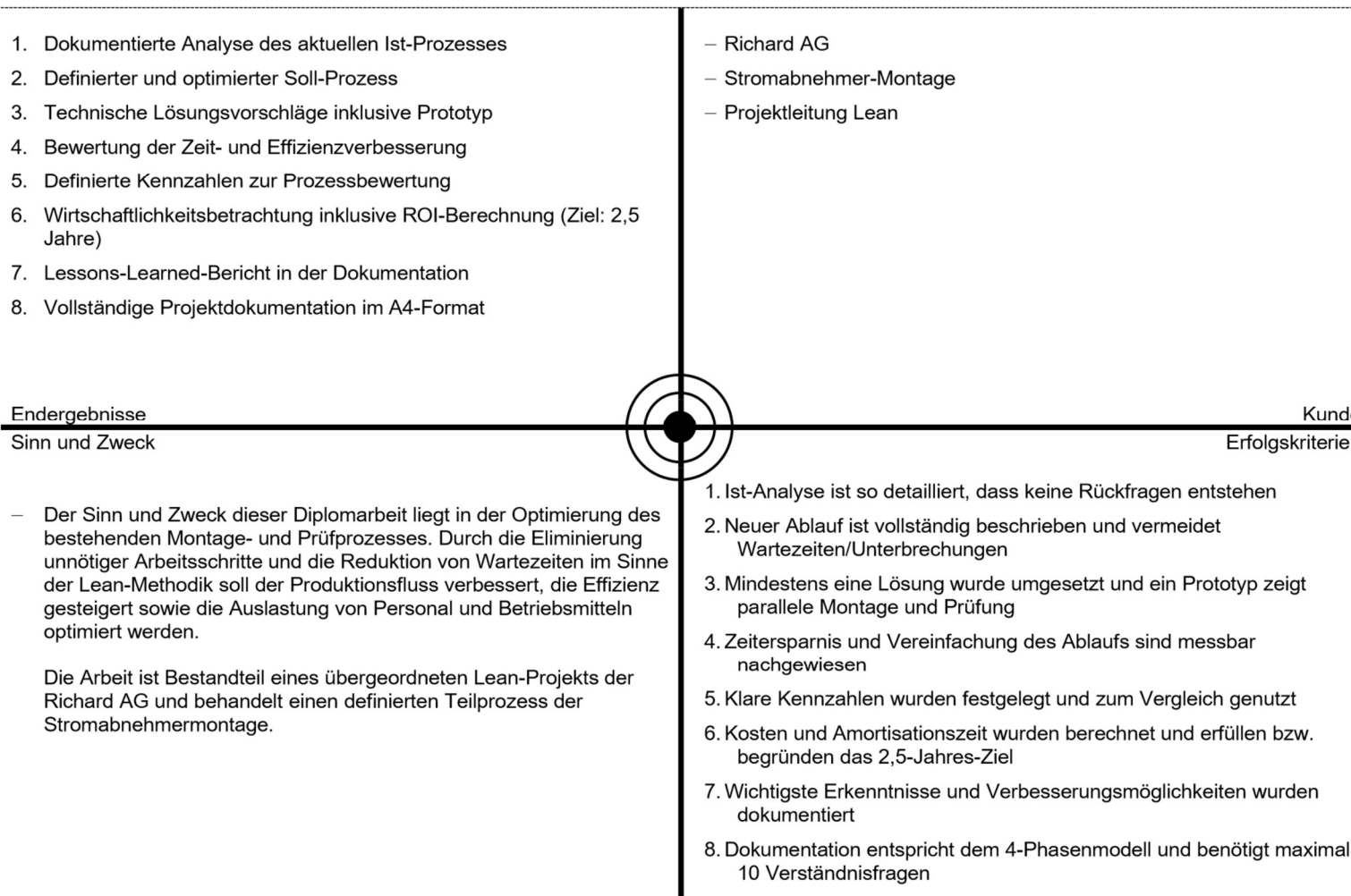
Nicht Bestandteil der Arbeit sind insbesondere:

- Optimierung der gesamten Produktionslinie
- Änderungen an Konstruktion oder Funktion des Stromabnehmers
- Betrachtung anderer Produktgruppen
- Serienreife oder vollständige industrielle Umsetzung
- Umbauten an Gebäuden oder Infrastruktur

Im Rahmen der Diplomarbeit wird ausschliesslich ein funktionsfähiger Prototyp entwickelt und getestet. Die Überführung in eine spätere Serienlösung wird lediglich aufgezeigt und bewertet.

5.2 Zielscheibe

Richtziel: Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.



5.3 Aufgabenstellung

Mit der offiziellen Aufgabenstellung vom 30.03.2026 wurde der verbindliche Rahmen für die Diplomarbeit durch die TEKO Olten festgelegt. Sie definiert die übergeordneten Anforderungen an die Bearbeitung, Dokumentation und Präsentation der Diplomarbeit.

Die wichtigsten Vorgaben der Aufgabenstellung sind:

- Konsequente Zielorientierung und Anwendung der Phasen des Projektmanagements
- Konsequente Umsetzung der definierten Rahmenbedingungen gemäss genehmigtem Pflichtenheft
- Nachvollziehbare Beschreibung sämtlicher Schritte, welche zum Endergebnis geführt haben
- Methodische Variantenevaluation mit dokumentierter Begründung der gewählten Variante
- Logischer Aufbau, saubere Gliederung und gute Verständlichkeit der Dokumentation
- Klar erkennbarer Mehrwert (Value-add) für den Auftraggeber Richard AG
- Wöchentliche Statusberichte an den Diplomlehrer zur Begleitung des Verlaufs
- Präsentation der Diplomarbeit in 15 Minuten + zusätzliche Online-Präsentation in 2 Minuten

Folgende Rahmentermine wurden festgelegt:

Meilenstein	Termin
Ausgabedatum	30.03.2026
Abgabedatum Diplomarbeit	25.05.2026, 18:00 Uhr
Onlinepublikation freigegeben	06.06.2026, 18:00 Uhr
Präsentationen	KW 24 – 25 / 2026
Diplomfeier	03.07.2026

Tabelle 1: Rahmentermine gemäss Aufgabenstellung

Die Begleitung und Bewertung der Diplomarbeit erfolgt durch den Diplomlehrer Sandro Ryf und den Prüfungsexperten Silvan Völlmin auf Basis des genehmigten Pflichtenhefts sowie des im Extranet verfügbaren Beurteilungsrasters.

Die vollständige offizielle Aufgabenstellung befindet sich im Anhang.

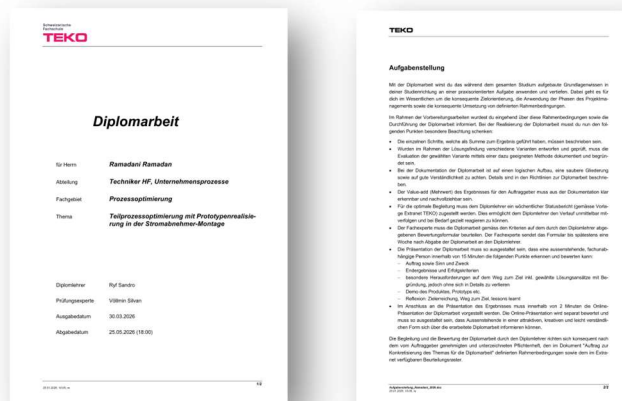


Abbildung 8: Aufgabenstellung

6 Projektplanung

6.1 Vorgehensmodell

Für die Planung und Durchführung der Diplomarbeit wird das 4-Phasenmodell angewendet. Dieses Modell eignet sich besonders für technische Projektarbeiten, da die einzelnen Schritte klar strukturiert, logisch aufgebaut und nachvollziehbar dokumentiert werden können. Zudem entspricht das Vorgehensmodell den Vorgaben der TEKO und bildet die Grundlage für die gesamte Projektbearbeitung.

Die Diplomarbeit wird in die vier Phasen Projektinitialisierung, Projektplanung, Projektrealisierung und Projektabschluss gegliedert. Jede Phase enthält klar definierte Inhalte und Ergebnisse.

Projektinitialisierung

In der Projektinitialisierung werden die Ausgangslage, die Problemstellung sowie die Ziele der Diplomarbeit beschrieben. Zusätzlich werden die Rahmenbedingungen und die Abgrenzung des Projekts festgelegt. Das genehmigte Pflichtenheft bildet dabei die verbindliche Grundlage für die weitere Bearbeitung der Arbeit.

Projektplanung

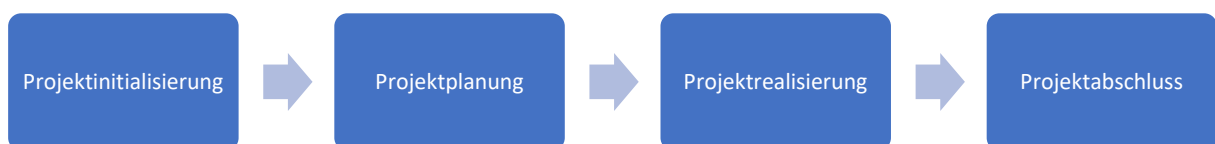
In der Phase Projektplanung wird die Durchführung der Diplomarbeit geplant. Dazu gehören die Erstellung des Projektstrukturplans, der Terminplanung, der Kommunikationsplanung sowie der Risikoanalyse. Ziel dieser Phase ist es, einen strukturierten Ablauf für die Bearbeitung der Diplomarbeit sicherzustellen.

Projektrealisierung

Die Projektrealisierung bildet den Hauptteil der Diplomarbeit. In dieser Phase wird zunächst der bestehende Montage- und Prüfprozess analysiert. Anschliessend werden verschiedene Lösungsvarianten erarbeitet und miteinander verglichen. Die geeignetste Variante wird ausgewählt, als Prototyp umgesetzt und anschliessend getestet. Abschliessend werden die erzielten Verbesserungen anhand von Kennzahlen und Zeitmessungen bewertet.

Projektabschluss

Im Projektabschluss werden die Resultate der Diplomarbeit zusammengefasst und beurteilt. Dabei wird überprüft, ob die definierten Ziele und Erfolgskriterien erreicht wurden. Zusätzlich werden die wichtigsten Erkenntnisse, Erfahrungen und Verbesserungspotenziale in Form von Lessons learnt und Ausblicken dokumentiert.

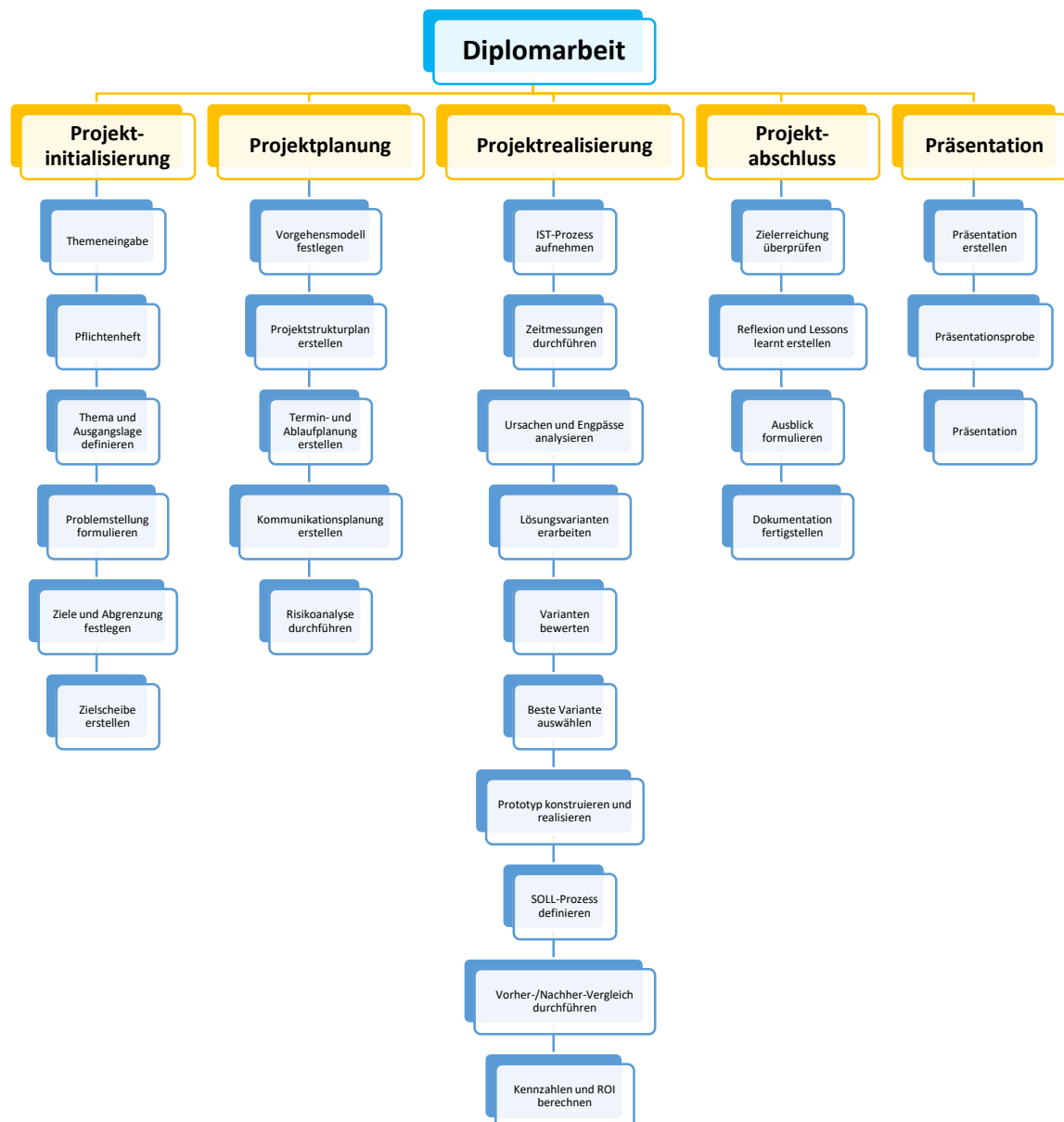


6.2 Projektstrukturplanung

Im Rahmen der Projektstrukturplanung wird die Diplomarbeit in einzelne Arbeitspakete gegliedert. Dadurch wird sichergestellt, dass sämtliche Aufgaben vollständig erfasst, logisch strukturiert und den vier Projektphasen zugeordnet werden können. Der Projektstrukturplan dient gleichzeitig als Grundlage für die spätere Termin- und Ablaufplanung.

Vor Beginn der eigentlichen Diplomarbeit wurden zunächst die Themeneingabe sowie anschließend das Pflichtenheft erstellt und genehmigt. Erst nach Freigabe dieser Grundlagen konnte mit der Bearbeitung der Diplomarbeit begonnen werden.

Der Projektstrukturplan zeigt die Gliederung der Diplomarbeit in die fünf Hauptbereiche Projektinitialisierung, Projektplanung, Projektrealisierung, Projektabschluss und Präsentation. Die einzelnen Arbeitspakete orientieren sich am 4-Phasenmodell und bilden die Grundlage für die spätere Termin- und Ablaufplanung.



6.3 Projektablaufplanung

Die im Projektstrukturplan definierten Arbeitspakete werden im Rahmen der Projektablaufplanung in eine zeitliche Reihenfolge gebracht. Ziel ist es, die Diplomarbeit strukturiert, termingerecht und innerhalb der vorgegebenen Fristen umzusetzen. Die Bearbeitung der Diplomarbeit beginnt nach der Genehmigung des Pflichtenhefts und dem offiziellen Starttermin am 30.03.2026. Die Abgabe der vollständigen Dokumentation erfolgt am 25.05.2026.

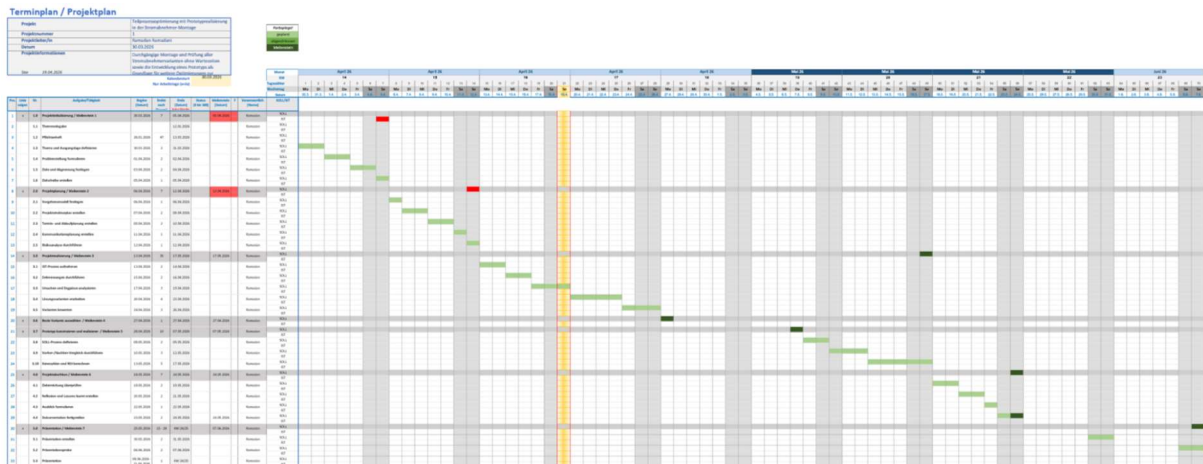


Abbildung 9: Terminplan/Projektplan

6.3.1 Meilensteine

Zur Überwachung des Projektfortschritts wurden im Projektplan mehrere Meilensteine definiert. Diese markieren wichtige Zwischenziele und Abschlusszeitpunkte innerhalb der Diplomarbeit. Dadurch kann jederzeit überprüft werden, ob sich das Projekt im vorgesehenen Zeitrahmen befindet.

Meilenstein	Beschreibung	Termin
Meilenstein 1	Projektinitialisierung abgeschlossen	05.04.2026
Meilenstein 2	Projektplanung abgeschlossen	12.04.2026
Meilenstein 3	Beste Lösungsvariante ausgewählt	27.04.2026
Meilenstein 4	Prototyp konstruiert und realisiert	07.05.2026
Meilenstein 5	Projektrealisierung abgeschlossen	17.05.2026
Meilenstein 6	Dokumentation fertiggestellt	24.05.2026
Meilenstein 7	Präsentation abgeschlossen	07.06.2026

Die Meilensteine 3 und 4 wurden zusätzlich innerhalb der Projektrealisierung definiert, da die Auswahl der besten Variante sowie die Fertigstellung des Prototyps entscheidende Zwischenschritte für den weiteren Projektverlauf darstellen. Durch diese Zwischenmeilensteine kann der Fortschritt der eigentlichen Optimierungsarbeit gezielt überprüft werden.

6.4 Kommunikationsplanung

Im Rahmen der Diplomarbeit müssen verschiedene Anspruchsgruppen regelmässig über den aktuellen Projektstand informiert werden. Damit Informationen zielgerichtet ausgetauscht und wichtige Entscheidungen rechtzeitig getroffen werden können, wird die Kommunikation geplant und strukturiert durchgeführt.

Die wichtigsten Anspruchsgruppen sind der Fachexperte, der Diplomlehrer, die betroffene Montageabteilung sowie der Diplomand selbst. Je nach Anspruchsgruppe unterscheiden sich Inhalt, Häufigkeit und Kommunikationsmittel.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, welche Informationen mit welchen Personen ausgetauscht werden und in welchen Abständen die Kommunikation erfolgt.

Anspruchsgruppe	Ziel der Kommunikation	Inhalt	Kanal	Häufigkeit	Verantwortlich
Fachexperte Urs Katzenstein	Fachliche Abstimmung und Entscheidungsfindung	Projektfortschritt, offene Fragen, Varianten, Feedback zum Prototyp	Persönliches Gespräch, E-mail	Wöchentlich oder bei Bedarf	Ramadan Ramadani
Diplomlehrer Sandro Ryf	Methodische Begleitung und Kontrolle	Status der Arbeit, Fragen zur Dokumentation, Einhaltung der Vorgaben	E-Mail, Statusbericht, Vorzeigetermin	Wöchentlich	Ramadan Ramadani
Vorgesetzte / Montageabteilung	Information über Messungen und Tests	Terminplanung für Zeitmessungen, Versuche und Prototypentests	Persönliches Gespräch	Bei Bedarf	Ramadan Ramadani
Diplomand	Selbstkontrolle und Projektsteuerung	Terminüberwachung, offene Aufgaben, Risiken, nächste Schritte	Persönliche Arbeitsplanung	Täglich	Ramadan Ramadani

Tabelle 2: Kommunikationsplanung

6.5 Risikoanalyse

Im Rahmen der Diplomarbeit bestehen verschiedene Risiken, welche den Projektverlauf, die Termine oder die Zielerreichung beeinflussen können. Um mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen und geeignete Gegenmassnahmen festzulegen, wird eine Risikoanalyse durchgeführt.

Die Risiken werden hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit (EW) und ihrer Auswirkung (AW) nach folgender Skala beurteilt – sowohl vor als auch nach Umsetzung der definierten Massnahmen. Damit wird die Wirksamkeit der Massnahmen direkt sichtbar.

