

# Diplomarbeit

## CP-Prüfeinrichtung

Diplomand	Sebastian Bockarie
Auftraggeber	Alex Grete CEO (GT-Joysticks)
Projektleiter:	Matthias Siegenthaler
Schule:	TEKO Olten
Klasse:	O-TEL-21-T-a
Ausbildung:	Diplomierter Elektrotechniker
Studienbeginn	2022

## 1. Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis .....	2
2.	Management Summary .....	3
3.	Kurzer beruflicher Lebenslauf .....	5
4.	Qualifikationsprofil .....	6
5.	Projektinitialisierung .....	8
6.	Projektplanung .....	10
7.	Projektrealisierung .....	13
8.	Projektabschluss .....	38
9.	Eigenständigkeitserklärung .....	41
10.	Verzeichnisse .....	42
11.	Anhang .....	43

## 2. Management Summary

Diese vorliegende Diplomarbeit befasst sich im Rahmen des Studiengangs HF Elektrotechnik mit der Vertiefung der erlernten Management- und Fachkompetenz. Anhand einer selbst definierten Aufgabenstellung müssen erreichbare Ziele erarbeitet und taugliche Rahmenbedingungen umgesetzt werden. Damit wird nicht nur die Fachkompetenz gestärkt, sondern auch ein Verständnis für die Beanspruchung notwendiger Ressourcen gewonnen.

### 2.1. Ausgangslage

Das Ziel ist eine CP-Prüfeinrichtung zu entwickeln, womit sich Qualitätsprüfungen eines linear Potentiometers durchführen lassen.

Die Notwendigkeit dieser CP-Prüfeinrichtung liegt in der Modernisierung und Optimierung der Produktionsabläufe.

Die gesetzten Ziele befassen sich global mit dem mechanischen Aufbau, der Hardware, der Firmware und der Software, um damit am Ende ein komplettes System zu erhalten.

### 2.2. Vorgehen

Nach der Initialisierung wird die Realisierung behandelt. Der Einstieg ist die Analyse des bestehenden Zustandes, danach beginnt die Ideenfindung mit Lösungsansätzen und endet mit einer Hauptvariante. Diese Hauptvariante wird anfangs mit einem Konzept aller notwendigen Aspekte beschrieben. Sobald das Konzept erstellt ist, geht es weiter mit dessen Ausarbeitung, der Kontrolle und am Ende beschreibt die Arbeit den Endzustand des Produktes. Der Endzustand ist mit einer SWOT-Analyse, einer Risikoanalyse und Kosten-Nutzen-Analyse beurteilt. Abschliessend sind der Projektstrukturplan, alle Ziele und deren Umsetzung reflektiert und es wird auf die Lessons learnt eingegangen.

Für das Vorgehen sind viele unterschiedliche Instrumente im Einsatz. Für die Ideenfindung bis hin zur Evaluation einer Hauptvariante, werden am Anfang das Brainstorming, die Nutzwert-, Präferenz-, und Sensitivitätsanalyse angewendet. Für die Umsetzung werden unterschiedliche Software und mechanische Einrichtungen eingesetzt. Die unterschiedlichen Instrumente beziehen sich stets auf die Hauptaufgaben. Für den mechanischen Aufbau ist eine CAD-Software, die Hardware ein CAD für elektronische Bauteile, die Firmware eine IDE vom Microcontrollerhersteller empfohlen und die Software eine IDE von Microsoft im Einsatz.

### 2.3. Ergebnisse

Die CP-Prüfeinrichtung erfüllt alle Kriterien. Es prüft alle kritischen Qualitätsmerkmale und gibt den Status über die Benutzeroberfläche visuell weiter. Darin lassen sich die Referenzgrössen und ein Identifier eintragen. Ein Identifier entspricht einer firmeninternen Nummer, um damit den Prüfzustand abzufragen. Ab dem zweiten Startvorgang werden die Messdaten in ein Protokoll abgelegt.

Durch das Einbinden eines DUT, eines Referenzmessgeräts mit der Hardware, das Verarbeiten aller notwendigen Daten und senden dieser Daten über ein Virtual COM-Port an die PC-Software sind bereits die Hardware- und Firmwareziele einwandfrei erreicht. Abschliessend erfüllt die Software mit dem PC-Programm auch die Qualitätskontrolle. Sie prüft den Gesamtwiderstandswert, die Linearität, die Endspannungswerte als Skalenwert und die maximale Verfahrlänge des DUT und legt ein Messprotokoll mit den Referenzmesswerten und dem Identifier ab.