Stufe	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkung
5	sehr hoch	sehr hoch (Projektstopp)
4	hoch	hoch (Terminverzug, hohe Mehrkosten)
3	mittel	mittel (Anpassungen nötig)
2	gering	gering (geringer Aufwand)
1	sehr gering	sehr gering (vernachlässigbar)

Tabelle 3: Bewertungsschema Risiko-Analyse

Aus dem Produkt der beiden Werte ergibt sich der Risikofaktor (RF) = EW × AW. Daraus ergeben sich drei Risikoklassen:

Risikofaktor	Klasse	Massnahmen
15–25	Hohes Risiko	sofort Massnahmen erforderlich
8–14	Mittleres Risiko	Massnahmen empfohlen
1–7	Geringes Risiko	beobachten, kein direkter Handlungsbedarf

Tabelle 4: Risikoklassen

Identifizierte Projektrisiken (Brutto und Netto)

Die folgende Tabelle zeigt für jedes Risiko die Brutto-Bewertung (vor Massnahmen) sowie die Netto-Bewertung (nach Umsetzung der Massnahmen). Die Reduktion zeigt direkt die Wirkung der Massnahmen.

Nr.	Risiko	EW	AW	RF	Klasse (vorher)	Massnahme	EW	AW	RF	Klasse (nachher)	Wirkung
R1	Zeitverzug bei der Projektrealisierung	3	3	9	mittel	Zeitreserve einplanen, wöchentliche Kontrolle des Projektplans	2	3	6	gering	↓
R2	Prototyp kann nicht rechtzeitig realisiert werden	3	4	12	mittel	Material frühzeitig bestellen, Alternativlösung vorbereiten	2	4	8	mittel	↓
R3	Gewählte Variante funktioniert nicht wie erwartet	2	3	6	gering	Mehrere Varianten ausarbeiten und frühzeitig testen	2	2	4	gering	↓
R4	Fehlende oder ungenaue Messdaten	3	2	6	gering	Messungen frühzeitig planen und mehrfach durchführen	2	2	4	gering	↓
R5	Fachliche Rückmeldungen erfolgen verspätet	2	2	4	gering	Termine frühzeitig vereinbaren, offene Punkte dokumentieren	1	2	2	gering	↓
R6	ROI-Ziel von 2,5 Jahren wird nicht erreicht	3	3	9	mittel	Wirtschaftlichkeit frühzeitig prüfen und Alternativen vergleichen	2	3	6	gering	↓
R7	Dokumentation wird nicht rechtzeitig fertig	3	4	12	mittel	Dokumentation laufend schreiben und Pufferzeit einplanen	2	4	8	mittel	↓

Tabelle 5: Risiko-Analyse Projekt mit Brutto- und Netto-Bewertung

Risikomatrix vor Massnahmen (Brutto-Risiken)

Die Matrix zeigt die ursprüngliche Risikolage, bevor die definierten Massnahmen umgesetzt wurden:

EW ↓ / AW →	1	2	3	4	5
5					
4					
3		R4	R1, R6	R2, R7	
2		R5	R3		
1					

Tabelle 6: Risikomatrix VOR Umsetzung der Massnahmen

Risikomatrix nach Massnahmen (Netto-Risiken)

Die Matrix zeigt die verbleibenden Risiken nach Umsetzung der definierten Massnahmen. Sämtliche Risiken haben sich nach unten oder links verschoben:

EW ↓ / AW →	1	2	3	4	5
5					
4					
3					
2		R3, R4	R1, R6	R2, R7	
1		R5			

Tabelle 7: Risikomatrix NACH Umsetzung der Massnahmen

Interpretation der Wirkung

Durch die definierten Massnahmen wurden folgende Verbesserungen erzielt:

- Vor Massnahmen: 4 Risiken im mittleren Bereich (R1, R2, R6, R7) und 3 Risiken im geringen Bereich (R3, R4, R5)
- Nach Massnahmen: nur noch 2 Risiken im mittleren Bereich (R2, R7) und 5 Risiken im geringen Bereich
- Alle Risiken haben sich in der Matrix nach unten oder links verschoben – die Massnahmen wirken
- R2 und R7 verbleiben im mittleren Bereich, sind jedoch durch konkrete Massnahmen abgesichert
- Kein Risiko liegt im hohen Bereich – weder vor noch nach Massnahmen

Die identifizierten Risiken stehen einer erfolgreichen Durchführung der Diplomarbeit nicht entgegen.

7 Projektrealisierung

Die beiden abgeschlossenen Phasen Projektinitialisierung sowie Projektplanung bilden die Basis für die Phase Projektrealisierung. In diesem Kapitel werden die Endergebnisse auf dem Weg zum Ziel erarbeitet.

7.1 Analyse

Dieses Kapitel beschreibt den heutigen Montage- und Prüfprozess in der Stromabnehmer-Montage. Ziel der Analyse ist es, den aktuellen Ablauf vollständig zu erfassen, die Engpässe nachvollziehbar darzulegen und die Ursachen für die heutige Produktionsleistung von 2,7 Stromabnehmern pro Tag aufzuzeigen. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse bilden die Grundlage für die anschliessende Variantenbildung.

7.1.1 Stromabnehmer-Portfolio und Befestigungslayouts

Die Richard AG fertigt aktuell 132 verschiedene Stromabnehmertypen, zusätzlich befinden sich 12 weitere Typen in der Entwicklung. Die verschiedenen Stromabnehmer unterscheiden sich in ihrer Geometrie, ihren elektrischen Eigenschaften und ihrem Befestigungslayout. Insgesamt existieren rund vier bis fünf unterschiedliche Befestigungslayouts der Isolatoren auf dem Grundrahmen.

Für die Diplomarbeit relevant sind insbesondere die beiden Standard-Befestigungslayouts, welche den grössten Anteil der Produktion abdecken:

- SBB-Layout 1310 × 650 mm (am häufigsten verbaut)
- Norm EN 50206 mit 800 × 950 mm (zweithäufigstes Layout, mit steigender Tendenz)

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Verkaufsstückzahlen aus dem Jahr 2025 nach Befestigungslayout:

Befestigungslayout	Stück 2025	Anteil	Tendenz 2026
SBB 1310 × 650	338	61.5 %	stabil
EN 50206 800 × 950	6	1.1 %	steigend
Weitere Layouts (Sondervarianten)	206	37.4 %	variabel
Total verkauft 2025	550	100 %	

Tabelle 8: Verkaufsstückzahlen 2025 nach Befestigungslayout (Quelle: Richard AG)

Aus den Zahlen wird ersichtlich, dass über 62 % aller verkauften Stromabnehmer eines der beiden Standard-Befestigungslayouts verwenden. Eine Lösung, welche diese beiden Layouts abdeckt, bringt somit den grössten Nutzen für die Produktion. Aus diesem Grund wird der zu entwickelnde Prototyp auf diese beiden Standardlayouts ausgerichtet.

7.1.2 Abgrenzung des untersuchten Teilprozesses

Der gesamte Herstellungsprozess eines Stromabnehmers gliedert sich in vier Hauptschritte:

1. Vormontage der Isolatoren am Grundrahmen (auf der Lehre)
2. Montage des Stromabnehmers (am Arbeitsplatz)
3. Endprüfung und Einstellen (auf der Lehre)
4. Verpacken

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die Schritte 1 und 3 sowie die dazwischenliegenden Transportzeiten detailliert untersucht, da diese die Lehre als zentrale Ressource beanspruchen. Die eigentliche Montage des Stromabnehmers (Schritt 2) ist nicht Gegenstand der Analyse, da diese stark typenabhängig erfolgt und nicht auf der Lehre stattfindet. Auch das Verpacken (Schritt 4) wird nicht weiter betrachtet, da hier kein Engpass besteht.

7.1.3 Eingesetzte Ressourcen

Im untersuchten Teilprozess sind folgende Ressourcen im Einsatz:

Ressource	Anzahl	Bemerkung
Qualifizierte Mitarbeiter	5	Alle Mitarbeiter sind sowohl für die Montage als auch für die Prüfung qualifiziert.
Lehre (Vormontage + Prüfung)	1	Einzigste Lehre, wird für beide Tätigkeiten verwendet → Engpass
Prüfgerät KM11	1	Wird zwingend für die Endprüfung benötigt → potenzieller zweiter Engpass
Hubwagen	13	Ausreichend für Transport und Pufferung der Stromabnehmer
Verfügbare Arbeitszeit	8 h/Tag netto	Arbeitszeit 07:50–17:00 (9 h 10 min brutto), abzüglich 60 min Mittagspause und 10 min Nünipause (beide unbezahlt) = 480 min Netto-Arbeitszeit pro Tag und Mitarbeiter

Tabelle 9: Eingesetzte Ressourcen im untersuchten Teilprozess

Bereits aus dieser Übersicht wird ersichtlich, dass weder die Anzahl Mitarbeiter noch die Anzahl Hubwagen den Prozess begrenzen. Die einzigen einfach vorhandenen Betriebsmittel sind die Lehre und das Prüfgerät KM11 – beide werden zwingend benötigt, sind aber nur einmal verfügbar.

7.1.4 Beschreibung des heutigen Ist-Prozesses

Der heutige Ablauf eines Stromabnehmers von der Vormontage bis zur abgeschlossenen Endprüfung gliedert sich in folgende Teilschritte:

Schritt 1 – Vormontage der Isolatoren auf der Lehre

- Isolatoren auspacken und auf der Lehre positionieren (gemäss Lochbildlayout)
- Grundrahmen auf die Isolatoren auflegen
- Grundrahmen mit Unterlagscheiben ausrichten, da der geschweisste Grundrahmen Unebenheiten aufweist
- Schrauben festziehen
- Bohrung zum Dämpfer reiben
- Transport von der Lehre auf den Hubwagen mittels Kran
- Aufräumen des Arbeitsbereichs

Durchschnittliche Dauer: ca. 25 Minuten

Schritt 2 – Transport zum Arbeitsplatz und Stromabnehmer-Montage

Der vormontierte Grundrahmen wird zum freien Arbeitsplatz transportiert, wo die typenspezifische Montage des Stromabnehmers erfolgt (Gummipuffer, Lager, Balg, Unterarm, Oberschere, Wippen, Schleifstück usw.). Dieser Schritt ist nicht Gegenstand der Optimierung, dauert jedoch zwischen 5 und 5,5 Stunden und beansprucht einen Hubwagen sowie einen Mitarbeiter, jedoch nicht die Lehre.

Schritt 3 – Rücktransport zur Lehre und Endprüfung / Einstellen

- Transport vom Arbeitsplatz zurück zur Lehre
- Stromabnehmer auf die Lehre stellen
- Prüfung mit Prüfgerät KM11 gemäss Prüfprotokoll
- Einstellen sämtlicher Toleranzen
- Dämpfer montieren
- Transport zum Verpackungsplatz

Durchschnittliche Dauer: ca. 2 Stunden (gemessen: 1 h 25 min bis 2 h 35 min)

7.1.5 Grafische Darstellung des Ist-Prozesses (Swimlane)

Die folgende Swimlane-Darstellung zeigt den heutigen Ablauf aus Sicht der vier Hauptressourcen Mitarbeiter A, Lehre, Mitarbeiter B und Prüfgerät KM11. Sie verdeutlicht das Kernproblem: Solange die Lehre durch eine Tätigkeit belegt ist, kann keine zweite Tätigkeit darauf ausgeführt werden. Während Mitarbeiter A auf der Lehre vormontiert, kann Mitarbeiter B nicht prüfen – und umgekehrt. Die Mitarbeiter sind in diesen Phasen blockiert (rot schraffierte Bereiche).

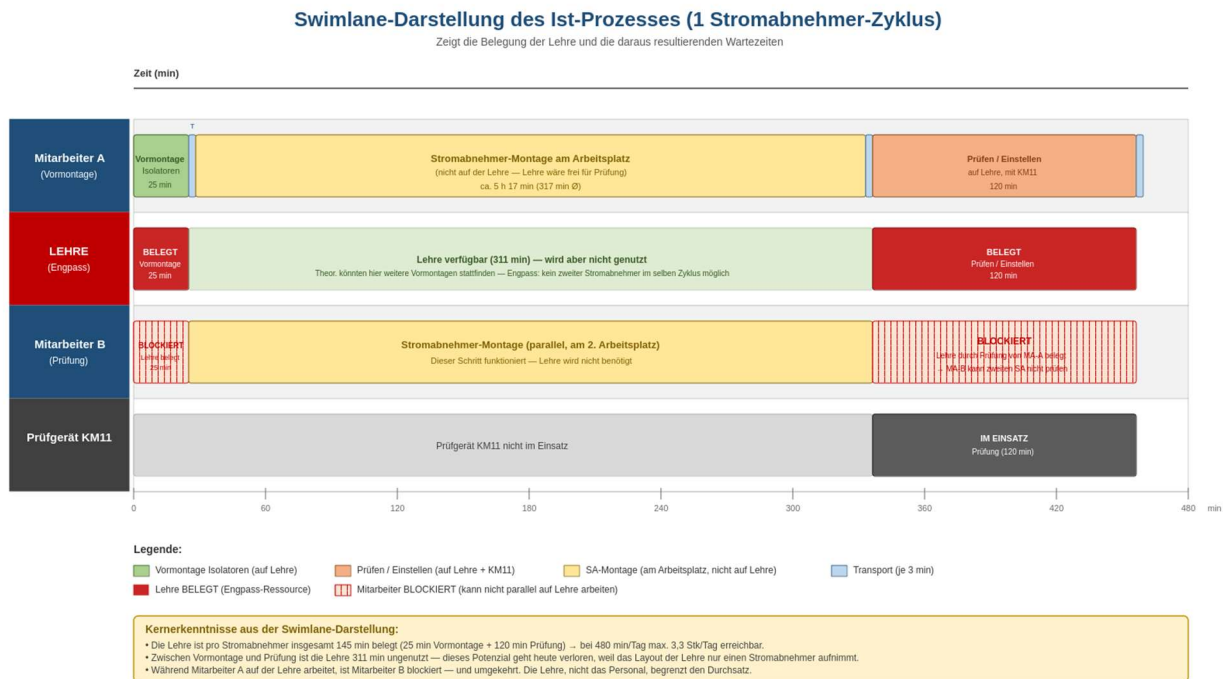


Abbildung 10: Swimlane-Darstellung des heutigen IST-Prozesses für einen Stromabnehmer-Zyklus

Die Darstellung macht drei zentrale Aussagen sichtbar:

- Die Lehre ist insgesamt 145 min pro Stromabnehmer belegt (25 min Vormontage + 120 min Prüfung).
- Zwischen Vormontage und Prüfung steht die Lehre 311 min ungenutzt – sie könnte für weitere Vormontagen oder Prüfungen verwendet werden, was im aktuellen Layout aber nicht möglich ist.
- Sobald die Lehre belegt ist, kann der jeweils andere Mitarbeiter seine entsprechende Tätigkeit nicht ausführen. Das Personal ist nicht der Engpass – die Lehre ist es.

7.1.6 Zeitmessungen am Referenzauftrag

Zur objektiven Bewertung des Ist-Prozesses wurden Zeitmessungen am Produktionsauftrag PA-000129708 (Artikel C 310614 Bl.1 V8, Stromabnehmer RM 354 DB R3, Verkaufsauftrag VA-000034140, Kunde Deutsche Bahn, Menge 2 Stück) durchgeführt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die gemessenen Zeiten für beide Stromabnehmer im direkten Vergleich:

Prozessschritt	SA 1	SA 2	Ø Mittel	Lehre?
Vormontage Isolatoren	25 min	26 min	25.5 min	ja
Transport Lehre → Hubwagen	3 min	3 min	3 min	nein
Stromabnehmer-Montage	5 h 34 min	5 h 00 min	5 h 17 min	nein
Transport Hubwagen → Lehre	3 min	3 min	3 min	nein
Prüfen / Einstellen	2 h 35 min	1 h 25 min	2 h 00 min	ja
Transport Lehre → Palett	3 min	3 min	3 min	nein
Total Durchlaufzeit	8 h 43 min	7 h 00 min	7 h 52 min	

Tabelle 10: Zeitmessungen am Referenzauftrag PA-000129708 (RM 354 DB R3)

Der zweite Stromabnehmer (SA 2) ist deutlich schneller, da beim Rüsten des ersten Stromabnehmers bereits die Teile für den zweiten mit vorbereitet wurden. Auch das Einstellen verlief schneller, weil bei SA 2 die Toleranzeinstellungen vom SA 1 als Referenz dienten. Dieser Effekt ist losgrößenbedingt und gilt nicht für Einzelfertigung.

7.1.7 Engpassanalyse

Aus den Zeitmessungen lässt sich die Belegung der Lehre als zentrale Ressource berechnen. Diese Berechnung ist der Kern der gesamten Ist-Analyse, da sie aufzeigt, weshalb das Produktionsziel von 5 Stromabnehmern pro Tag mit dem heutigen Prozess strukturell nicht erreichbar ist.

Belegung der Lehre pro Stromabnehmer

Tätigkeit auf der Lehre	Dauer
Vormontage Isolatoren	25 min
Prüfen / Einstellen (inkl. Dämpfer)	120 min
Lehrenbelegung pro Stromabnehmer (Total)	145 min

Tabelle 11: Belegung der Lehre pro Stromabnehmer

Theoretisch maximale Produktionsleistung mit einer Lehre

Bei einer Netto-Arbeitszeit von 480 Minuten pro Tag (8 h, Arbeitszeit 07:50–17:00 abzüglich 60 min Mittagspause und 10 min Nünipause) ergibt sich folgende theoretische Obergrenze:

$$\text{Max. Stück pro Tag} = 480 \text{ min} \div 145 \text{ min/Stück} \approx \mathbf{3,3 \text{ Stromabnehmer/Tag}}$$

Die folgende Abbildung visualisiert diese Berechnung über einen kompletten Arbeitstag. Sie zeigt, dass selbst bei optimaler Verteilung der Tätigkeiten am Ende des Tages der dritte Stromabnehmer nicht mehr vollständig geprüft werden kann:

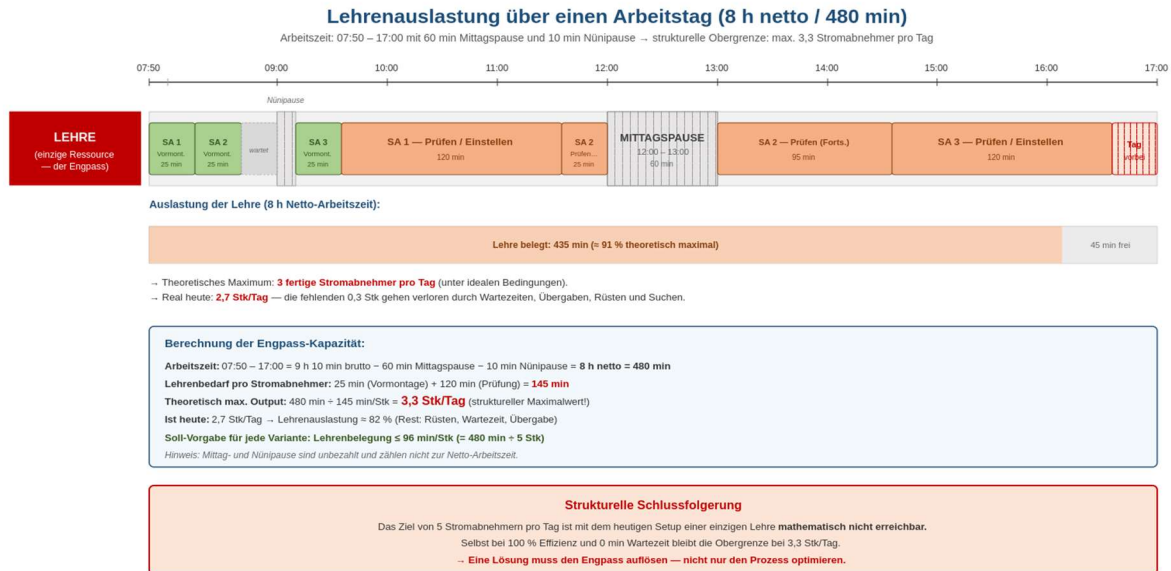


Abbildung 11: Lehrenaustausch über einen Arbeitstag mit Kapazitätsberechnung

Dies ist der absolute Maximalwert unter idealen Bedingungen (keine Wartezeit, keine Rüstzeit, keine Störung, keine Übergabezeit). In der Realität liegt die heutige Produktionsleistung bei 2,7 Stromabnehmern pro Tag, was einer Lehrenaustausch von ca. 82 % entspricht. Die verbleibenden 18 % gehen verloren durch Wartezeiten, Übergaben, Rüstvorgänge sowie Suchaufwände.

Kernerkenntnis

Die Lehre ist der einzige strukturelle Engpass des untersuchten Teilprozesses. Selbst bei vollständiger Eliminierung sämtlicher Verschwendungen (Wartezeit, Rüsten, Suchen) wäre mit der aktuellen Konfiguration einer einzigen Lehre eine Produktionsleistung von maximal 3,3 Stromabnehmern pro Tag möglich. Das Ziel von 5 Stromabnehmern pro Tag ist mit dem heutigen Setup mathematisch nicht erreichbar.

7.1.8 Verschwendungsanalyse nach Lean (7 Arten)

Zusätzlich zur Engpassanalyse wurde der Ist-Prozess nach den sieben klassischen Verschwendungsarten der Lean-Methodik (Muda) untersucht. Diese systematische Betrachtung stellt sicher, dass kein relevanter Verbesserungsbereich übersehen wird.

Verschwendungsart	Beobachtung im Ist-Prozess	Relevanz
Wartezeit	Mitarbeiter B kann nicht prüfen, solange Mitarbeiter A auf der Lehre vormontiert. Umgekehrt blockiert die Prüfung neue Vormontagen.	sehr hoch
Transport	Pro Stromabnehmer fallen rund 9 min Transportzeit an (3 × ca. 3 min zwischen Lehre, Hubwagen und Palett).	mittel
Bewegung	Suchen nach Unterlagen sowie Hin- und Herschieben von Werkzeugwägen aufgrund Platzmangels.	mittel
Bestände	Zwischenpufferung auf Hubwägen ist heute notwendig, weil Lehre nicht durchgängig zur Verfügung steht.	mittel
Überproduktion	Im Ist-Prozess nicht beobachtet (Fertigung erfolgt auftragsbezogen).	gering
Überbearbeitung	Manuelles Ausrichten mit Unterlagscheiben wegen Unebenheiten am geschweissten Grundrahmen.	mittel
Fehler	Nachreiben von lackierten Bohrungen für Dämpfer und Zugstange (Nacharbeit, da Bohrungen vor dem Lackieren nicht abgedeckt wurden).	gering

Tabelle 12: Verschwendungsanalyse nach den 7 Lean-Verschwendungsarten

Die mit Abstand grösste Verschwendung ist die Wartezeit, die direkt aus dem strukturellen Engpass an der Lehre resultiert. Sämtliche übrigen Verschwendungsarten sind real vorhanden, jedoch nicht zentral für die Erreichung des Produktionsziels von 5 Stück pro Tag. Sie werden in den Varianten dort berücksichtigt, wo sie ohne Zusatzaufwand mit eliminiert werden können.

7.1.9 Kennzahlen des Ist-Zustands

Zur objektiven Bewertung des aktuellen Prozesses und zur späteren Gegenüberstellung mit dem Soll-Prozess werden folgende Kennzahlen festgelegt:

Kennzahl	Ist-Wert	Zielwert	Δ
Produktionsleistung	2.7 Stk/Tag	5.0 Stk/Tag	+85 %
Lehrenbelegung pro SA	145 min	$\leq 96 \text{ min}^*$	-34 %
Theor. max. Output (1 Lehre)	3.3 Stk/Tag	$\geq 5.0 \text{ Stk/Tag}$	strukt. Defizit
Durchlaufzeit pro SA	ca. 7 h 52 min	kleiner als heute	Ziel: <heute
Wartezeit Mitarbeiter (an Lehre)	vorhanden	$\approx 0 \text{ min}$	eliminieren

Tabelle 13: Kennzahlen-Vergleich IST-Zustand vs. Zielzustand

* Rechnerischer Wert: bei 5 Stk/Tag und 480 min verfügbarer Zeit darf die Lehre pro Stück max. $480 \div 5 = 96 \text{ min}$ belegt werden.

7.1.10 Zusammenfassung und Überleitung

Die Analyse des Ist-Prozesses zeigt eindeutig, dass die heutige Konfiguration der Stromabnehmer-Montage strukturell auf maximal 3,3 Stromabnehmer pro Tag begrenzt ist. Der Grund liegt nicht in der Anzahl Mitarbeiter, nicht in der Qualifikation und nicht in der Verfügbarkeit von Hubwägen, sondern allein in der Tatsache, dass eine einzige Lehre sowohl für die Vormontage der Isolatoren als auch für die Endprüfung der fertigen Stromabnehmer eingesetzt wird.

Damit das vom Unternehmen vorgegebene Produktionsziel von 5 Stromabnehmern pro Tag erreicht werden kann, muss der Engpass aufgelöst werden. Eine reine Optimierung im Sinne von „schneller arbeiten“ reicht dazu nicht aus – es ist eine strukturelle Veränderung notwendig, welche die Lehrenbelegung pro Stromabnehmer auf maximal 96 Minuten reduziert oder zusätzliche Lehrenkapazität schafft.

Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich die wesentlichen Anforderungen an die zu entwickelnden Lösungsvarianten:

- Vormontage der Isolatoren und Endprüfung müssen zeitlich entkoppelt werden.
- Die Lösung muss die beiden Standard-Befestigungslayouts SBB 1310 × 650 und EN 50206 800 × 950 abdecken.
- Die heutige Ausrichtfunktion der Lehre (Lochbildlayout) muss erhalten oder besser gelöst werden.
- Die Lösung muss innerhalb des ROI-Ziels von $\leq 2,5$ Jahren wirtschaftlich sein.

7.2 Kreativitätsmethode <Mindmap>

Als Kreativitätsmethode wurde die Mindmap gewählt. Diese Methode eignet sich am besten, um sämtliche möglichen Lösungsansätze für den Engpass an der Lehre übersichtlich darzustellen und gleichzeitig die jeweiligen Vor- und Nachteile auf einen Blick sichtbar zu machen.

Ausgehend von den Erkenntnissen der Ist-Analyse wurden fünf Lösungsansätze entwickelt und mit den dazugehörigen Stärken und Schwächen ergänzt. Diese werden im folgenden Kapitel mittels Paarvergleich priorisiert.

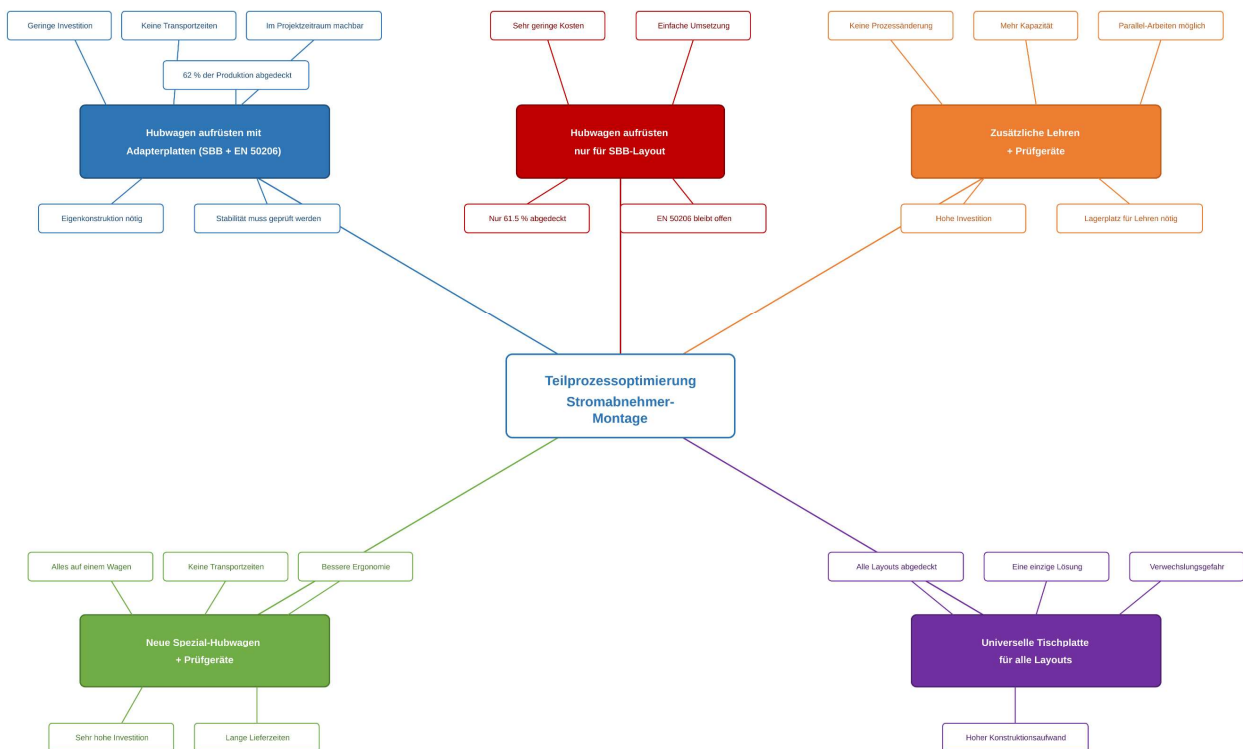


Abbildung 12: Mindmap zur Variantenfindung

7.3 Priorisierungsmethode <Paarvergleich>

Als Priorisierungsmethode wurde der Paarvergleich gewählt. Diese Methode eignet sich besonders gut, um eine überschaubare Anzahl an Lösungsansätzen direkt gegenüberzustellen und in eine eindeutige Reihenfolge zu bringen. Jeder Lösungsansatz wird einzeln mit jedem anderen verglichen und es wird festgehalten, welcher der beiden für die weitere Bearbeitung geeigneter erscheint.

Auf Basis der Mindmap wurden die fünf Lösungsansätze paarweise miteinander verglichen. Daraus ergeben sich zehn Vergleiche.

Zur besseren Lesbarkeit werden die Lösungsansätze wie folgt abgekürzt:

Abkürzung	Lösungsansatz
A	Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten (SBB + EN 50206)
B	Zusätzliche Lehren + Prüfgeräte
C	Neue Spezial-Hubwagen + Prüfgeräte
D	Universelle Tischplatte für alle Layouts
E	Hubwagen aufrüsten nur für SBB-Layout

Tabelle 14: Abkürzung der Lösungsansätze

Vergleich	Gewinner	Begründung
A ↔ B	A	Geringere Investition, keine Transportzeiten
A ↔ C	A	C hat zu hohe Investition und lange Lieferzeiten
A ↔ D	A	D hat hohen Konstruktionsaufwand und Verwechslungsgefahr
A ↔ E	A	A deckt 62 % der Produktion ab, E nur 61.5 % (EN 50206 fehlt)
B ↔ C	B	Geringere Investition als C, keine Sonderanfertigung nötig
B ↔ D	B	D ist konstruktiv anspruchsvoll, B nutzt bestehende Technologie
B ↔ E	B	B löst Engpass komplett, E nur teilweise
C ↔ D	C	C ist technisch realisierbar, D hat Stabilitätsrisiko
C ↔ E	C	C löst Engpass komplett, E nur teilweise
D ↔ E	D	D deckt alle Layouts ab, E nur ein einziges Layout

Tabelle 15: Paarvergleich der Lösungsansätze

Daraus ergibt sich folgende Priorisierung:

Rang	Lösungsansatz	Punkte
1	A – Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten (SBB + EN 50206)	4
2	B – Zusätzliche Lehren + Prüfgeräte	3
3	C – Neue Spezial-Hubwagen + Prüfgeräte	2
4	D – Universelle Tischplatte für alle Layouts	1
5	E – Hubwagen aufrüsten nur für SBB-Layout	0

Tabelle 16: Priorisierung der Lösungsansätze

Die drei stärksten Lösungsansätze (Rang 1 bis 3) werden im folgenden Kapitel als Variante 1, Variante 2 und Variante 3 detailliert beschrieben. Die Ansätze auf Rang 4 und 5 werden nicht weiterverfolgt, da sie im Paarvergleich gegenüber den anderen klar schlechter abschneiden. Die anschließende Nutzwertanalyse in Kapitel 7.5 bestätigt oder widerlegt die hier ermittelte Reihenfolge.

7.4 Variantenbildung

Auf Basis der Priorisierung im vorangehenden Kapitel werden die drei stärksten Lösungsansätze nun als Variante 1, Variante 2 und Variante 3 detailliert beschrieben. Alle drei Varianten verfolgen dasselbe Ziel – die Entkopplung von Vormontage und Endprüfung – unterscheiden sich jedoch in der Umsetzung, der Investitionsklasse und dem Eingriff in den bestehenden Prozess.

Zur fairen Vergleichbarkeit werden alle drei Varianten in gleicher Struktur dargestellt: Beschreibung, Funktionsweise, Skizze/Bild, Investitionsabschätzung sowie Zusammenfassung der Vor- und Nachteile.

7.4.1 Kurzbeschreibung der Variante 1 <Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten>

Beschreibung

Von den heute 13 vorhandenen Hubwagen werden 8 Stück mit eigens konstruierten Adapterplatten ausgerüstet. Diese decken die beiden Standard-Befestigungslayouts SBB 1310 × 650 und EN 50206 800 × 950 ab, welche zusammen rund 62 % der Produktion ausmachen. Die verbleibenden 5 Hubwagen bleiben unverändert und stehen für Sondervarianten zur Verfügung. Zusätzlich werden 2 weitere Prüfgeräte KM11 beschafft, so dass insgesamt 3 Prüfgeräte zur Verfügung stehen.

Funktionsweise

Jeder der 8 aufgerüsteten Hubwagen verfügt über ein fest montiertes Adapter-Set für das SBB-Layout sowie eine aufsteckbare Erweiterung für das EN 50206-Layout. Dadurch kann jeder Hubwagen flexibel für beide Standardlayouts eingesetzt werden. Der gesamte Prozess – Vormontage der Isolatoren, Montage des Stromabnehmers und Endprüfung – findet am gleichen Hubwagen statt. Die bestehende Lehre wird für die Standardlayouts nicht mehr benötigt. Die Adapterplatten werden vollständig intern gefertigt; sämtliche Bearbeitungen mit Ausnahme des Schweissens erfolgen durch den Diplomanden im Rahmen der Diplomarbeit.

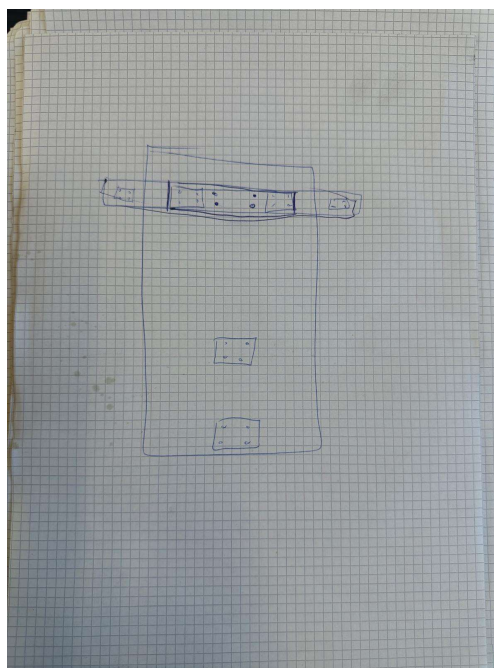


Abbildung 13: Skizze Variante 1

Investitions- und Aufwandsabschätzung

Die Kostenkalkulation pro Hubwagen-Set setzt sich aus fünf Gruppen zusammen: zwei Adapter-Sets (SBB und EN 50206), Massstabhalter, Bolzen sowie Montagekosten am Hubwagen.

Gruppe	Position	Material (CHF)	Herstellung (CHF)	Total (CHF)
A	Adapter Set 1 (SBB) – beide Teile	140	300	440
B	Adapter Set 2 (EN 50206) – beide Teile	153	190	343
C	Massstabhalter (4-Kant-Rohr, Flachstahl, Alu-Halterplatte)	52	227	279
D	Bolzen (24 Stk. ø15 mm + 2 Sonderbolzen ø16 mm)	95	389	484
E	Montage am Hubwagen (Ausrichten, Bohren, Montieren)	–	800	800
	Total pro Hubwagen-Set	440	1'906	2'346

Tabelle 17: Kostenkalkulation pro Hubwagen-Set (Variante 1)

Hochgerechnet auf die geplante Stückzahl ergibt sich folgende Gesamtinvestition:

Position	Anzahl	Stück (CHF)	Total (CHF)
Hubwagen-Sets (komplette Umrüstung)	8	2'346	18'768
Prüfgerät KM11 (zusätzlich)	2	15'000	30'000
Total Investition Variante 1			ca. 49'000

Tabelle 18: Gesamtinvestition Variante 1

Zusammenfassung Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Geringe Investition (ca. 49'000 CHF)	Eigenkonstruktion der Adapterplatten erforderlich
Keine Transportzeiten zwischen Lehre und Arbeitsplatz	Stabilität der Aufbauten auf dem Hubwagen muss geprüft werden
Im Projektzeitraum realisierbar	Sondervarianten weiterhin auf bestehender Lehre
Gesamter Prozess am selben Hubwagen	
8 Hubwagen parallel im Einsatz – hohe Flexibilität	
62 % der Produktion abgedeckt	

Tabelle 19: Vor- und Nachteile Variante 1

7.4.2 Kurzbeschreibung der Variante 2 <Zusätzliche Lehren + Prüfgeräte>

Beschreibung

Zur bestehenden Lehre werden zwei zusätzliche, baugleiche Lehren beschafft. Damit stehen insgesamt drei identische Lehren zur Verfügung. Auf einer Lehre kann die Vormontage erfolgen, während auf den anderen Lehren parallel geprüft wird – oder umgekehrt. Der bestehende Prozess bleibt strukturell unverändert. Zusätzlich werden 2 weitere Prüfgeräte KM11 beschafft, so dass insgesamt 3 Prüfgeräte zur Verfügung stehen.

Funktionsweise

Die Vormontage der Isolatoren erfolgt unverändert auf einer Lehre. Nach der Vormontage wird der Grundrahmen wie heute auf einen Hubwagen transportiert und zum Arbeitsplatz für die Stromabnehmer-Montage gefahren. Nach abgeschlossener Montage wird der Stromabnehmer auf eine freie Lehre transportiert und dort geprüft. Durch die drei Lehren kann der Engpass aufgelöst werden, da Vormontage und Prüfung zeitgleich auf unterschiedlichen Lehren ablaufen können. Die Beschaffung zweier zusätzlicher Lehren bei einem externen Lieferanten benötigt jedoch eine Lieferzeit von mehreren Monaten, weshalb diese Variante im Projektzeitraum der Diplomarbeit nicht realisierbar ist.



Abbildung 14: Lehre

Investitions- und Aufwandsabschätzung

Position	Anzahl	Stück (CHF)	Total (CHF)
Zusätzliche Lehre (identische Bauart)	2	15'000	30'000
Transport und Aufstellung	pauschal	–	2'000
Inbetriebnahme & Kalibrierung	pauschal	–	3'000
Prüfgerät KM11 (zusätzlich)	2	15'000	30'000
Total Investition Variante 2			ca. 65'000

Tabelle 20: Gesamtinvestition Variante 2

Hinweis zu den Annahmen: Die Investitionskosten für die zusätzlichen Lehren basieren auf branchenüblichen Erfahrungswerten und auf der Kostenstruktur der bestehenden Lehre. Eine konkrete Offerte wurde im Rahmen der Diplomarbeit nicht eingeholt, da diese Variante nicht zur Ausarbeitung gewählt wird.

Zusammenfassung Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Keine Prozessänderung erforderlich	Hohe Investition für zusätzliche Lehren
Mehr Kapazität durch drei Lehren	Transportzeiten bleiben bestehen (3 × 3 min pro SA)
Parallele Vormontage und Prüfung möglich	Zusätzlicher Lagerplatz für die neuen Lehren nötig
Alle Befestigungslayouts (100 %) abgedeckt	Bestehender Engpass-Prozess wird nicht grundlegend verbessert
	Lange Lieferzeit – nicht im Projektzeitraum realisierbar

Tabelle 21: Vor- und Nachteile Variante 2

7.4.3 Kurzbeschreibung der Variante 3 <Neue Spezial-Hubwagen + Prüfgeräte>

Beschreibung

Sämtliche 13 vorhandenen Hubwagen werden durch speziell konstruierte Hubwagen mit integrierter Lehrenfunktion ersetzt. Diese vereinen die Funktionalität der heutigen Lehre und eines klassischen Hubwagens in einer einzigen Vorrichtung. Die integrierte Tischplatte ist so konstruiert, dass sämtliche Befestigungslayouts (100 %) – sowohl die beiden Standardlayouts SBB 1310 × 650 und EN 50206 800 × 950 als auch sämtliche Sondervarianten – direkt darauf montiert werden können. Zusätzlich werden 2 weitere Prüfgeräte KM11 beschafft, so dass insgesamt 3 Prüfgeräte zur Verfügung stehen.

Funktionsweise

Die Spezial-Hubwagen verfügen über eine fest integrierte Tischplatte mit Lochbildern für sämtliche Befestigungslayouts. Der gesamte Prozess – Vormontage der Isolatoren, Montage des Stromabnehmers und Endprüfung – findet am gleichen Hubwagen statt. Da die gesamte Hubwagenflotte ausgetauscht wird, können sowohl Standardlayouts als auch sämtliche Sondervarianten ohne Umrüstung abgedeckt werden.