## 2.4. Ausblick

Aktuell wird der Schieber manuell bewegt, was eine mögliche Fehlerquelle sein kann. Der Vorschub ist personenabhängig und deshalb nie konstant. Die Geschwindigkeit des Vorschubes darf nicht zu hoch sein, sonst gibt es falsche Messwerte. Eine Verbesserung an der CP-Prüfmaschine kann beim Bewegen des Schiebers gemacht werden., um die Bewegung des Schiebers reproduzierbar zu haben.

Das Einbinden der CP-Prüfeinrichtung in die Produktion benötigt deshalb eine Schulung, um die Anwendung den Benutzern näher zu bringen.

Weitere Optimierungen könnten beim Pop-Up-Fenster und bei der Linearitätsprüfung erfolgen. Sind bei den Referenzgrößen die Eingaben kleiner als die Mindestwerte, öffnet sich ein Pop-Up-Fenster und zeigt die Mindestwerte an. Die darauf angezeigten Werte müssen auf ihre Korrektheit überprüft werden. Ansonsten könnten gewisse lineare Potentiometer nicht geprüft werden.

Um die Linearität zu prüfen, wurden an der CP-Prüfeinrichtung während der Diplomarbeit nur wenige schlecht Muster-DUT verwendet. Entsprechend muss das Verhalten während der Produktion mit gut-Mustern evaluiert werden.

### 3. Kurzer beruflicher Lebenslauf

Vorname: Sebastian  
Nachname: Bockarie  
Geburtsdatum: 12.09.1993  
Nationalität: Schweiz/ Sierra Leone  
Bürgerort: Zürich



#### Berufserfahrung

01.04.2019 - **Test & Qualitätsingenieur bei GT-Joysticks**  
05.11.2018 – **Trainee Projektmitarbeiter bei Spring Professional**  
31.03.2019  
29.09.2016 – **Produktionsmitarbeiter bei Keldan**  
09.02.2018

#### Aus – und Weiterbildung

24.10.2022 – **Dipl. Techniker/in HF-Elektrotechnik, TEKO Olten**  
15.11.2024  
14.09.2015 – **Bachelor (BSc) Automotive Engineering, Berner Fachhochschule TI Biel**  
31.07.2018  
27.10.2014 – **Rekruten- & Unteroffizierschule in der Schweizerarmee**  
31.07.2015  
12.08.2013 – **Technische Berufsfachschule Uster**  
16.06.2014  
10.08.2009 – **Lehrgang: Automobil-Mechatroniker bei Johann Frei AG**  
12.07.2013

## 4. Qualifikationsprofil

<p><b>Prozess 2</b> Entscheidungen fällen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition des weiteren Vorgehens anhand Prüfwerte mit der Entwicklung und dem Kunden</li> <li>• Prozessoptimierungen in der Produktion</li> </ul>
<p><b>Prozess 3</b> Projekte planen und leiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung und Leitung jeglicher Qualifikationsprozesse</li> <li>• Betreuung von Kundenreklamationen und Umsetzung der daraus resultierenden Massnahme</li> </ul>
<p><b>Prozess 5</b> Wirkungsvoll präsentieren und kommunizieren</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basierend auf den Erkenntnissen durch die Qualitätsfälle abteilungs-spezifische Verbesserungsvorschläge definieren</li> <li>• Optimierungen definieren für Qualitätsaufgaben (Lieferanten-, Kundenreklamationen und interner Ausschuss)</li> </ul>
<p><b>Prozess 6</b> Unternehmensprozesse verstehen und mitgestalten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellen und optimieren der Montageanleitungen</li> <li>• Optimierung der Kunden-, Lieferantenreklamationsabläufe und des internen Ausschusses, um die Fehlerquellen zu beheben. Damit ein wirtschaftlicher Produktionsablauf besteht.</li> </ul>
<p><b>Prozess 7</b> Geschäftsziele erreichen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfolgreiche Reduktion der Qualitätsfälle</li> <li>• Minimierung des Produktionsausschusses</li> <li>• Optimierung jeglicher Qualitätsprozesse</li> </ul>
<p><b>Prozess 8</b> Umfeld berücksichtigen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testplanung anhand der bestehenden Ressourcen definieren und allfällig anpassen</li> <li>• Abteilungsübergreifende Themen müssen ermittelt werden</li> <li>• Verwendung von ESD-Schutzmassnahmen in der Produktion</li> <li>• Verwendung von Schutzbekleidung in der Mechanik</li> <li>• Verwendung von Schutzbekleidung für Gefahrstoffen</li> </ul>
<p><b>Prozess 9</b> Probleme analysieren und lösen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwenden eines 8D-Rapports, um Kundenreklamationen strukturiert abzarbeiten</li> <li>• Anhand Kundenreklamation Produktoptimierungen definieren und mit dem Entwickler Massnahmen besprechen und umsetzen</li> <li>• Elektrische, optische und mechanische Analyse von DUTs durchführen und mit den Entwickler Massnahmen besprechen und umsetzen</li> </ul>
<p><b>Prozess 10</b> Sich persönlich weiterentwickeln</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schulische Weiterbildung</li> <li>• Interne Seminare besuchen</li> </ul>
<p><b>Prozess 12</b> Programme entwickeln</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berechnung eines Shunt-Widerstandes, um Hardwareanpassungen vorzunehmen</li> <li>• Firmware entwickeln, um Analogwerte und ein Referenzmessgerät einzulesen und über einen Virtual COM-Port zu übertragen</li> <li>• Eine Software für die Qualitätskontrolle eines CPs in Betrieb nehmen</li> </ul>