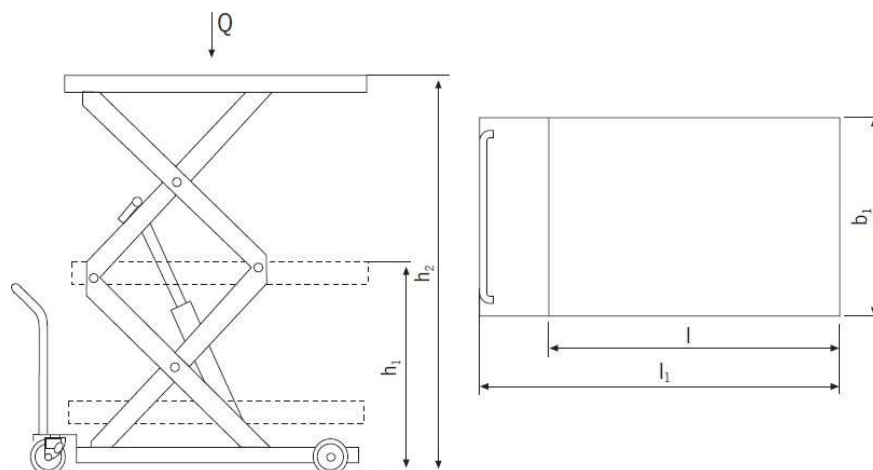


Abbildung 15: Hubwagen

Investitions- und Aufwandsabschätzung

Position	Anzahl	Stück (CHF)	Total (CHF)
Spezial-Hubwagen mit integrierter Lehrenfunktion	13	15'000	195'000
Konstruktion & Engineering (Lieferant)	pauschal	–	8'000
Lieferung (Sammeltransport)	pauschal	–	3'000
Aufstellung & Inbetriebnahme	pauschal	–	4'000
Prüfgerät KM11 (zusätzlich)	2	15'000	30'000
Total Investition Variante 3			ca. 240'000

Tabelle 22: Gesamtinvestition Variante 3

Hinweis zu den Annahmen: Der Stückpreis für die Spezial-Hubwagen basiert auf einer Schätzung auf Grundlage branchenüblicher Erfahrungswerte. Eine konkrete Offerte wurde im Rahmen der Diplomarbeit nicht eingeholt, da diese Variante nicht zur Ausarbeitung gewählt wird.

Zusammenfassung Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Alles auf einem Wagen machbar	Sehr hohe Investition (ca. 240'000 CHF)
Keine Transportzeiten	Lange Lieferzeiten – nicht im Projektzeitraum realisierbar
Sämtliche Befestigungslayouts (100 %) abgedeckt	Sonderanfertigung, kein Standardprodukt
Beste technische Lösung	Hohe Abhängigkeit vom externen Lieferanten
	Bestehende Hubwagenflotte wird komplett ersetzt – grosser Eingriff

Tabelle 23: Vor- und Nachteile Variante 3

7.4.4 Zusammenfassende Gegenüberstellung

Zur besseren Übersicht werden die drei Varianten in der folgenden Tabelle direkt gegenübergestellt:

Kriterium	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Investition	ca. 49'000 CHF	ca. 65'000 CHF	ca. 240'000 CHF
Faktor zu Variante 1	1×	1,3×	4,9×
Realisierbar im Projektzeitraum	ja	nein	nein
Transportzeiten	entfallen	bleiben	entfallen
Layout-Abdeckung	62 % (Standardlay- outs)	100 %	100 %
Eingriff in bestehenden Prozess	mittel	gering	sehr gross
Eigenkonstruktion	ja	nein	nein

Tabelle 24: Zusammenfassende Gegenüberstellung der drei Varianten

Die Entscheidung, welche Variante zur Umsetzung empfohlen wird, erfolgt im nachfolgenden Kapitel mittels Präferenzmatrix und Nutzwertanalyse.

7.5 Evaluation der geeignetsten Variante

Nachdem die drei Varianten im vorangehenden Kapitel detailliert beschrieben wurden, erfolgt nun die fundierte Auswahl der zu favorisierenden Variante. Diese Auswahl basiert auf drei Methoden, welche systematisch aufeinander aufbauen:

- Präferenzmatrix – Gewichtung der Bewertungskriterien
- Nutzwertanalyse – Bewertung der Varianten anhand der gewichteten Kriterien
- Sensitivitätsanalyse – Prüfung der Robustheit des Resultats

Aus diesem Vorgehen ergibt sich eine nachvollziehbare und mathematisch begründete Entscheidung für eine der drei Varianten.

7.5.1 Präferenzmatrix

In der Präferenzmatrix werden die Bewertungskriterien paarweise miteinander verglichen. Bei jedem Vergleich wird entschieden, welches der beiden Kriterien für die Lösung der Problemstellung wichtiger ist. In jedes Feld wird die Nummer des wichtigeren Kriteriums eingetragen. Anschliessend wird gezählt, wie oft jedes Kriterium in der Matrix vorkommt – daraus ergibt sich die prozentuale Gewichtung.

Auf Basis der Anforderungen aus dem Pflichtenheft und der Ist-Analyse wurden sieben Bewertungskriterien definiert:

Nr.	Kriterium	Herleitung
1	Investition	Pflichtenheft: ROI \leq 2,5 Jahre
2	Realisierbarkeit Projektzeitraum	Aufgabenstellung: Prototyp bis 25.05.2026
3	Engpasslösung	Hauptziel der Diplomarbeit
4	Transportzeiten	Lean-Verschwendung eliminieren
5	Layout-Abdeckung	Anteil der gedeckten Produktion
6	Stabilität / Sicherheit	Qualitätsanforderung Bahnindustrie
7	Eingriff bestehender Prozess	Risikofaktor für Umsetzung

Tabelle 25: Bewertungskriterien für die Nutzwertanalyse

Bei sieben Kriterien ergeben sich insgesamt 21 Paarvergleiche. Die nachfolgende Präferenzmatrix zeigt für jeden Paarvergleich die Nummer des wichtigeren Kriteriums:

Kriterium	1	2	3	4	5	6	7
1. Investition		1	3	1	1	6	1
2. Realisierbarkeit Projektzeitraum			3	4	5	6	2
3. Engpasslösung				3	3	3	3
4. Transportzeiten					4	6	7
5. Layout-Abdeckung						6	5
6. Stabilität / Sicherheit							6
7. Eingriff bestehender Prozess							

Tabelle 26: Präferenzmatrix der Bewertungskriterien

Zählung der Nennungen pro Kriterium ergibt folgende Gewichtung:

Nr.	Kriterium	Nennungen	% Anteil	Rang
1	Investition	4	19.0	3
2	Realisierbarkeit Projektzeitraum	1	4.8	6
3	Engpasslösung	6	28.6	1
4	Transportzeiten	2	9.5	5
5	Layout-Abdeckung	2	9.5	5
6	Stabilität / Sicherheit	5	23.8	2
7	Eingriff bestehender Prozess	1	4.8	6
	Total	21	100	

Tabelle 27: Auswertung der Präferenzmatrix

Interpretation der Gewichtung

- Rang 1 – Engpasslösung (28.6 %) – wichtigstes Kriterium, da Hauptziel der Diplomarbeit
- Rang 2 – Stabilität / Sicherheit (23.8 %) – Qualitätsanforderung der Bahnindustrie
- Rang 3 – Investition (19.0 %) – ROI-Vorgabe aus dem Pflichtenheft
- Rang 5 – Transportzeiten und Layout-Abdeckung (je 9.5 %) – mittlere Bedeutung
- Rang 6 – Realisierbarkeit Projektzeitraum und Eingriff bestehender Prozess (je 4.8 %) – Begleitkriterien

Diese Gewichtung wird in der nachfolgenden Nutzwertanalyse zur Bewertung der drei Varianten verwendet.

7.5.2 Nutzwertanalyse

Die Bewertungskriterien aus der Präferenzmatrix werden nun zur Bewertung der drei Varianten verwendet. Jedes Kriterium erhält pro Variante eine Bewertung von 1 bis 5:

Bewertung	Bedeutung
5	sehr gut erfüllt
4	gut erfüllt
3	befriedigend erfüllt
2	schlecht erfüllt
1	nicht erfüllt

Tabelle 28: Bewertungsschema Nutzwertanalyse

Die Punkte pro Kriterium ergeben sich aus Bewertung × Gewichtung. Die Summe der Punkte pro Variante ergibt den Nutzwert.

Nr.	Kriterium	Gewichtung	V1 Bew.	V1 Pkt.	V2 Bew.	V2 Pkt.	V3 Bew.	V3 Pkt.
1	Investition	19.0	5	95.0	4	76.0	1	19.0
2	Realisierbarkeit Projektzeitraum	4.8	5	24.0	1	4.8	1	4.8
3	Engpasslösung	28.6	5	143.0	4	114.4	5	143.0
4	Transportzeiten	9.5	5	47.5	2	19.0	5	47.5
5	Layout-Abdeckung	9.5	3	28.5	5	47.5	5	47.5
6	Stabilität / Sicherheit	23.8	3	71.4	5	119.0	5	119.0
7	Eingriff bestehender Prozess	4.8	3	14.4	5	24.0	1	4.8
	Nutzwert	100.0		423.8		404.7		385.6

Tabelle 29: Nutzwertanalyse der drei Varianten

Resultat der Nutzwertanalyse

- Rang 1 – Variante 1 mit 423.8 Punkten (Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten)
- Rang 2 – Variante 2 mit 404.7 Punkten (Zusätzliche Lehren + Prüfgeräte)
- Rang 3 – Variante 3 mit 385.6 Punkten (Neue Spezial-Hubwagen)

Variante 1 gewinnt mit 423.8 Punkten und wird zur Umsetzung empfohlen. Der Abstand zu Variante 2 beträgt 19.1 Punkte ($\approx 4.7\%$) – ein knappes Resultat, das in der nachfolgenden Sensitivitätsanalyse auf seine Robustheit geprüft wird.

7.5.3 Sensitivitätsanalyse

Die Nutzwertanalyse hat Variante 1 mit knappem Vorsprung (4.7 %) als Sieger ermittelt. Um die Robustheit dieses Resultats zu überprüfen, werden in der Sensitivitätsanalyse die Gewichtungen einzelner Kriterien variiert und das Resultat erneut berechnet. Bleibt Variante 1 auch bei veränderten Gewichtungen vorne, gilt die Entscheidung als robust.

Dazu werden drei Szenarien definiert:

Szenario	Was wird verändert?	Ziel
A	Stabilität wird wichtigstes Kriterium	Worst-Case für V1 prüfen
B	Investition wird wichtigstes Kriterium	Best-Case für V1 prüfen
C	Layout-Abdeckung wird wichtigstes Kriterium	Worst-Case für V1 prüfen

Tabelle 30: Szenarien der Sensitivitätsanalyse

Szenario A – Stabilität als wichtigstes Kriterium

Was wäre, wenn Stabilität mit 28.6 % als wichtigstes Kriterium gewichtet würde und Engpasslösung auf 23.8 % zurückfallen würde?

Nr.	Kriterium	Gewichtung A	V1 Pkt.	V2 Pkt.	V3 Pkt.
1	Investition	19.0	95.0	76.0	19.0
2	Realisierbarkeit Projektzeitraum	4.8	24.0	4.8	4.8
3	Engpasslösung	23.8	119.0	95.2	119.0
4	Transportzeiten	9.5	47.5	19.0	47.5
5	Layout-Abdeckung	9.5	28.5	47.5	47.5
6	Stabilität / Sicherheit	28.6	85.8	143.0	143.0
7	Eingriff bestehender Prozess	4.8	14.4	24.0	4.8
	Nutzwert Szenario A	100.0	414.2	409.5	385.6

Tabelle 31: Szenario A: Stabilität als wichtigstes Kriterium

→ Variante 1 gewinnt weiterhin mit 414.2 zu 409.5 Punkten – Vorsprung schrumpft auf 1.1 %.

Szenario B – Investition als wichtigstes Kriterium

Was wäre, wenn die Wirtschaftlichkeit das Hauptkriterium wäre (28.6 %) und Stabilität auf 19.0 % zurückfallen würde?

Nr.	Kriterium	Gewichtung B	V1 Pkt.	V2 Pkt.	V3 Pkt.
1	Investition	28.6	143.0	114.4	28.6
2	Realisierbarkeit Projektzeitraum	4.8	24.0	4.8	4.8
3	Engpasslösung	23.8	119.0	95.2	119.0
4	Transportzeiten	9.5	47.5	19.0	47.5
5	Layout-Abdeckung	9.5	28.5	47.5	47.5
6	Stabilität / Sicherheit	19.0	57.0	95.0	95.0
7	Eingriff bestehender Prozess	4.8	14.4	24.0	4.8
Nutzwert Szenario B		100.0	433.4	399.9	347.2

Tabelle 32: Szenario B: Investition als wichtigstes Kriterium

→ Variante 1 gewinnt deutlich mit 433.4 zu 399.9 Punkten – Vorsprung steigt auf 8.4 %.

Szenario C – Layout-Abdeckung als wichtigstes Kriterium

Was wäre, wenn die 100 %-Layout-Abdeckung mit 28.6 % als wichtigstes Kriterium gewichtet würde und Stabilität auf 9.5 % zurückfallen würde?

Nr.	Kriterium	Gewichtung C	V1 Pkt.	V2 Pkt.	V3 Pkt.
1	Investition	19.0	95.0	76.0	19.0
2	Realisierbarkeit Projektzeitraum	4.8	24.0	4.8	4.8
3	Engpasslösung	23.8	119.0	95.2	119.0
4	Transportzeiten	9.5	47.5	19.0	47.5
5	Layout-Abdeckung	28.6	85.8	143.0	143.0
6	Stabilität / Sicherheit	9.5	28.5	47.5	47.5
7	Eingriff bestehender Prozess	4.8	14.4	24.0	4.8
Nutzwert Szenario C		100.0	414.2	409.5	385.6

Tabelle 33: Szenario C: Layout-Abdeckung als wichtigstes Kriterium

→ Variante 1 gewinnt weiterhin mit 414.2 zu 409.5 Punkten – Vorsprung 1.1 %.

Zusammenfassung Sensitivitätsanalyse

Szenario	V1 Nutzwert	V2 Nutzwert	V3 Nutzwert	Sieger	Vorsprung
Original	423.8	404.7	385.6	V1	4.7 %
A – Stabilität wichtigst	414.2	409.5	385.6	V1	1.1 %
B – Investition wichtigst	433.4	399.9	347.2	V1	8.4 %
C – Layout wichtigst	414.2	409.5	385.6	V1	1.1 %

Tabelle 34: Zusammenfassung Sensitivitätsanalyse

Variante 1 gewinnt in allen drei Szenarien – die Entscheidung ist somit robust gegenüber Variation der Gewichtungen. In den ungünstigen Szenarien (A, C) ist der Vorsprung knapp, in günstigen Szenarien (B) deutlich. Variante 3 erreicht in keinem Szenario einen Spitzenplatz.

Die Empfehlung für Variante 1 ist mathematisch fundiert und robust.

7.5.4 Resultat der Variantenevaluation

Die Evaluation der drei Varianten wurde in drei aufeinander aufbauenden Schritten durchgeführt:

- Präferenzmatrix zur Gewichtung der Bewertungskriterien
- Nutzwertanalyse zur Bewertung der Varianten anhand der gewichteten Kriterien
- Sensitivitätsanalyse zur Überprüfung der Robustheit des Resultats

Aus diesen Methoden ergibt sich folgendes Gesamtbild:

Variante	Nutzwert	Rang	Robustheit
Variante 1 – Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten	423.8	1	gewinnt in allen Szenarien
Variante 2 – Zusätzliche Lehren + Prüfgeräte	404.7	2	bleibt durchgehend auf Rang 2
Variante 3 – Neue Spezial-Hubwagen + Prüfgeräte	385.6	3	bleibt durchgehend auf Rang 3

Tabelle 35: Gesamtergebnis der Variantenevaluation

Begründung der Empfehlung

Variante 1 – Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten wird als zu realisierende Lösung empfohlen.

Die Empfehlung stützt sich auf folgende Argumente:

- Höchster Nutzwert in der Nutzwertanalyse (423.8 Punkte)
- Robust in allen Szenarien der Sensitivitätsanalyse – Variante 1 gewinnt unabhängig davon, ob Stabilität, Investition oder Layout-Abdeckung als wichtigstes Kriterium angesehen wird
- Einzige Variante, die im Projektzeitraum der Diplomarbeit realisierbar ist – Variante 2 und 3 benötigen mehrmonatige Lieferzeiten beim externen Lieferanten
- Wirtschaftlich am attraktivsten mit einer Investition von ca. 49'000 CHF (V2: 65'000 CHF / V3: 240'000 CHF)
- Hohe Flexibilität durch 8 parallel einsetzbare Hubwagen
- Eigenkonstruktion – die Lösung wird intern entwickelt und gefertigt, was zusätzliches Know-how im Unternehmen aufbaut

Berücksichtigung der Schwächen

Die Nutzwertanalyse zeigt auch die Schwächen von Variante 1 transparent auf:

- Die Layout-Abdeckung beträgt nur 62 % – Sondervarianten werden weiterhin auf der bestehenden Lehre montiert
- Die Stabilität der Aufbauten auf den Hubwagen muss in der Ausarbeitung sorgfältig geprüft werden
- Die Eigenkonstruktion der Adapterplatten birgt Konstruktionsrisiken

Diese Aspekte werden in der Ausarbeitung der gewählten Variante in Kapitel 8 detailliert behandelt – insbesondere in der SWOT-Analyse, der Risikoanalyse sowie in der Kosten-Nutzen-Analyse.

Empfehlung an den Auftraggeber

Auf Basis der Variantenevaluation wird die Umsetzung von Variante 1 – Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten empfohlen. Diese Variante:

- löst den identifizierten Engpass an der Lehre vollständig
- erfüllt das ROI-Ziel von $\leq 2,5$ Jahren mit grossem Abstand
- ist im Rahmen der Diplomarbeit als Prototyp realisierbar
- bildet die Grundlage für eine spätere Serienlösung

8 Ausarbeitung der Variante <Hubwagen aufrüsten mit Adapterplatten>

Auf Basis der Variantenevaluation in Kapitel 7.5 wurde Variante 1 zur Umsetzung gewählt. In diesem Kapitel wird die gewählte Variante als Prototyp konkret ausgearbeitet, umgesetzt und bewertet. Dazu werden vier Schritte durchlaufen: Phasenplan zur Umsetzung, SWOT-Analyse, Risiko-Analyse und Kosten-Nutzen-Analyse.

8.1 Phasenplan zur Umsetzung der Variante <Titel>

Die Umsetzung der Variante 1 erfolgte in fünf aufeinander aufbauenden Phasen. Der Phasenplan beschreibt sämtliche Aktivitäten, welche zur erfolgreichen Realisierung des Prototyps notwendig waren.

Phase	Bezeichnung	Zeitraum	Hauptaktivitäten
1	Konzeption	KW 16–17	Skizzen, Konstruktionsentscheid, Materialdefinition
2	Beschaffung	KW 17–18	Bestellung Rohmaterial, Wareneingang
3	Fertigung	KW 18–19	Drehen Bolzen, Fräsen Adapterplatten, Bohren, Schweissen
4	Montage	KW 19	Montage am Hubwagen, Anpassungen, Sicherheitsmassnahmen
5	Testing & Validierung	KW 19–20	IST-Aufnahme neuer Prozess, Auswertung

Tabelle 36: Phasenplan zur Umsetzung Variante 1

Phase 1 – Konzeption (KW 16–17)

In der Konzeptionsphase wurden die konstruktiven Grundlagen erarbeitet. Folgende Aktivitäten wurden durchgeführt:

- Skizzieren der beiden Standard-Befestigungslayouts (SBB 1310 × 650 und EN 50206 800 × 950)
- Erarbeiten verschiedener Lösungsvarianten zur Anordnung auf dem Hubwagentisch
- Abstimmung mit den Mitarbeitenden der Stromabnehmer-Montage zur ergonomischen Platzierung
- Abstimmung mit Fachexperte Urs Katzenstein zur konstruktiven Umsetzung
- Festlegung des Konstruktionskonzepts: lange Adapterplatte für die zwei Isolatorpositionen vorne, kleine Platte für den einzelnen Isolator hinten
- Materialdefinition: Aluminium 25 mm dick (Stabilität), Befestigung mit 4 Schraubverbindungen pro Isolatorposition
- Konstruktion der Aufsteckplatte mit zwei Bolzen D16 zur Ausrichtung

Resultat Phase 1: Vollständiges Konstruktionskonzept inkl. definierter Stückliste.

Phase 2 – Beschaffung (KW 17–18)

Auf Basis der definierten Stückliste wurde das Rohmaterial am 24.04.2026 beim Einkauf bestellt.

Position	Material	Kosten
Adapterplatte 2 Teil 1	Alu-Platte 120 × 25 × 1070 mm	120 CHF
Adapterplatte 1 Teil 1	Alu-Platte 120 × 25 × 770 mm	90 CHF
Adapterplatte 1 Teil 2	Alu-Platte 120 × 25 × 120 mm	50 CHF
Adapterplatte 2 Teil 2	Alu-Platte 120 × 50 × 120 mm	33 CHF
Massstabhalter-Platte	Alu-Platte 80 × 25 × 160 mm	28 CHF
Bolzen (24 Stk.)	2× Kurzstange D15 (1.4305), L=500 mm	80 CHF
Massstabhalter Rohr	4-Kant-Rohr Stahl 50 × 30 × 3 mm, L=150 mm	12 CHF
Massstabhalter Träger	Flachstahl St 37, 80 × 10 mm, L=430 mm	12 CHF
Bolzen D16 (2 Stk.)	aus Restmaterial bereits vorhanden	15 CHF
Total Materialkosten		440 CHF

Tabelle 37: Materialbeschaffung Variante 1

Wareneingang: Stahlbauteile (4-Kant-Rohr und Flachstahl) am 29.04.2026, restliches Material am 01.05.2026.

Resultat Phase 2: Alle Rohmaterialien zur Fertigung verfügbar.

Phase 3 – Fertigung (KW 18–19)

Die Fertigung erfolgte vollständig intern. Sämtliche Bearbeitungen wurden durch den Diplomanden ausgeführt, mit Ausnahme der Schweissarbeiten (an internen Schweisser delegiert).

Bearbeitung	Bauteil	Aufwand	Kosten
Drehen	24 Bolzen D13 (1.4305)	60 min RZ + 3 min/Stk BZ	304 CHF
Drehen	2 Bolzen D16	30 min RZ + 3 min/Stk BZ	85 CHF
Fräsen	Adapterplatte 1 Teil 1 (3D in MasterCam)	60 min RZ + 5 min BZ	200 CHF
Fräsen	Adapterplatte 2 Teil 1	30 min RZ + 5 min BZ	95 CHF
Fräsen	Adapterplatte 1 Teil 2	30 min RZ + 4 min BZ	100 CHF
Fräsen	Adapterplatte 2 Teil 2	30 min RZ + 5 min BZ	95 CHF
Fräsen	Massstabhalter-Platte	30 min RZ + 4 min BZ	92 CHF
Bohren	Massstabhalter Teil 1 + 2	40 min RZ + 3 min BZ	100 CHF
Schweissen	Massstabhalter (intern delegiert)	15 min	35 CHF
Total Ferti- gungskosten			1'106 CHF

Tabelle 38: Fertigungskosten Variante 1

Fertigungsstart: 04.05.2026 mit den Bolzen. Die Alu-Platten wurden in MasterCam 3D konstruiert, programmiert und anschliessend auf der 3-Achsen-Fräsmaschine Mynx 750 gefertigt.

Resultat Phase 3: Alle Komponenten gefertigt und montagefertig.

Phase 4 – Montage (KW 19)

Für die Montage wurde ein freier Hubwagen aus dem Bestand verwendet (Opfer-Hubwagen für den Prototyp). Folgende Schritte wurden durchgeführt:

- Positionierung der Adapterplatten auf dem Hubwagentisch
- Markieren und Bohren der Bohrpositionen mit Stufenbohrer
- Ausrichten der Adapterplatten Teil 2 mit Hilfe eines vormontierten Grundrahmens als Referenz
- Erkennen einer Unebenheit am Hubwagen → Unterlegen mit Distanzscheiben + Ausrichten mit Wasserwaage
- Montage der Bolzen für die Isolatorpositionierung
- Schaffung einer Lagerposition unter dem Hubwagen für die Aufsteckplatte inkl. Halterungen zur Sicherung gegen Herunterrutschen
- Bohren der Freistellung für den Seilzug des Prüfgeräts KM11 mit Lochsäge D85
- Konstruktion einer Sicherheitsmassnahme: Schraube M6 x 30 mit Griff zur Blockierung des Hubwagen-Hebels während der Prüfung - zwei Gewinde am Hebel: Position unlock als Aufbewahrung, Position lock zur Hebelblockierung

Montagekosten: 4 Stunden, ca. 800 CHF.

Resultat Phase 4: Voll funktionsfähiger Prototyp-Hubwagen mit beiden Standard-Befestigungslayouts SBB + EN 50206.

Phase 5 – Testing und Validierung (KW 19–20)

Zur objektiven Bewertung wurde der neue Prozess am Produktionsauftrag PA-000127650 (Stromabnehmer RM 354-202 R2, Verkaufsauftrag VA 35671) gemessen. Die IST-Aufnahme erfolgte am 13.05.2026 und 18.05.2026 mit demselben Mitarbeiter, mit dem auch die ursprüngliche Ist-Analyse durchgeführt worden war.

Resultat Phase 5: Bestätigte Funktionsfähigkeit, dokumentierte Zeiteinsparungen, Akzeptanz aller Mitarbeiter.

Hinweis zur Serienlösung

Der im Rahmen der Diplomarbeit realisierte Prototyp besteht aus einem aufgerüsteten Hubwagen sowie dem einen bestehenden Prüfgerät KM11. Damit wurde die technische Machbarkeit der Lösung erfolgreich nachgewiesen. Die volle Wirkung der Variante 1 entfaltet sich jedoch erst, wenn die in Kapitel 7.4.1 vorgesehene Serienkonfiguration umgesetzt wird:

Element	Prototyp (heute)	Serienlösung (Empfehlung)
Aufgerüstete Hubwagen	1	8
Prüfgeräte KM11	1 (bestehend)	3 (1 bestehend + 2 neu)

Tabelle 39: Prototyp vs. Serienlösung

Erst mit der vollständigen Umsetzung der Serienlösung wird der ursprüngliche Engpass an der Lehre vollständig aufgelöst. Konkret bedeutet das:

- Mehrere Stromabnehmer können parallel an verschiedenen Hubwagen bearbeitet werden – Vormontage, Montage und Prüfung laufen für unterschiedliche Stromabnehmer zeitgleich ab
- Keine Wartezeiten mehr, weil keine zentrale Ressource (Lehre, Prüfgerät) mehr blockiert ist
- Die bestehende Lehre wird ausschliesslich für Sondervarianten (38 % der Produktion) verwendet

Vorher/Nachher-Vergleich der Durchlaufzeit (Prototyp)

Prozessschritt	Vorher (Lehre)	Nachher (Prototyp)	Differenz
Vormontage Isolatoren	25.5 min	22 min	-3.5 min
Transport Lehre → Hubwagen	3 min	entfallen	-3 min
Stromabnehmer-Montage	5 h 17 min	5 h 40 min	+23 min
Transport Hubwagen → Lehre	3 min	entfallen	-3 min
Prüfen / Einstellen	2 h 00 min	1 h 40 min	-20 min
Transport Lehre → Palett	3 min	2 min	-1 min
Total Durchlaufzeit pro SA	7 h 52 min	7 h 44 min	-8 min

Tabelle 40: Vorher/Nachher-Vergleich Durchlaufzeit (Prototyp)

Erwartete Wirkung der Serienlösung

Pro Stromabnehmer wurden mit dem Prototyp 8 Minuten Durchlaufzeit eingespart sowie sämtliche Transportzeiten zwischen Lehre und Arbeitsplatz eliminiert. Wichtiger als diese Zeiteinsparung pro Stück ist jedoch die strukturelle Auflösung des Engpasses:

Kennzahl	Heute (1 Lehre)	Mit Prototyp	Mit Serienlösung
Theoretische Obergrenze	3.3 Stk/Tag	unverändert	≥ 5 Stk/Tag
Wartezeit Mitarbeiter	vorhanden	reduziert	≈ 0
Parallele Bearbeitung möglich	nein	nein (nur 1 Wagen)	ja

Tabelle 41: Skalierung vom Prototyp zur Serienlösung

Erst die Serienlösung erreicht das Unternehmensziel von 5 Stromabnehmern pro Tag. Diese Aussage wird in der Kosten-Nutzen-Analyse in Kapitel 8.4 wirtschaftlich nachgewiesen.

8.2 SWOT - Analyse

Die SWOT-Analyse bewertet die gewählte Variante 1 strategisch entlang von vier Dimensionen:

- Strengths (Stärken) – interne, positive Faktoren der Lösung
- Weaknesses (Schwächen) – interne, negative Faktoren der Lösung
- Opportunities (Chancen) – externe, positive Faktoren des Umfelds
- Threats (Risiken) – externe, negative Faktoren des Umfelds

Die SWOT-Analyse dient als Grundlage für strategische Entscheidungen bei der Umsetzung der Serienlösung und ergänzt die im folgenden Kapitel folgende Risiko-Analyse.

SWOT-Matrix

Strengths (Stärken)	Weaknesses (Schwächen)
<ul style="list-style-type: none"> • Tiefste Investitionskosten aller Varianten (ca. 49'000 CHF) • Vollständig intern entwickelt und gefertigt – keine Lieferantenabhängigkeit • Im Projektzeitraum realisierbar (einzige Variante) • Vormontage, Montage und Prüfung am selben Wagen – keine Transportzeiten • Sicherheitsmassnahme integriert (Hebel-Blokkierung beim Prüfen) • Akzeptanz und Begeisterung bei den Mitarbeitenden nachgewiesen • Wirtschaftlichkeit deutlich unter ROI-Ziel von 2,5 Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur Standardlayouts SBB + EN 50206 abgedeckt (62 % der Produktion) • Sondervarianten weiterhin auf bestehender Lehre • Stabilität der Aufbauten muss bei Volllast langfristig überwacht werden • Mitarbeiter müssen sich an neuen Prozessablauf gewöhnen
Opportunities (Chancen)	Threats (Risiken)
<ul style="list-style-type: none"> • Skalierbarkeit: Konzept übertragbar auf weitere Stromabnehmer-Typen • Aufbau internen Know-hows für ähnliche Lean-Projekte • Vorbildwirkung für weitere Lean-Initiativen in der Richard AG • Bessere Erfüllbarkeit von Kundenanforderungen durch höhere Lieferkapazität • Reduktion der Lehren-Auslastung schafft Spielraum für andere Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> • Steigende Nachfrage nach Sondervarianten könnte 62 %-Abdeckung relativieren • Lieferengpässe bei Aluminium oder Prüfgeräten KM11 • Personalwechsel könnte Akzeptanz und Routine beeinträchtigen • Konkurrenzdruck in der Bahnindustrie – schnellere Reaktion gefragt • Umzug am neuen Standort Oftringen erfordert allenfalls Neuausrichtung

Tabelle 42: SWOT-Analyse Variante 1

Strategische Ableitungen aus der SWOT

Aus der SWOT-Analyse lassen sich vier strategische Handlungsempfehlungen ableiten:

Stärken nutzen, Chancen ergreifen (SO-Strategie)

Die interne Fertigung und das aufgebaute Know-how sollten aktiv für weitere Lean-Initiativen in der Richard AG eingesetzt werden. Das im Rahmen der Diplomarbeit gewonnene Wissen bildet eine wertvolle Basis für künftige Optimierungsprojekte und sollte über interne Schulungen oder eine Lean-Erfahrungsdatenbank weitergegeben werden.

Schwächen abbauen, Chancen ergreifen (WO-Strategie)

Da die Lösung heute nur 62 % der Produktion abdeckt, sollte mittelfristig geprüft werden, ob Sondervarianten ebenfalls auf ein Adapterplatten-Konzept umgestellt werden können. Das wäre eine direkte Skalierung des erfolgreich erprobten Prinzips.

Stärken nutzen, Risiken minimieren (ST-Strategie)

Die geringen Investitionskosten und die hohe Flexibilität ermöglichen es, schnell auf Änderungen wie steigende Nachfrage nach Sondervarianten oder den Umzug nach Oftringen zu reagieren. Bei Bedarf können weitere Adapterplatten kurzfristig intern nachproduziert werden.

Schwächen abbauen, Risiken minimieren (WT-Strategie)

Die Stabilität der Aufbauten sollte durch regelmässige Wartungsintervalle überprüft werden. Zudem sollten die Mitarbeitenden gezielt geschult werden, um die Akzeptanz unabhängig von Personalwechseln dauerhaft sicherzustellen.

8.3 Risiko - Analyse

Bei der Umsetzung der Serienlösung können verschiedene Risiken auftreten, welche den Erfolg gefährden. Diese werden im folgenden identifiziert und nach Eintrittswahrscheinlichkeit sowie Auswirkung bewertet. Aus dem Produkt der beiden Werte ergibt sich der Risikofaktor, welcher die Priorität der notwendigen Massnahmen bestimmt.

Bewertungsschema

Die Bewertung erfolgt nach folgender Skala (1 = niedrig, 5 = hoch):

Stufe	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkung
5	sehr hoch	sehr hoch (Projektstopp)
4	hoch	hoch (Terminverzug, hohe Mehrkosten)
3	mittel	mittel (Anpassungen nötig)
2	gering	gering (geringer Aufwand)
1	sehr gering	sehr gering (vernachlässigbar)

Tabelle 43: Bewertungsschema Risiko-Analyse

Der Risikofaktor wird berechnet als: Eintrittswahrscheinlichkeit × Auswirkung. Daraus ergeben sich drei Risikoklassen:

Risikofaktor	Klasse	Massnahmen
15–25	Hohes Risiko	sofort Massnahmen erforderlich
8–14	Mittleres Risiko	Massnahmen empfohlen
1–7	Geringes Risiko	beobachten, kein direkter Handlungsbedarf

Tabelle 44: Risikoklassen

Identifizierte Risiken

Nr.	Risiko	Ursache	EW	AW	RF	Klasse	Massnahme
R1	Stabilitätsprobleme der Adapterplatten bei Vollast über längere Zeit	Aluminium-Aufbauten auf Hubwagen, Belastung durch schwere Stromabnehmer	3	4	12	mittel	Regelmässige Inspektion alle 6 Monate, Belastungstest nach 100 Zyklen
R2	Lieferengpass beim Prüfgerät KM11	Spezialgerät mit langer Lieferzeit, abhängig vom Lieferanten	3	4	12	mittel	Frühzeitige Bestellung, alternative Anbieter prüfen
R3	Verzögerung beim Aufrüsten der restlichen 7 Hubwagen	Interne Fertigungskapazität, weitere Projekte konkurrenzieren	3	3	9	mittel	Klaren Umsetzungsplan mit Meilensteinen, Priorisierung durch Geschäftsleitung
R4	Geringe Akzeptanz bei neuen Mitarbeitenden	Umstellung vom gewohnten Lehren-Prozess auf Hubwagen-Prozess	2	3	6	gering	Standardisierte Einarbeitung, dokumentierter Arbeitsablauf

Nr.	Risiko	Ursache	EW	AW	RF	Klasse	Massnahme
R5	Fehlende Ersatzteile bei Verschleiss von Adapterplatten oder Bolzen	Eigenkonstruktion, keine Standard-Ersatzteile am Markt	3	2	6	gering	Stückliste und Konstruktionspläne archivieren, Reserve- teile vorhalten
R6	Sicherheitsschraube für Hebel-Blockierung wird vergessen oder umgangen	Menschliches Versagen, Zeitdruck	2	4	8	mittel	Schulung, Sichtprüfung als Standard- schritt im Prüfprotokoll integrieren
R7	Anstieg Sondervarianten reduziert Wirksamkeit der Lösung	Kundennachfrage verändert sich, Layout-Anteil sinkt unter 62 %	2	3	6	gering	Marktbeobachtung, ggf. weitere Adapter- platten für neue Standardlayouts
R8	Umzug nach Oftringen erfordert Anpassung der Lösung	Standortwechsel, neue Hallenlayouts	3	2	6	gering	Lösung modular gestalten, Adapterplat- ten transportierbar
R9	Defekt am Prüfgerät KM11 während Produktion	Verschleiss, technischer Defekt	2	4	8	mittel	3 Prüfgeräte verfügbar (Ausfallreserve), Wartungsverträge abschliessen
R10	Konstruktionsfehler bei Anpassung an neue Stromabnehmer-Typen	Neue Befestigungslayouts in Entwicklung (12 weitere Typen)	2	3	6	gering	Frühzeitige Konstruktionsabstim- mung mit Entwicklungsabteilung

Tabelle 45: Risiko-Analyse Variante 1 (EW = Eintrittswahrscheinlichkeit, AW = Auswirkung, RF = Risikofaktor)

Risikomatrix

Die nachfolgende Matrix visualisiert die Risiken nach Eintrittswahrscheinlichkeit (Y-Achse) und Auswirkung (X-Achse). Risiken im roten Bereich erfordern sofortige Massnahmen, im gelben Bereich empfohlene Massnahmen, im grünen Bereich nur Beobachtung.

EW ↓ / AW →	1	2	3	4	5
5					
4					
3		R8	R3	R1, R2	
2		R5	R4, R7, R10	R6, R9	
1					

Tabelle 46: Risikomatrix Variante 1

Kein Risiko liegt in der hohen Risikoklasse (rot, RF ≥ 15). Die zwei höchsten Risiken (R1 und R2) liegen bei RF = 12 (mittlere Klasse) und sind mit konkreten Massnahmen abgedeckt.

Zusammenfassung

Die Risiko-Analyse zeigt, dass die Umsetzung von Variante 1 mit überschaubaren Risiken verbunden ist:

- Kein hohes Risiko identifiziert
- 5 mittlere Risiken (R1, R2, R3, R6, R9) – alle mit konkreten Massnahmen versehen
- 5 geringe Risiken (R4, R5, R7, R8, R10) – Beobachtung ausreichend

Die Risiken R1 (Stabilität) und R2 (Lieferengpass Prüfgerät) verdienen besondere Aufmerksamkeit bei der Umsetzung der Serienlösung. Für beide sind die definierten Massnahmen einzuhalten.

Die identifizierten Risiken stehen einer Umsetzung nicht entgegen.

8.4 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analyse bewertet die Wirtschaftlichkeit der Variante 1 in der Serienkonfiguration (8 aufgerüstete Hubwagen + 3 Prüfgeräte). Sie umfasst die Ermittlung der einmaligen Investition, des jährlichen Nutzens sowie die Berechnung des Return on Investment (ROI).

Das im Pflichtenheft definierte Ziel lautet: $ROI \leq 2,5$ Jahre.

8.4.1 Investitionskosten

Die einmaligen Investitionskosten setzen sich zusammen aus den 8 Hubwagen-Sets sowie den 2 zusätzlichen Prüfgeräten:

Position	Anzahl	Stück (CHF)	Total (CHF)
Hubwagen-Sets (Material + Fertigung + Montage)	8	2'346	18'768
Prüfgerät KM11 (zusätzlich)	2	15'000	30'000
Total Investition			48'768

Tabelle 47: Investitionskosten Variante 1 (Serienlösung)

8.4.2 Jährlicher Nutzen

Der Nutzen der Lösung setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen:

A) Zusätzliche Stückzahl pro Tag

Kennzahl	Wert
Heutige Produktionsleistung	2.7 SA/Tag
Ziel-Produktionsleistung	5.0 SA/Tag
Zusätzliche Stückzahl pro Tag	2.3 SA/Tag
Arbeitstage pro Jahr	220
Zusätzliche Stückzahl pro Jahr	506 SA/Jahr

Tabelle 48: Zusätzliche Stückzahl durch Variante 1

B) Deckungsbeitrag pro Stromabnehmer

Für die ROI-Berechnung wird ein konservativer Deckungsbeitrag von 1'500 CHF pro Stromabnehmer angenommen. Dieser Wert ist eine begründete Annahme auf Basis branchenüblicher Werte in der Bahnindustrie und wurde mit dem Fachexperten Urs Katzenstein abgestimmt.

C) Jährlicher zusätzlicher Deckungsbeitrag

Zusätzlicher Deckungsbeitrag pro Jahr = 506 SA × 1'500 CHF = 759'000 CHF/Jahr

Position	Wert
Zusätzliche Stückzahl pro Jahr	506 SA
Deckungsbeitrag pro Stromabnehmer	1'500 CHF
Jährlicher Mehrertrag durch Kapazitätssteigerung	759'000 CHF

Tabelle 49: Jährlicher Mehrertrag durch Kapazitätssteigerung

D) Zusätzliche Einsparungen

Neben der direkten Kapazitätssteigerung entstehen weitere Einsparungen durch den optimierten Prozess:

Position	Berechnung	CHF/Jahr
Eingesparte Transportzeit pro SA (9 min)	5 SA/Tag × 9 min × 220 Tage × 80 CHF/h ÷ 60	13'200
Eingesparte Wartezeit (geschätzt 15 min/SA)	5 SA/Tag × 15 min × 220 Tage × 80 CHF/h ÷ 60	22'000
Total Einsparungen pro Jahr		35'200

Tabelle 50: Zusätzliche Einsparungen pro Jahr

E) Gesamtnutzen pro Jahr

Position	CHF/Jahr
Mehrertrag durch Kapazitätssteigerung	759'000
Einsparungen durch Prozessoptimierung	35'200
Total Nutzen pro Jahr	794'200

Tabelle 51: Gesamtnutzen pro Jahr

8.4.3 ROI Berechnung

Der Return on Investment (ROI) gibt an, nach welcher Zeit sich die Investition amortisiert hat:

$$\text{ROI [Jahre]} = \text{Investition} / \text{Nutzen pro Jahr} = 48'768 \text{ CHF} / 794'200 \text{ CHF/Jahr} \approx 0.06 \text{ Jahre}$$

Das entspricht ca. 22 Arbeitstagen bzw. ca. 3 Wochen.