<b>Prozess 15</b> Elektrotechnische Anlagen unterhalten	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elektrische Ressourcen verwalten und mit einem Prüfprozess prüfen</li><li>• Mit einer externen Firma die Wartung von Produktionsmaschinen verwalten</li></ul>
<b>Prozess 16</b> Testeinrichtungen konzipieren und herstellen	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aufbau und Definition einer CP-Prüfmaschine</li><li>• Einen Lebensdauertester basierend auf einer CNC-Maschine modernisieren</li></ul>

## 5. Projektinitialisierung

### 5.1. Auftragsklärung

Die ehemalige Firma Genge & Thoma AG wurde 1958 gegründet. Zu Beginn, als Einzelfirma, produzierte sie erfolgreich Drehpotentiometer. Zirka 20 Jahre später erhielt sie den Namen Genge & Thoma AG und begann kurz darauf, bedruckte Potentiometer, Wegaufnehmer und Joysticks einzuführen. 1994 lancierte die Firma ihr erstes Patent für Hall-Effekt Joysticks. Mit der Übernahme eines neuen Firmeninhabers wurde der Firmenfokus stark auf den Ausbau der R&D-Abteilung gelegt. Damit wurden neuartige Schnittstellen und Joystick-Familien auf den Markt gebracht.

In der R&D-Abteilung fokussiert sich die Qualitätsabteilung auf die Optimierung der Produktionsabläufe. Die Infrastruktur der Prüfeinrichtung soll vereinheitlicht und effizienter gestaltet sein. Diese Diplomarbeit soll als erster Versuch für die Umsetzung dienen. Die Aufgabenstellung lautet, eine Prüfeinrichtung zu fertigen, womit sich lineare Potentiometer messen lassen.

Aus der Entwicklung bestehen alle notwendige elektrischen und Softwarekomponenten. Es muss ein Referenzmessgerät für die Längenmessung der Linearität beschafft werden und an der Hardware muss der Shunt-Widerstand neu berechnet werden, um eine höhere Widerstandsmessung durchzuführen. Ansonsten lässt sich bereits ein Analogsignal messen, USB-Schnittstellen bestehen und die Software für die Endprüfung muss an die Aufgabe angepasst werden.

Es gilt nun alle Komponenten aufeinander abzustimmen, um damit ein komplettes Messsystem zu fertigen, womit sich Qualitätskontrollen für Potentiometer durchführen lassen.

### 5.2. Zielscheibe

**Kunde:** GT-Joystick

**Sinn und Zweck:** Ein Messgerät erstellen, mit dem Qualitätskontrollen für lineare Potentiometer durchgeführt werden.

## Endergebnisse

### 1. Spezifikation für Hardware

- 1.1 Messung des Stromes durch das DUT (Widerstandsbahn des Potentiometers) im aussagekräftigen Bereich möglich.
- 1.2 Hochohmige Messung am DUT (Potentiometer-Schleifer-Spannung)
- 1.3 Als Massverkörperung des Verfahrenweges dient ein Referenzmessgerät
- 1.4 Das Messgerät versorgt das DUT

### 2. Spezifikation der MCU-Firmware (Basierend auf der Firmware für FLAT-Unit 100875-42)

- 2.1 Das Messgerät soll die Position des Referenzmessgeräts ermitteln können
- 2.2 Alle notwendigen Messdaten müssen an die PC-Software übertragen werden
- 2.3 Der Gesamtwiderstandswert des Prüflings muss berechnet werden
- 2.4 Das Messgerät soll die Parameter des DUT mit einer geeigneten Auslösung messen

### 3. Spezifikation der PC-Software

- 3.1 Beim Messbereich muss die Messgenauigkeit berücksichtigt werden, damit keine schlechten DUTs akzeptiert werden
- 3.2 Die Logdaten sollen aufgezeichnet werden können
- 3.3 Nach erfolgreichem abschliessen der Qualitätsprüfung soll mit einem Marker als Quittung die Prüfung abgeschlossen sein
- 3.4 Für die Bewertung der Linearität von CP-Potentiometern ist es erforderlich, dass zusätzlich Limiten für Verfahrenweg, CP-Bahnwiderstand und zulässige Linearitätsfehler erfassbar sind
- 3.5 Es lässt sich die unabhängige Linearität messen
- 3.6 Nach Möglichkeit soll eine Verwaltung verschiedener DUT-Modelle möglich sein. Dabei soll eine zentrale XML-Datenbank angelegt werden können, in welcher die Modelle mit ihren Eigenheiten gespeichert werden

## Erfolgskriterien

### 1. Spezifikation für Hardware

- 1.1 Der zu messende Widerstandsbereich muss zwischen 1k-10k Ohm mit einer Genauigkeit von 5% ermittelt werden können
- 1.2 Der Schleiferstrom des Prüflings darf keinen Wert  $> 100\mu\text{A}$  annehmen
- 1.3 Das Messgerät hat Verbindung zum Referenzmessgerät und versorgt dieses
- 1.4 Speisung des DUT (Widerstandsbahn des Potentiometers) mit 3.3V DC

### 2. Spezifikation der MCU-Firmware

- 2.1. Es soll eine Kommunikation zum Referenzmessgerät implementiert werden
- 2.2. Die Hardware muss mit dem virtual COM-Port alle Messdaten über den USB VCP zum PC übertragen
- 2.3. Der Strom am DUT muss über einen Shunt-Widerstand und dessen Spannung gemessen werden, um damit den Widerstand zu berechnen
- 2.4. Die geeignete Auflösung muss mindestens 10 Bit betragen

### 3. Spezifikation der PC-Software

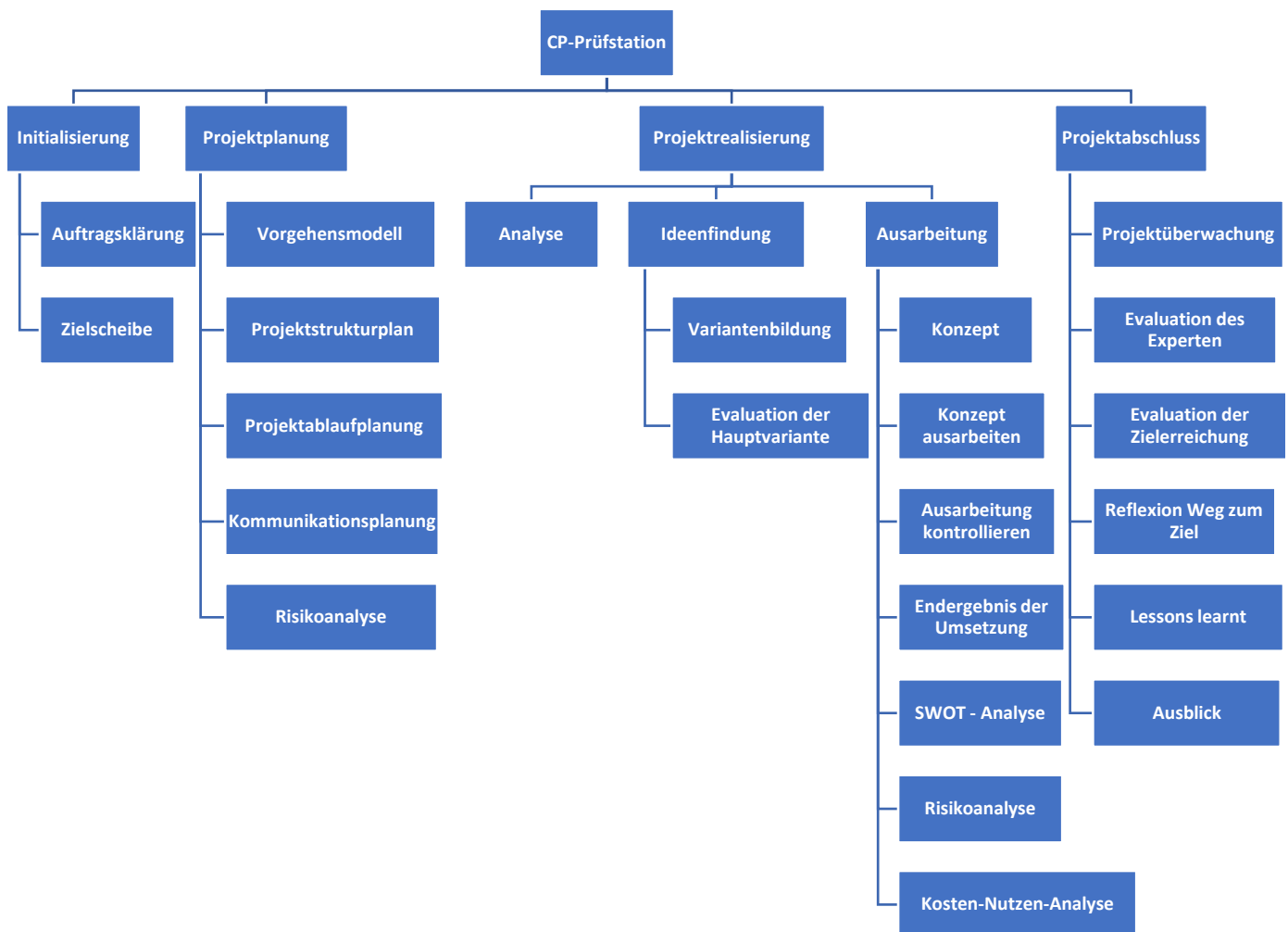
- 3.1 Am maximalen und minimalen Widerstandswert liegt ein Offset. Dieser Offset ist grösser gleich 0.
- 3.2 Daten von einem Testaufbau via VCP empfangen, diese in einem Log hinterlegen und mit statischen Produktangaben ergänzen.
- 3.3 Nach dem erfolgreichen Abschliessen muss ein Marker auf «abgeschlossen» vorhanden sein
- 3.4 Die Ermittlung der unabhängigen Linearität wird aus der von einem Referenzpunkt abhängigen Linearität durch die PC-Software bewerkstelligt