Kennzahl	Wert
Investition	48'768 CHF
Nutzen pro Jahr	794'200 CHF
ROI	0.06 Jahre (≈ 22 Arbeitstage)
ROI-Ziel laut Pflichtenheft	≤ 2.5 Jahre
Zielerfüllung	deutlich übertroffen ✓

Tabelle 52: ROI-Berechnung Variante 1

8.4.4 Sensitivitäts-Check der ROI-Berechnung

Da der angenommene Deckungsbeitrag von 1'500 CHF/SA auf einer Schätzung basiert, wird die ROI-Berechnung zusätzlich mit konservativeren Annahmen durchgeführt:

Szenario	Deckungsbeitrag/SA	Nutzen/Jahr	ROI
Konservativ	500 CHF	288'200 CHF	0.17 Jahre (~ 2 Monate)
Realistisch	1'500 CHF	794'200 CHF	0.06 Jahre (~ 3 Wochen)
Optimistisch	3'000 CHF	1'553'200 CHF	0.03 Jahre (~ 1 Woche)

Tabelle 53: Sensitivitäts-Check ROI bei verschiedenen Deckungsbeiträgen

Selbst bei sehr konservativer Annahme (500 CHF Deckungsbeitrag) wird das ROI-Ziel von 2,5 Jahren um mehr als das 14-fache übertroffen.

8.4.5 Zusammenfassung und Empfehlung

Kennzahl	Wert	Bewertung
Einmalige Investition	48'768 CHF	sehr tief
Jährlicher Nutzen	794'200 CHF	sehr hoch
ROI	0.06 Jahre	stark unter Zielwert ✓
ROI-Ziel	≤ 2.5 Jahre	erfüllt

Tabelle 54: Zusammenfassung Kosten-Nutzen-Analyse

Variante 1 ist wirtschaftlich hochattraktiv. Die Investition amortisiert sich bereits nach ca. drei Wochen Mehrproduktion. Auch unter konservativen Annahmen bleibt der ROI weit unter dem Zielwert. Die Empfehlung zur Umsetzung von Variante 1 ist somit auch aus rein wirtschaftlicher Sicht eindeutig.

9 Projektabschluss

Das vorliegende Kapitel schliesst die Diplomarbeit ab. Es enthält die Überwachung des Projektverlaufs, die kritische Bewertung der Zielerreichung sowie eine Reflexion über den Weg zum Ziel, persönliche Lessons learnt und Ausblicke auf weiterführende Optimierungen.

9.1 Projektüberwachung

Während der gesamten Diplomarbeit wurde der Projektfortschritt anhand des in Kapitel 6.3 definierten Projektablaufplans überwacht. Die definierten Meilensteine dienten als Kontrollpunkte zur Überprüfung des Zeitplans.

Meilenstein-Übersicht

Meilenstein	Soll-Termin	Ist-Termin	Status
Projektinitialisierung abgeschlossen	05.04.2026	05.04.2026	eingehalten
Projektplanung abgeschlossen	12.04.2026	12.04.2026	eingehalten
Beste Lösungsvariante ausgewählt	27.04.2026	27.04.2026	eingehalten
Prototyp konstruiert und realisiert	07.05.2026	12.05.2026	+5 Tage
Projektrealisierung abgeschlossen	17.05.2026	18.05.2026	+1 Tag
Dokumentation fertiggestellt	24.05.2026	25.05.2026	rechtzeitig

Tabelle 55: SOLL-/IST-Vergleich der Meilensteine

Bewertung der Terminerreichung

Die ersten drei Meilensteine wurden exakt nach Plan erreicht. Bei Meilenstein 4 (Prototyp realisiert) entstand eine Verzögerung von 5 Tagen. Die Ursachen sind:

- **Materiallieferung verzögert:** Das Rohmaterial wurde am 24.04.2026 bestellt. Die Stahlteile trafen am 29.04.2026 ein, das restliche Material erst am 01.05.2026. Damit war die Fertigung erst ab dem 04.05.2026 möglich.
- **Zusätzlicher Aufwand bei der Montage:** Beim Aufstellen der Adapterplatten wurde bemerkt, dass der Hubwagen-Tisch nicht eben war. Dies erforderte das Unterlegen und Ausrichten mit Wasserwaage – ein nicht eingeplanter Mehraufwand.
- **Konstruktion der Sicherheitsmassnahme:** Die Hebel-Blockierung mit Schraube M6 × 30 wurde während der Montage als notwendig erkannt und musste zusätzlich konstruiert und gefertigt werden.

Die Verzögerung konnte durch das Einbauen von Puffertagen im Projektplan kompensiert werden, sodass der Abgabetermin am 25.05.2026 eingehalten wurde.

Erkenntnisse für künftige Projekte

- Pufferzeit für Materiallieferungen ist bei Eigenfertigung essenziell – Standardannahme 5 Werktagen reicht in der Praxis nicht aus.
- Konstruktive Detailfragen (Sicherheit, Ergonomie) tauchen häufig erst während der Montage auf und müssen im Zeitplan berücksichtigt werden.
- Wöchentliche Statusberichte an den Diplomlehrer haben sich bewährt und sollten beibehalten werden.

9.2 Evaluation der Zielerreichung

Die im Pflichtenheft definierten Erfolgskriterien werden nachfolgend einzeln bewertet:

Endergebnis	Erfolgskriterium	Status	Erreicht?
Dokumentierte Analyse des Ist-Prozesses	so detailliert, dass keine Rückfragen entstehen	Kap. 7.1 inkl. Zeitmessungen, Engpassanalyse, Verschwendungsanalyse	ja
Definierter und optimierter Soll-Prozess	nachvollziehbarer Ablauf ohne Wartezeiten / Unterbrüche	Kap. 7.4.1 und 8.1 inkl. Vorher/Nachher-Vergleich	ja
Technische Lösungsvorschläge inkl. realisiertem Prototyp	mindestens eine Lösung mit Prototyp, der Montage + Prüfung gleichzeitig erlaubt	Variante 1 als Prototyp realisiert (KW 19/20)	ja
Bewertung der Zeit- und Effizienzverbesserung	vorher/nachher messbar	7 h 52 min → 7 h 44 min pro SA, alle Transporte eliminiert	ja
Definierte Kennzahlen zur Prozessbewertung	Stückzahl/Tag, Durchlaufzeit, Wartezeit messbar	Kennzahlen in Kap. 7.1.7 und 8.1 definiert	ja
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung inkl. ROI ≤ 2,5 Jahre	ROI rechnerisch nachgewiesen	ROI = 0.06 Jahre (Kap. 8.4)	ja
Lessons learnt Bericht	dokumentierte Erfahrungen	Kap. 9.4	ja
Vollständige Projektdokumentation (A4)	kein Abweichungen zum 4-Phasenmodell	Aufbau nach 4-Phasenmodell, durchgehend dokumentiert	ja

Tabelle 56: Evaluation der Zielerreichung

Gesamtbewertung

Alle definierten Erfolgskriterien wurden erfüllt. Das Hauptziel – die Optimierung des Montage- und Prüfprozesses und die Realisierung eines Prototyps – wurde erreicht. Besonders erwähnenswert:

- Das ROI-Ziel von ≤ 2,5 Jahren wurde mit 0,06 Jahren (~ 3 Wochen) deutlich übertroffen.
- Die Akzeptanz bei den Mitarbeitenden war sofort gegeben, was eine spätere Serienumsetzung erleichtert.
- Die Sondervarianten-Abdeckung von 62 % stellt zwar eine Einschränkung dar, deckt aber den grössten Teil der Produktion ab und wurde im Pflichtenheft als akzeptabel definiert.

9.3 Reflexion Weg zum Ziel

Die folgende Reflexion betrachtet den Prozess der Diplomarbeit selbst – was war förderlich, was war hinderlich auf dem Weg zum Ziel.

Förderliche Aspekte

- Klare Aufgabenstellung und Pflichtenheft: Die saubere Klärung der Zielsetzung und Erfolgskriterien zu Projektbeginn gab dem gesamten Verlauf eine eindeutige Richtung.
- Direkter Zugang zur Produktion: Da der Diplomand selbst in der Richard AG tätig ist, waren Zeitmessungen, Mitarbeiter-Interviews und die Prototyp-Realisierung jederzeit möglich.
- Wöchentliche Abstimmung mit dem Fachexperten Urs Katzenstein: Die fachliche Begleitung half, konstruktive Entscheidungen früh abzusichern und Sackgassen zu vermeiden.

- Eigene Fertigungskompetenz: Die Möglichkeit, Adapterplatten, Bolzen und Massstabhalter selbst zu konstruieren und zu fertigen, hat Kosten gespart und gleichzeitig viel Know-how aufgebaut.
- Offenheit der Mitarbeitenden: Die Bereitschaft, neue Prozesse auszuprobieren und Feedback zu geben, war für die schnelle Validierung des Prototyps entscheidend.

Hinderliche Aspekte

- Materialbeschaffung dauerte länger als erwartet: Trotz frühzeitiger Bestellung kam das Material erst eine Woche nach Bestellung an. Dies hat den Fertigungsstart verzögert.
- Unebenheiten am Hubwagen: Erst bei der Montage wurde sichtbar, dass der ausgewählte Hubwagen-Tisch nicht plan war. Dies erforderte zusätzlichen Aufwand zum Ausrichten.
- Aufwand für Dokumentation grösser als erwartet: Die Aufbereitung der gesamten Methodik (Mindmap, Paarvergleich, Variantenbewertung, Nutzwertanalyse, Sensitivitätsanalyse) hat mehr Zeit beansprucht als ursprünglich eingeplant.
- Sondervarianten-Problematik: Während der Ist-Analyse zeigte sich, dass die Anzahl Sondervarianten höher ist als zunächst angenommen. Dies relativiert die 62 %-Layout-Abdeckung in der Wirkung.

Handlungsweisen, die sich bewährt haben

- Frühe Einbindung der Mitarbeitenden: Bei der Konstruktion der Adapterplatten wurden die Wünsche der Mitarbeiter zur Ergonomie aktiv abgefragt – das hat die spätere Akzeptanz stark erhöht.
- Iteratives Vorgehen: Konstruktion, Montage und Test wurden in kleinen Schritten durchgeführt, was schnelle Anpassungen erlaubte.
- KVP-Karten dokumentieren: Während der IST-Aufnahme entdeckte Probleme (Gummimatte gegen Unebenheiten, Bohrungen abdecken, sicheres Richtwerkzeug) wurden als KVP-Karten erfasst und der Abteilungsleitung übergeben.

9.4 Lessons learnt

Die wichtigsten Erfahrungen aus der Diplomarbeit – sowohl für künftige Projekte des Diplomanden als auch als Empfehlung für die Richard AG:

Fachliche Lessons learnt

- Engpass-Analyse vor Variantenbildung: Eine saubere Engpass-Analyse (Theory of Constraints) bringt mehr als jede Lösungssammlung. Ohne die rechnerische Erkenntnis 3,3 SA/Tag mit einer Lehre maximal möglich wäre die Variantenbildung beliebig geblieben.
- Lean-Methodik braucht reale Daten: Die Verschwendungsanalyse nach den 7 Mudas wurde erst durch echte Zeitmessungen am Referenzauftrag aussagekräftig. Schätzungen reichen nicht.
- Wirtschaftlichkeit von Anfang an mitdenken: Die Kosten-Nutzen-Analyse hätte bereits in der Variantenbewertung tiefer einfließen können – nicht erst in Kapitel 8.

Methodische Lessons learnt

- Nutzwertanalyse mit Sensitivitätsanalyse koppeln: Eine Nutzwertanalyse ohne Sensitivitätsprüfung ist oft nicht überzeugend. Erst die Sensitivitätsanalyse zeigt, ob das Resultat robust ist.
- Prototyp vs. Serienlösung sauber trennen: Der Prototyp beweist die Machbarkeit, die Serienlösung erzielt den Nutzen. Diese Unterscheidung methodisch deutlich zu machen, war erfolgskritisch für die Argumentation.

- Risikoanalyse mit konkreten Massnahmen: Risiken ohne Gegenmassnahmen sind wertlos. Jedes identifizierte Risiko braucht eine konkrete, projektbezogene Massnahme.

Persönliche Lessons learnt

- Pufferzeit ist kein Luxus, sondern Notwendigkeit: Die Verzögerung beim Material zeigte, dass der Spruch doppelt so lange wie geplant oft realistisch ist.
- Mitarbeitende sind die wichtigste Ressource: Ohne die Bereitschaft der Montage-Kollegen, neue Abläufe zu testen, wäre die Validierung des Prototyps deutlich schwieriger gewesen.
- Dokumentation ist ein Teilprojekt für sich: Die Aufbereitung der Methoden, Tabellen und Skizzen hat etwa gleich viel Zeit gekostet wie die eigentliche Konstruktion.

9.5 Ausblicke

Im Laufe der Diplomarbeit sind zusätzliche Ideen entstanden, die im Rahmen der Arbeit nicht mehr umgesetzt werden konnten, aber für die weitere Optimierung der Stromabnehmer-Montage interessant sind.

Kurzfristige Ausblicke (sofort umsetzbar)

Idee	Beschreibung	Erwarteter Nutzen
Gummimatte zwischen Isolator und Grundrahmen	Beseitigt Unebenheiten des geschweissten Grundrahmens, eliminiert das manuelle Ausrichten mit Unterlagscheiben	Zeitersparnis bei jeder Vormontage, gleichmässige Qualität
Bohrungen vor dem Lackieren abdecken	Bohrungen für Dämpfer und Zugstange müssen heute nachträglich gereinigt werden, weil sie mitlackiert wurden	Eliminiert die Nacharbeit, sichert den Prozess
Sicheres Werkzeug zum Richten der Stromabnehmer	Heute wird mit einem Holzbalken gerichtet – ein speziell konstruiertes Richtwerkzeug wäre sicherer und präziser	Erhöht die Arbeitssicherheit und die Massgenauigkeit

Tabelle 57: Kurzfristige Ausblicke (KVP-Ideen)

Diese drei Ideen wurden während der Diplomarbeit als KVP-Karten dokumentiert und an den Abteilungsleiter übergeben.

Mittelfristige Ausblicke (Umsetzung in den nächsten 6–12 Monaten)

- • Aufrüsten aller 8 Hubwagen gemäss Serienlösung-Empfehlung dieser Diplomarbeit
- • Beschaffung von 2 zusätzlichen Prüfgeräten KM11, damit insgesamt 3 Prüfstationen zur Verfügung stehen
- • Schulung sämtlicher Mitarbeitenden der Stromabnehmer-Montage auf den neuen Prozess
- • Etablierung eines Wartungsplans für regelmässige Inspektion der Adapterplatten

Langfristige Ausblicke (Umsetzung > 12 Monate)

- Adapterplatten für Sondervarianten: Das Konzept der Adapterplatten könnte auf einzelne Sondervarianten ausgedehnt werden, um die heutigen 62 % auf 80 % oder mehr Layout-Abdeckung zu steigern.

- Übertragung auf andere Produktbereiche: Der gleiche Ansatz (Vorrichtung am Hubwagen statt zentrale Lehre) könnte auch in anderen Montagebereichen der Richard AG geprüft werden, z.B. bei Vakuumhauptschaltern oder Trennern.
- Integration in den neuen Standort Oftringen: Beim geplanten Umzug nach Oftringen kann der Hubwagen-Prozess von Anfang an räumlich optimal eingeplant werden.
- Digitalisierung des Prüfprotokolls: Die heute manuelle Erfassung der Prüfdaten könnte digitalisiert werden, was sowohl Zeit spart als auch die Rückverfolgbarkeit verbessert.

Schlusswort

Die vorliegende Diplomarbeit zeigt, dass mit vergleichsweise geringen Mitteln und konsequenter Lean-Methodik ein bestehender Engpass nachhaltig aufgelöst werden kann. Variante 1 ist nicht nur wirtschaftlich attraktiv, sondern auch im Projektzeitraum realisiert worden – ein konkreter Beweis für die Machbarkeit. Die Empfehlung zur Umsetzung der vollständigen Serienlösung wird mit dieser Arbeit fundiert begründet und der Richard AG übergeben.

10 Eigenständigkeitserklärung

Die Verfasserinnen und Verfasser bestätigen mit ihrer Unterschrift, dass die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als die angegebenen Hilfsmittel erstellt wurde.

Die aus fremden Quellen (einschliesslich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Inhalte sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Erstellung dieser Arbeit wurde das KI-Tool ChatGPT (OpenAI, Version GPT-5.5, Stand 25.05.2026) und Claude AI (Version Opus 4.7) unterstützend genutzt. Es wurde ausschliesslich zur sprachlichen Überarbeitung und Strukturierung von Textpassagen, zur Ideenfindung sowie zur Unterstützung bei der Marktforschung und Datenanalyse verwendet. Alle fachlichen Inhalte, Analysen und Schlussfolgerungen stammen vom Autor beziehungsweise Autorin.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht vorgelegt worden.

Unterschriften:

Datum/Ort: 25.05.2026 Oftringen

Ramadan Ramadani



11 Verzeichnisse

11.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stromabnehmer	5
Abbildung 2: Pflichtenheft.....	11
Abbildung 3 Vakuumhauptschalter	12
Abbildung 4 Stromabnehmer	12
Abbildung 5 Trenner.....	12
Abbildung 6 Dachboxen	12
Abbildung 7: Flip-Chart Analyse.....	13
Abbildung 8: Aufgabenstellung	16
Abbildung 9: Terminplan/Projektplan	19
Abbildung 10: Swimlane-Darstellung des heutigen IST-Prozesses für einen Stromabnehmer-Zyklus	27
Abbildung 11: Lehrenauslastung über einen Arbeitstag mit Kapazitätsberechnung.....	29
Abbildung 12: Mindmap zur Variantenfindung	32
Abbildung 13: Skizze Variante 1	35
Abbildung 14: Lehre	37
Abbildung 15: Hubwagen	38

11.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rahmentermine gemäss Aufgabenstellung	16
Tabelle 2: Kommunikationsplanung	20
Tabelle 3: Bewertungsschema Risiko-Analyse.....	21
Tabelle 4: Risikoklassen.....	21
Tabelle 5: Risiko-Analyse Projekt mit Brutto- und Netto-Bewertung	22
Tabelle 6: Risikomatrix VOR Umsetzung der Massnahmen	22
Tabelle 7: Risikomatrix NACH Umsetzung der Massnahmen	23
Tabelle 8: Verkaufsstückzahlen 2025 nach Befestigungslayout (Quelle: Richard AG)	24
Tabelle 9: Eingesetzte Ressourcen im untersuchten Teilprozess.....	25
Tabelle 10: Zeitmessungen am Referenzauftrag PA-000129708 (RM 354 DB R3)	28
Tabelle 11: Belegung der Lehre pro Stromabnehmer	28
Tabelle 12: Verschwendungsanalyse nach den 7 Lean-Verschwendungsarten.....	30
Tabelle 13: Kennzahlen-Vergleich IST-Zustand vs. Zielzustand.....	31
Tabelle 14: Abkürzung der Lösungsansätze.....	33
Tabelle 15: Paarvergleich der Lösungsansätze.....	33
Tabelle 16: Priorisierung der Lösungsansätze.....	34
Tabelle 17: Kostenkalkulation pro Hubwagen-Set (Variante 1).....	36
Tabelle 18: Gesamtinvestition Variante 1	36
Tabelle 19: Vor- und Nachteile Variante 1	36
Tabelle 20: Gesamtinvestition Variante 2	37
Tabelle 21: Vor- und Nachteile Variante 2	38
Tabelle 22: Gesamtinvestition Variante 3	39
Tabelle 23: Vor- und Nachteile Variante 3	39
Tabelle 24: Zusammenfassende Gegenüberstellung der drei Varianten	40
Tabelle 25: Bewertungskriterien für die Nutzwertanalyse.....	41
Tabelle 26: Präferenzmatrix der Bewertungskriterien.....	42
Tabelle 27: Auswertung der Präferenzmatrix.....	42
Tabelle 28: Bewertungsschema Nutzwertanalyse	43
Tabelle 29: Nutzwertanalyse der drei Varianten	43

Tabelle 30: Szenarien der Sensitivitätsanalyse	44
Tabelle 31: Szenario A: Stabilität als wichtigstes Kriterium.....	44
Tabelle 32: Szenario B: Investition als wichtigstes Kriterium	45
Tabelle 33: Szenario C: Layout-Abdeckung als wichtigstes Kriterium	45
Tabelle 34: Zusammenfassung Sensitivitätsanalyse.....	46
Tabelle 35: Gesamtergebnis der Variantenevaluation.....	46
Tabelle 36: Phasenplan zur Umsetzung Variante 1	48
Tabelle 37: Materialbeschaffung Variante 1	49
Tabelle 38: Fertigungskosten Variante 1	50
Tabelle 39: Prototyp vs. Serienlösung	51
Tabelle 40: Vorher/Nachher-Vergleich Durchlaufzeit (Prototyp)	52
Tabelle 41: Skalierung vom Prototyp zur Serienlösung.....	52
Tabelle 42: SWOT-Analyse Variante 1	53
Tabelle 43: Bewertungsschema Risiko-Analyse.....	55
Tabelle 44: Risikoklassen.....	55
Tabelle 45: Risiko-Analyse Variante 1 (EW = Eintrittswahrscheinlichkeit, AW = Auswirkung, RF = Risikofaktor).....	56
Tabelle 46: Risikomatrix Variante 1	56
Tabelle 47: Investitionskosten Variante 1 (Serienlösung).....	57
Tabelle 48: Zusätzliche Stückzahl durch Variante 1	57
Tabelle 49: Jährlicher Mehrertrag durch Kapazitätssteigerung	58
Tabelle 50: Zusätzliche Einsparungen pro Jahr	58
Tabelle 51: Gesamtnutzen pro Jahr.....	58
Tabelle 52: ROI-Berechnung Variante 1	59
Tabelle 53: Sensitivitäts-Check ROI bei verschiedenen Deckungsbeiträgen	59
Tabelle 54: Zusammenfassung Kosten-Nutzen-Analyse.....	59
Tabelle 55: SOLL-/IST-Vergleich der Meilensteine	60
Tabelle 56: Evaluation der Zielerreichung	61
Tabelle 57: Kurzfristige Ausblicke (KVP-Ideen).....	63

11.3 Literatur- und Quellenverzeichnis

<https://www.richardag.ch/>

12 Anhang

12.1 Projektstatusberichte

Projekt: Teilprozessoptimierung mit Prototyprealisierung in der Stromabnehmer-Montage **Statusbericht: 07.04.2026 (1)**

Projektleiter Ramadan Ramadani	Projektziele Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.		Verteiler • Richard AG • Stromabnehmer-Montage • Projektleitung Lean		
Gesamt- beurteilung	Projektverlauf x <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Projektklima x <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Termine x <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Risiken x <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Ressourcen x <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Tendenz	↗	↗	↗	↗	↗
Aktueller Projektstand • Diplomarbeit ist gestartet. • Grobterminplan wurde erstellt. • Projektinitialisierung läuft. • Vorbereitung für die IST-Analyse.			Was läuft gut? • Der Start ist mir gelungen. Über Ostern konnte ich an der Projektinitialisierung arbeiten. Was läuft nicht gut? • Den Starttermin habe ich verpasst, konnte dies jedoch am nächsten Tag nachholen.		
Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen • IST-Analyse, Zeitaufnahme					

Projekt-Statusbericht; Ramadan Ramadani

Projekt: Teilprozessoptimierung mit Prototyprealisierung in der Stromabnehmer-Montage

Statusbericht: 12.04.2026 (2)

<p>Projektleiter Ramadan Ramadani</p>	<p>Projektziele Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.</p>	<p>Verteiler</p> <ul style="list-style-type: none"> Richard AG Stromabnehmer-Montage Projektleitung Lean
--	--	--

Gesamt- beurteilung	Projektverlauf [X] [] []	Projektklima [X] [] []	Termine [X] [] []	Risiken [X] [] []	Ressourcen [X] [] []
Tendenz	↗	↗	↗	↗	↗

<p>Aktueller Projektstand</p> <ul style="list-style-type: none"> IST-Analyse: Montage- und Prüfprozess aufgenommen, beobachtet, dokumentiert und die Zeit gemessen. Engpässe, Wartezeiten und Schwachstellen wurden analysiert. 	<p>Was läuft gut?</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Prozessaufnahme ist abgeschlossen. Dabei konnte ich gute Beobachtungen machen und gleichzeitig Ideen zur Verbesserung des Prozesses notieren. <p>Was läuft nicht gut?</p> <ul style="list-style-type: none"> Die IST-Analyse hat mehr Zeit in Anspruch genommen als geplant.
--	---

<p>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> Lösungsfindung: Varianten erarbeiten, Lean-Ansätze prüfen, sowie erste Skizzen und Ideen erstellen. Bewertung der Varianten: Nutzwertanalyse, Präferenzmatrix und Auswahl der besten Variante.

Projekt-Statusbericht; Ramadan Ramadani

Projekt: Teilprozessoptimierung mit Prototyprealisierung in der Stromabnehmer-Montage

Statusbericht: 19.04.2026 (3)

<p>Projektleiter Ramadan Ramadani</p>	<p>Projektziele Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.</p>	<p>Verteiler</p> <ul style="list-style-type: none"> Richard AG Stromabnehmer-Montage Projektleitung Lean
--	--	--

<p>Gesamtbeurteilung</p>	<p>Projektverlauf <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Projektklima <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Termine <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Risiken <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Ressourcen <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>Tendenz</p>	<p>⇒</p>	<p>⇒</p>	<p>⇒</p>	<p>⇒</p>	<p>⇒</p>

<p>Aktueller Projektstand</p> <ul style="list-style-type: none"> Projektinitialisierung ist fast fertig (Lebenslauf und Qualifikationsprofil muss noch erstellt werden). Die Projektplanung ist abgeschlossen. (IST-Analyse, Zeitmessung, Engpässe und Schwachstellen dokumentiert in Notizen.) 	<p>Was läuft gut?</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Projektinitialisierung und die Projektplanung sind weit fortgeschritten. <p>Was läuft nicht gut?</p> <ul style="list-style-type: none"> Ich habe den Aufwand für die Projektinitialisierung und die Projektplanung unterschätzt, was mir nach dem Vorzeigegespräch klar wurde.
---	---

<p>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> IST-Aufnahme, Zeitmessung, Engpässe und Schwachstellen sauber dokumentieren. Lösungsfindung: Varianten erarbeiten, Lean-Ansätze prüfen sowie erste Skizzen und Ideen erstellen. Bewertung der Varianten: Nutzwertanalyse, Präferenzmatrix und Auswahl der besten Variante.
--

Projekt-Statusbericht; Ramadan Ramadani

Projekt: Teilprozessoptimierung mit Prototyprealisierung in der Stromabnehmer-Montage

Statusbericht: 27.04.2026 (4)

<p>Projektleiter Ramadan Ramadani</p>	<p>Projektziele Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.</p>	<p>Verteiler</p> <ul style="list-style-type: none"> Richard AG Stromabnehmer-Montage Projektleitung Lean
--	--	--

<p>Gesamt- beurteilung</p>	<p>Projektverlauf</p> <p>□ X □</p>	<p>Projektklima</p> <p>X □ □</p>	<p>Termine</p> <p>□ X □</p>	<p>Risiken</p> <p>□ X □</p>	<p>Ressourcen</p> <p>□ X □</p>
<p>Tendenz</p>	<p>⇒</p>	<p>⇒</p>	<p>⇒</p>	<p>⇒</p>	<p>⇒</p>

<p>Aktueller Projektstand</p> <ul style="list-style-type: none"> Die saubere Dokumentation der IST-Aufnahme ist aktuell in Bearbeitung. Lösungsfindung: Die Varianten befinden sich noch in Bearbeitung. Erste Skizzen und Ideen wurden bereits erstellt. Bewertung der Varianten: Die Nutzwertanalyse, die Präferenzmatrix sowie die Auswahl der besten Variante müssen noch durchgeführt werden. 	<p>Was läuft gut?</p> <ul style="list-style-type: none"> Die ersten Skizzen sowie die Variantenbildung durch Brainstorming sind gut gelungen. <p>Was läuft nicht gut?</p> <ul style="list-style-type: none"> Nach der Arbeit bin ich oft müde und komme nur schwer dazu, an der Dokumentation zu arbeiten.
--	--

<p>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> IST-Aufnahme und Lösungsfindung: Dokumentation abschliessen. Bewertung der Varianten: Nutzwertanalyse, Präferenzmatrix und Auswahl der besten Variante durchführen. Bestellung des Rohmaterials für den Prototypen.

Projekt-Statusbericht; Ramadan Ramadani

Projekt: Teilprozessoptimierung mit Prototyprealisierung in der Stromabnehmer-Montage **Statusbericht: 04.05.2026 (5)**

Projektleiter Ramadan Ramadani	Projektziele Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.	Verteiler <ul style="list-style-type: none"> Richard AG Stromabnehmer-Montage Projektleitung Lean
--	--	---

Gesamtbeurteilung	Projektverlauf 	Projektklima 	Termine 	Risiken 	Ressourcen 
Tendenz					

Aktueller Projektstand <ul style="list-style-type: none"> Die Dokumentation der IST-Aufnahme ist abgeschlossen. Lösungsfindung: Abgeschlossen Bewertung der Varianten: Die Nutzwertanalyse, die Präferenzmatrix sowie die Auswahl der besten Variante müssen noch dokumentiert werden. Rohmaterial ist bestellt. 	Was läuft gut? <ul style="list-style-type: none"> Ich konnte alle Teile selbst mit Mastercam konstruieren sowie das Rohmaterial definieren und bestellen. Was läuft nicht gut? <ul style="list-style-type: none"> Beim Rohmaterial wurde eine Platte aus Versehen mit anderen Dimensionen bestellt. Hat jedoch keine wesentlichen Auswirkungen.
---	---

Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen <ul style="list-style-type: none"> Bewertung der Varianten fertigstellen und dokumentieren. Platten fräsen und Bolzen drehen. Prototyp bauen und umsetzen.
--

Projekt-Statusbericht; Ramadan Ramadani

Projekt: Teilprozessoptimierung mit Prototyprealisierung in der Stromabnehmer-Montage

Statusbericht: 11.05.2026 (6)

Projektleiter Ramadan Ramadani	Projektziele Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.	Verteiler <ul style="list-style-type: none"> Richard AG Stromabnehmer-Montage Projektleitung Lean
--	--	---

Gesamtbeurteilung	Projektverlauf [x] [] []	Projektklima [x] [] []	Termine [] [x] []	Risiken [] [x] []	Ressourcen [x] [] []
Tendenz	⇒	⇒	⇒	↗	⇒

Aktueller Projektstand <ul style="list-style-type: none"> Die Teile für den Prototyp wurden gefräst und gedreht. Der Prototyp ist zusammengebaut. Die Dokumentation ist am Laufen. 	Was läuft gut? <ul style="list-style-type: none"> Ich habe alle Teile, die ich konstruiert habe, selbst gefräst und gedreht. Was läuft nicht gut? <ul style="list-style-type: none"> Der Hubwagen war nicht eben. Die konstruierten Adapter mussten deshalb unterlegt werden, damit sie parallel ausgerichtet sind.
--	---

Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen <ul style="list-style-type: none"> Prototyp testen. IST-Aufnahme durchführen. Dokumentation weiterführen.

Projekt-Statusbericht; Ramadan Ramadani

Projekt: Teilprozessoptimierung mit Prototyprealisierung in der Stromabnehmer-Montage

Statusbericht: 18.05.2026 (7)

Projektleiter Ramadan Ramadani	Projektziele Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.	Verteiler <ul style="list-style-type: none"> Richard AG Stromabnehmer-Montage Projektleitung Lean 			
Gesamtbeurteilung Tendenz	Projektverlauf [X] [] [] 	Projektklima [] [X] [] 	Termine [] [X] [] 	Risiken [] [X] [] 	Ressourcen [X] [] []
Aktueller Projektstand <ul style="list-style-type: none"> Der Prototyp wurde erfolgreich getestet. Die IST-Aufnahme des neuen Prozesses mit dem Prototyp wurde durchgeführt. 		Was läuft gut? <ul style="list-style-type: none"> Der Prototyp ist gelungen und wurde von den Mitarbeitenden positiv aufgenommen. Was läuft nicht gut? <ul style="list-style-type: none"> Ich merke, dass die Mitarbeitenden etwas Zeit benötigen, um sich daran zu gewöhnen. 			
Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen <ul style="list-style-type: none"> Projektabschluss Dokumentation fertigstellen. Dokumentation abgeben. 					

Projekt-Statusbericht; Ramadan Ramadani

Projekt: Teilprozessoptimierung mit Prototyprealisierung in der Stromabnehmer-Montage **Statusbericht: 25.05.2026 (8)**

Projektleiter Ramadan Ramadani	Projektziele Durchgängige Montage und Prüfung aller Stromabnehmervarianten ohne Wartezeiten sowie die Entwicklung eines Prototyps als Grundlage für weitere Optimierungen zur Serienreife.	Verteiler • Richard AG • Stromabnehmer-Montage • Projektleitung Lean
--	--	--

Gesamt- beurteilung	Projektverlauf	Projektklima	Termine	Risiken	Ressourcen
	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Tendenz					

Aktueller Projektstand • Projekt abgeschlossen. • Projektabgabe erfolgt.	Was läuft gut? • Ich konnte das Projekt erfolgreich abschliessen. Was läuft nicht gut? • Die Formatierung der Dokumentation war zeitaufwendig und führte zu zusätzlichem Zeitdruck.
---	--

Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen • Online-Publikation • Präsentation vorbereiten und durchführen
--

Projekt-Statusbericht; Ramadan Ramadani

12.2 KVP-Karten

KVP-Karte **RICHARD MURGENTHAL**

Störung / Verschwendung: Name: PAR

Text: Bereich: Stromabnehmer

Ausrichten & abdichten der Isolatoren zum Grundrahmen Datum: 18.05.2026

Lösungsvorschlag / Idee : 

Text oder Handskizze: Gummimatte dazwischen



Was muss getan werden? abklären mit Konstruktion Siehe Rückseite

Wer? SEKR Vorschlag akzeptiert

Bis wann? Nein
JA

KVP-Karte **RICHARD MURGENTHAL**

Störung / Verschwendung: Name: RAKT

Text: Bereich: Stromabnehmerrei

Datum: 18.05.2026

Bohrungen für
Dämpfer & Zugstange
beidseitig ausbohren/reiben

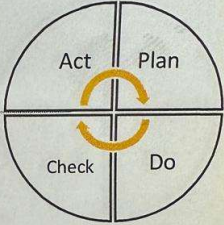
Lösungsvorschlag / Idee :

Text oder Handskizze:
Abdecken vor dem
Lackieren


Was muss getan werden? Siehe Rückseite

Wer? SEKR Vorschlag
akzeptiert

Bis wann? Nein
 JA



KVP-Karte



Störung / Verschwendung:

Name: PARA


Text:

Bereich: Stromabnehmer

Ausrichten
des Stromabnehmer
mit Holzbalken

Datum: 18.05.2026

Lösungsvorschlag / Idee :



Text oder Handskizze:

Ein geeignetes Werkzeug
dafür.
(z.B. etwas wie ein Aufkleber)

Was muss getan werden?

Siehe Rückseite

Werkzeug konstruieren/kaufen/erstellen
zum Stromabnehmer ausrichten

Vorschlag

Wer? SEKR

akzeptiert

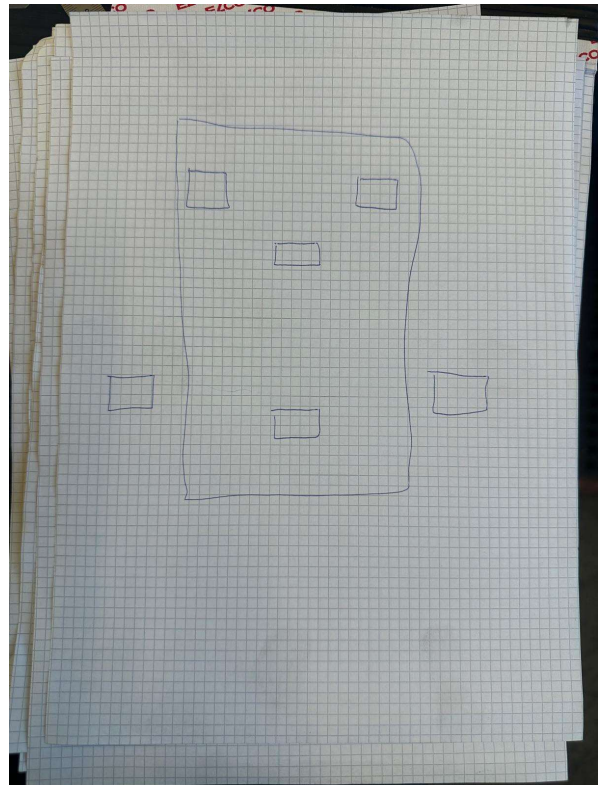
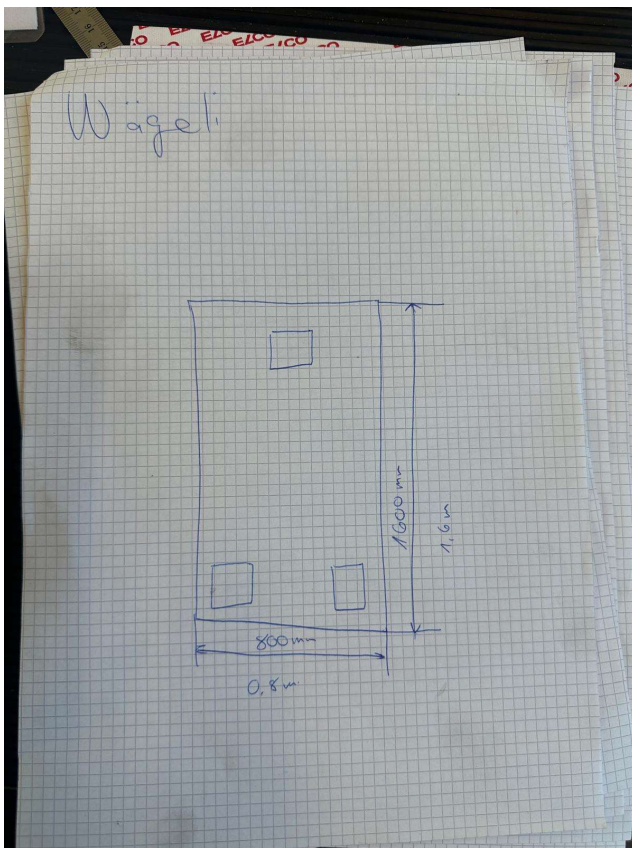
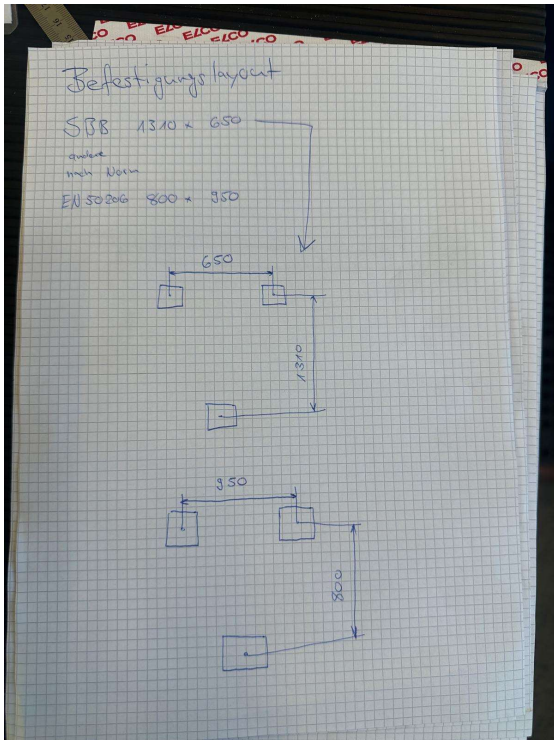
Bis wann?

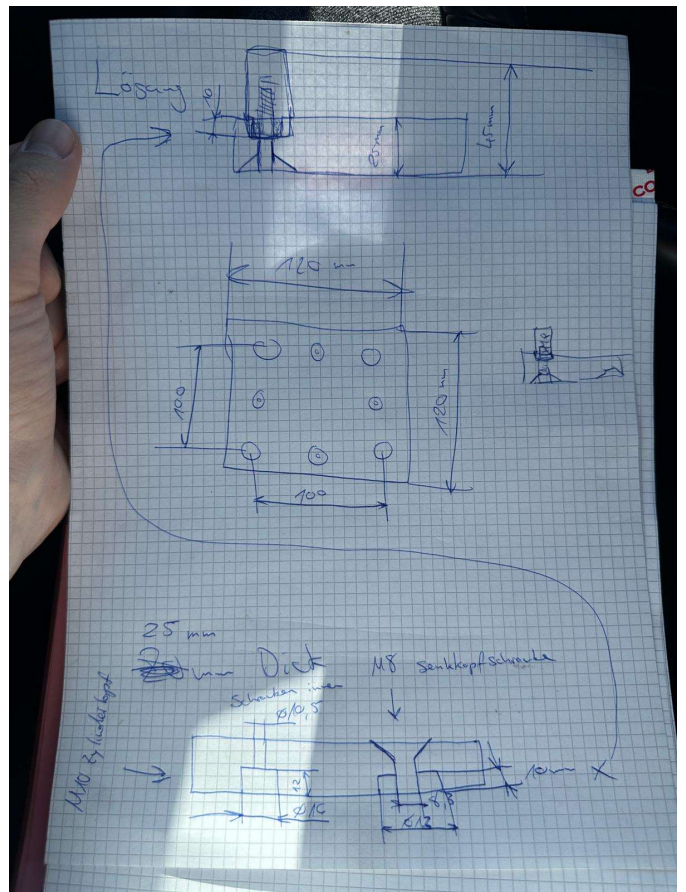
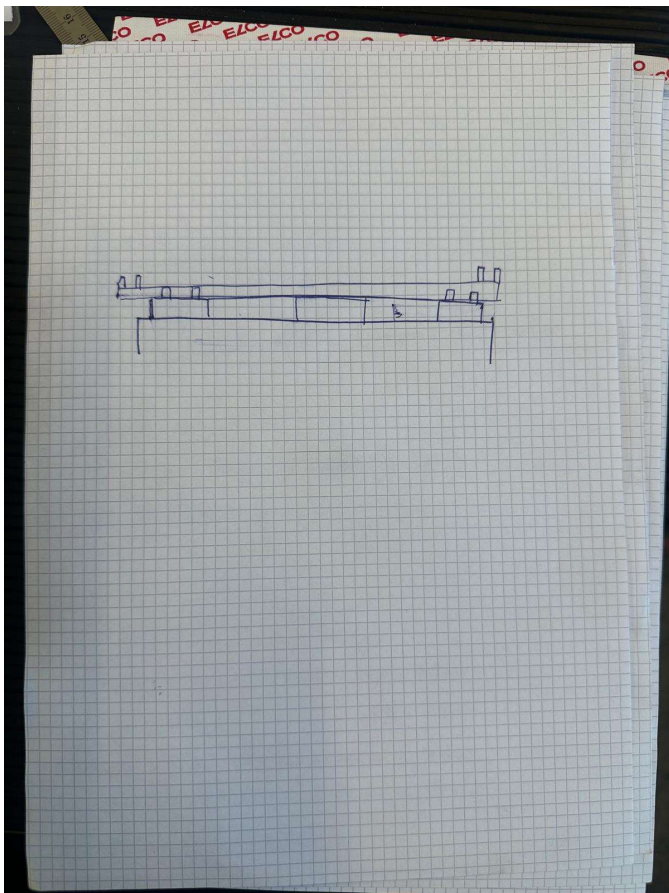
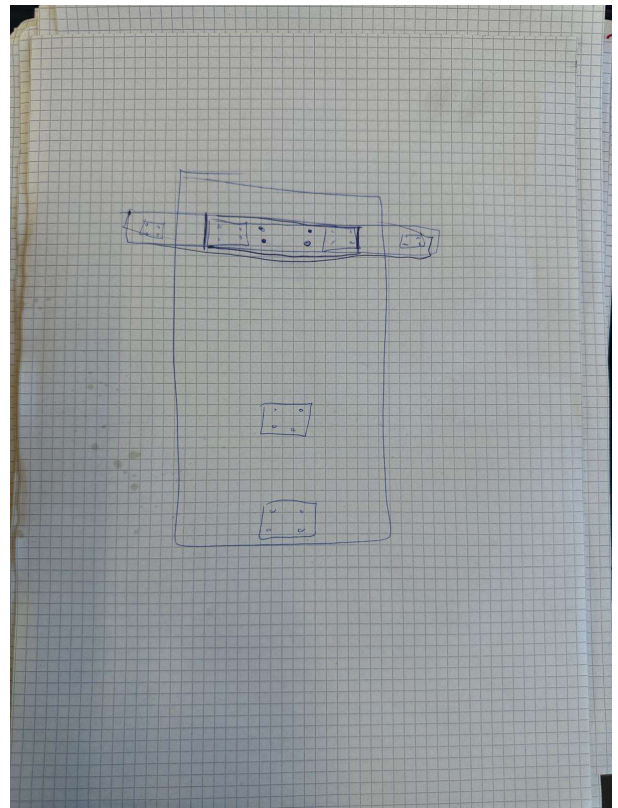
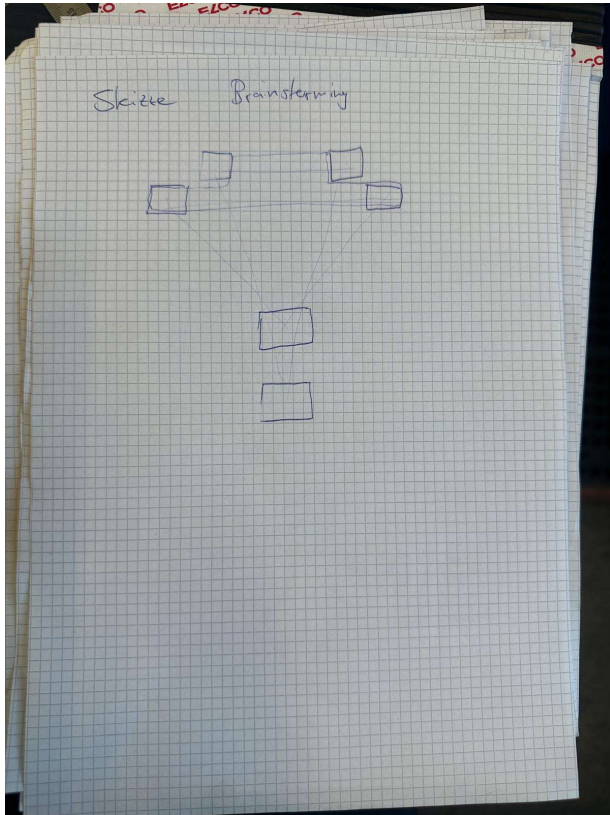
Nein

Bis wann?

JA

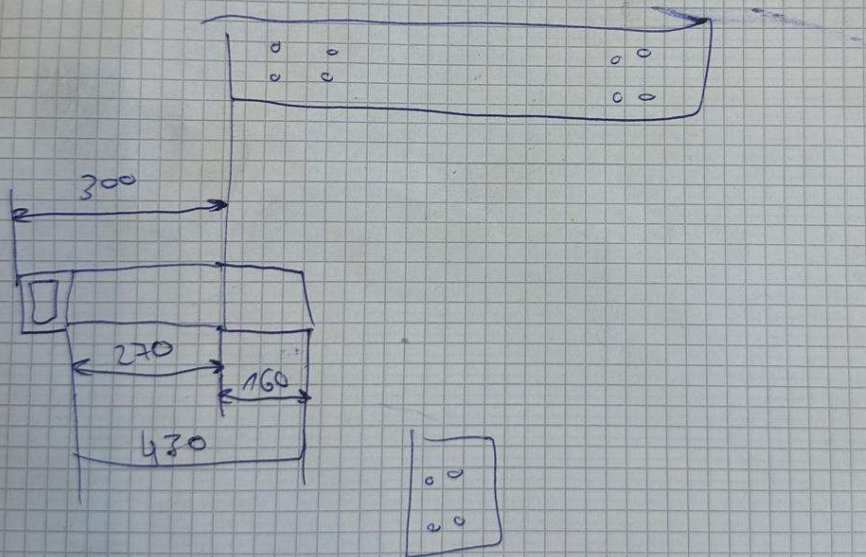
12.3 Skizzen Variante 1



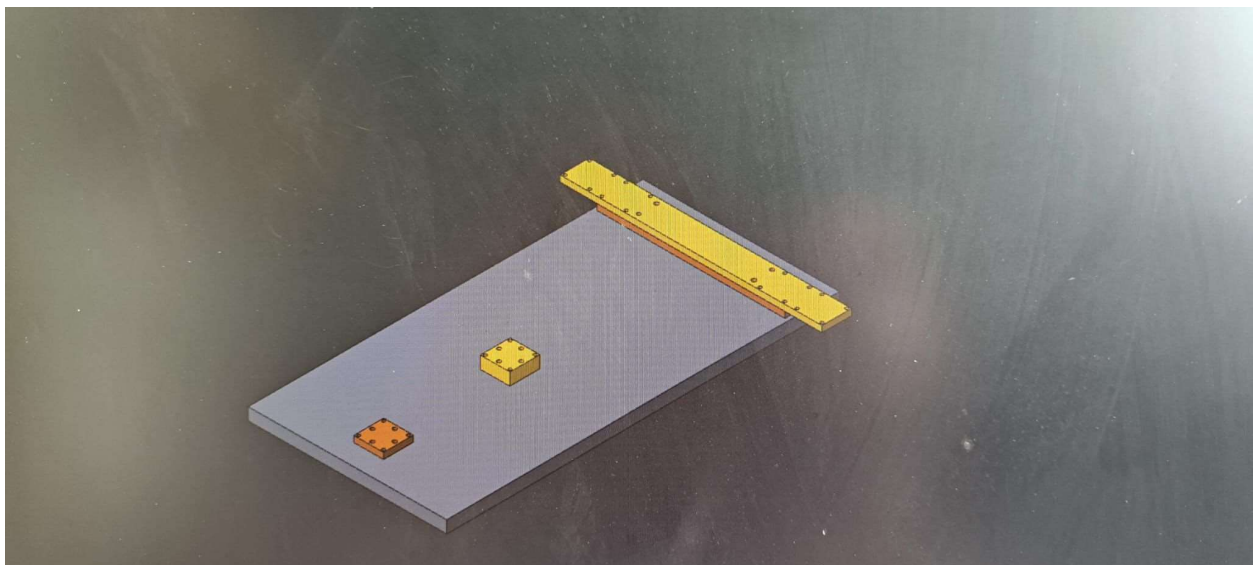
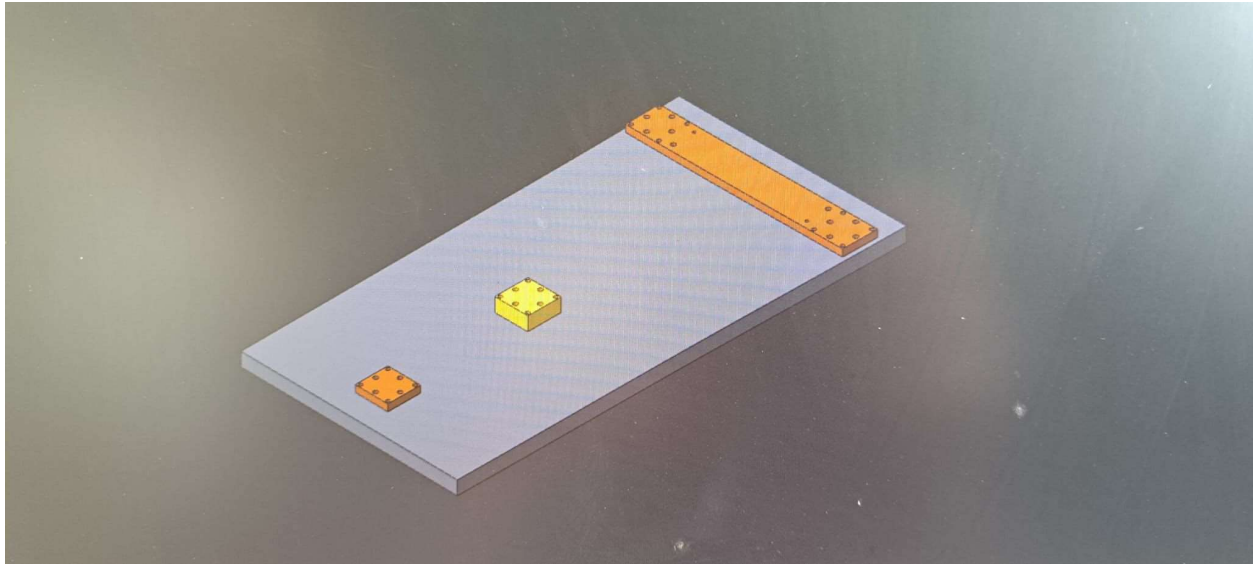


4-Kant-Rohr 50x30 Länge 150mm
Wanddicke 3mm

Stahl S7

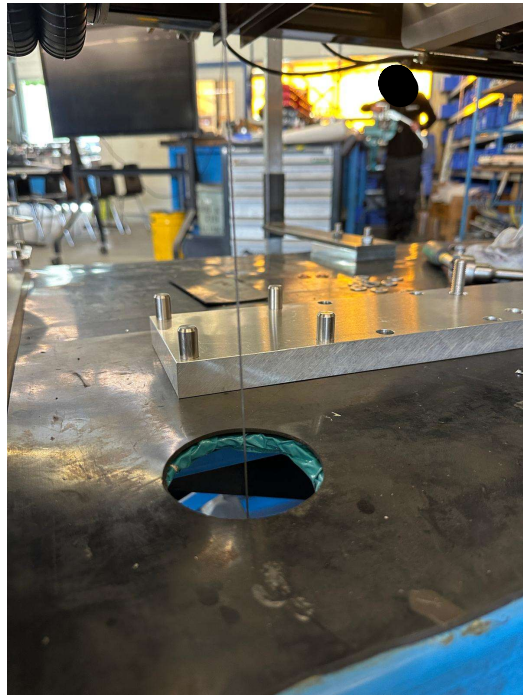


12.4 Design Variante 1

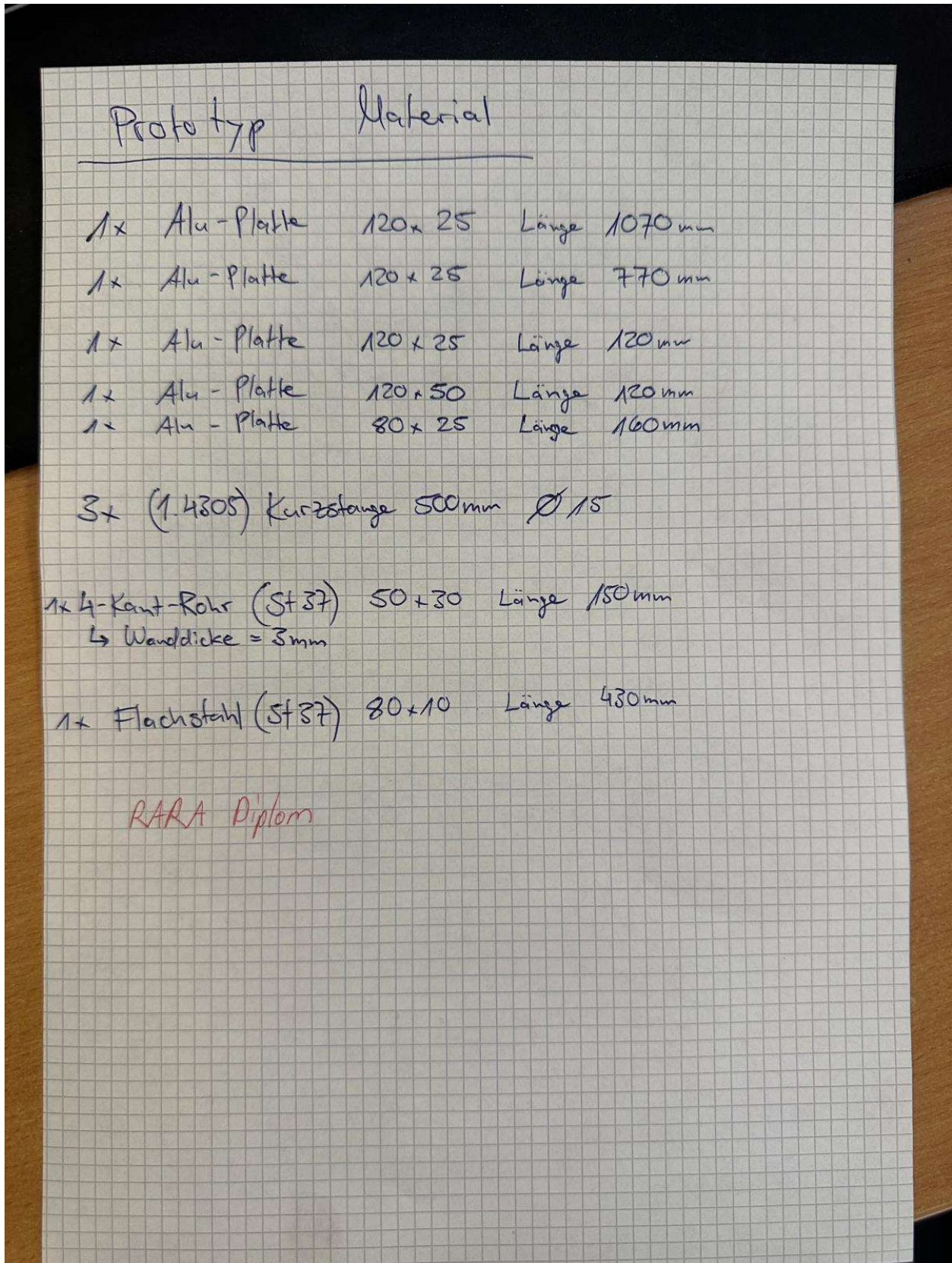


12.5 Prototyp





12.6 Rohmaterial



Debrunner Metallservice

kloeckner metals Your partner for a sustainable tomorrow



Debrunner Metallservice AG - CH 5737 Menziken
Richard AG Murgenthal
Maschinen- und Apparatebau
Hauptstrasse 115
4853 Murgenthal

Auftragsbestätigung

96284

Ihre Referenz **Leart Ramadanani**
Ihre Bestell-Nr. **RARA-Diplomarbeit**
Bestelldatum 24.04.2026

Datum 24.04.2026
Kunden-Nr. 501325
U/Referenz Carmine Iadanza
Tel. +41 58 458 18 20
E-Mail Carmine.Iadanza@metallservice.ch
WSt.-Nr. CHE-102.634.564 MWST

Adresse:
Kontakt:
Lieferung ab Werk
exkl. Verpackung
Zahlung 30 Tage netto

Pos.	Material	Menge	Preis /Einheit	EUR	Termin
0100	100810 Aluminium Platte EN6082, T651, EN485-1, EN573-3, EN485-2, EN485-3, EN515 25.00 x 120.0 x 1070.0 mm	1 ST 8.74 KG	15.01 / 1 KG	131.12	29.04.2026
0200	100810 Aluminium Platte EN6082, T651, EN485-1, EN573-3, EN485-2, EN485-3, EN515 25.00 x 120.0 x 770.0 mm	1 ST 6.29 KG	15.01 / 1 KG	94.37	29.04.2026
0300	100810 Aluminium Platte EN6082, T651, EN485-1, EN573-3, EN485-2, EN485-3, EN515 25.00 x 120.0 x 120.0 mm	1 ST 0.98 KG	54.38 / 1 ST	54.38	29.04.2026
0400	102906 Aluminium Flach EN6082, T6, EN755-1, EN573-3, EN755-2, EN755-5, EN515 Fixlänge 120.0 x 50.0 x 120.00 mm	1 ST 1.96 KG	18.26 / 1 KG	35.76	29.04.2026

Debrunner Metallservice AG – Badstrasse 12 – CH 5737 Menziken
Tel.: +41 58 458 18 18 – www.metallservice.ch



Debrunner Metallservice

kloeckner metals Your partner for a sustainable tomorrow

Auftragsbestätigung

96284

Seite 2 von 2
Datum 24.04.2026

Pos.	Material	Menge	Preis /Einheit	EUR	Termin
0500	100938	1 ST 0,7 KG	27,19 / 1 ST	27,19	29.04.2026
	Aluminium Flach EN6082, T6, EN755-1, EN573-3, EN755-2, EN755-5, EN515 Fixlänge 80,0 x 20,0 x 160,00 mm				
	Gesamtgewicht	18,66 KG			
	Energiezuschlag	0,01 EUR		0,19	
	Betrag ohne MWST			343,01	
	Mehrwertsteuer	8,10%		27,78	
	Endbetrag			370,79	

Der Versandanteil beträgt voraussichtlich 35,35 EUR.

Die Gewichtsangaben sind theoretisch errechnet. Für die Verrechnung werden die effektiv gelieferten Gewichte berücksichtigt.

Die mitgeltenden AGB können Sie auf www.metallservice.ch einsehen.

Sie können sich auf die termingerechte und einwandfreie Ausführung Ihres Auftrages verlassen.

Freundliche Grüsse

Carmine Iadanza



Lieferadresse
Richard AG Murgenthal
Hauptstrasse 115, 4853 Murgenthal
Rechnungsadresse
Richard AG Murgenthal
Hauptstrasse 115, 4853 Murgenthal

Richard AG Murgenthal
Leart Ramadani
Hauptstrasse 115
4853 Murgenthal

Auftragsbestätigung 26-117241
Sammelrechnung Bestellung ohne BE-Nummer

Langenthal, 24.04.2026

Kundennr.: D1672
Auftragsdatum: 24.04.26
Bestellart: e-mail
Unsere Referenz: Hans Peter Graber
Direktwahl +41 62 916 40 40
graber.hanspeter@muellershop.ch

Ihre Referenz: Leart Ramadani
Ihre Bestellnr.:
Kommission: **RARA-Diplomarbeit**
Baustelle:
Gutschein Nr.:
Lieferbedingung: Camion
Versanddatum: 29.04.26

Artikelnummer	Menge	Preis EUR	Rabatt	Betrag EUR
0010 RR-E235S-050X30X3.0 Rechteck-Stahlrohr S235JRH (St 37-2) schwarz kaltgewalzt, geschweisst, EN 10219-1/2 Stangenlänge ~ 6 m 50x30x3.0mm E-Shop Nr.: www.muellershop.ch/95.3140.0530 Geradeschnitt 90°	1x150mm (0.15 m) (VE1 = 6 m)	12.21 Stückpreis	netto	12.21 8.1% exkl.
EAN: 2010000076712 1 mal				Inbegriffen
0020 F-S235B-080X10.0 Flachstahl blank S235JRC+C (St 37-2K/1.0122) gezogen, Toleranz h11, nach EN 10277 / EN 10278 Stangenlänge ~ 6 m 80x10.0mm E-Shop Nr.: www.muellershop.ch/95.4110.4580 Ihre Artikelnr. JR 710898 Geradeschnitt 90°	1x430mm (2.7004 kg) (VE1 = 37.68 kg)	13.09 Stückpreis	netto	13.09 8.1% exkl.
EAN: 2010000987773 1 mal				Inbegriffen
Rüstposition	2 mal	12.28 (1 mal)		24.56 8.1% exkl.
Anteil Transportkosten (LSVA, Treibstoff etc.)	1 mal	2.60 (1 mal)		2.60 8.1% exkl.
temporärer Treibstoffzuschlag	1 mal	2.00 (1 mal)		2.00 8.1% exkl.