## 6. Projektplanung

### 6.1. Vorgehensmodell

Die Diplomarbeit ist mit dem 4-Phasenmodell umgesetzt. Im Abschnitt Ausarbeitung der Variante sind Arbeitspakete für die strukturierte Umsetzung definiert.

### 6.2. Projektstrukturplanung



### 6.3. Projektablaufplanung

Der Projektstrukturplan bietet die Basis für den Projektablaufplan (kurz PAP). Die im vorangehenden Kapitel definierten Arbeitspakete müssen nun in logischer Reihenfolge in einen zeitlichen Ablauf gebracht werden.

Die Strategie ist die Einarbeitung aller Aufgabenpakete, die Beschaffung aller notwendigen Komponente und Funktionstest vor der Diplomarbeit zu machen, damit eine selbstständige und effiziente Arbeitsweise gewährleistet ist. Es gilt, alle ungünstigen Einflüsse, die nicht zur Zielerreichung führen, vor der Diplomarbeit zu identifizieren und zu beseitigen.

		Kalenderwoche	<KW37	KW37	KW38	KW39	KW40	KW41	KW42	KW43	KW44	KE45	KW46
Initialisierung	Auftragsklärung		X										
	Zieldefinition		X										
Planung	Vorgehensmodell		X										
	Projektstrukturplan		X										
	Projektablaufplanung		X										
	Kommunikationsplanung		X										
	Risikoanalyse		X										
	Analyse		X										
Realisierung	Ideenfindung: Variantenbildung		X										
	Ideenfindung: Evaluation der Hauptvariante		X										
	Ausarbeitung: Konzept		X										
	Ausarbeitung: Konzept ausarbeiten		X	X	X	X	X	X					
	Ausarbeitung: Ausarbeitung kontrollieren		X	X	X	X	X	X					
	Ausarbeitung: Endergebnis der Umsetzung		X	X	X	X	X	X					
	Ausarbeitung: SWOT - Analyse							X	X				
	Ausarbeitung: Risikoanalyse							X	X				
	Ausarbeitung: Kosten-Nutzen-Analyse							X	X				
	Projektüberwachung					X	X	X	X				
Evaluation der Zielerreichung								X					
Reflexion Weg zum Ziel								X					
Fazit / Lessons learnt									X				
Ausblick									X				
Abschluss	Kompetenzkarten								X				
	Dokumentation								X	X			
	Abgabe									X			
	Präsentation										X	X	

Abbildung 1: Ablaufplanung

### 6.4. Kommunikationsplanung

Im Rahmen der Diplomarbeit gibt es unterschiedliche Akteure / Interessensgruppen, mit welchen kommuniziert werden muss. Dabei benötigen nicht alle dieselben Informationen bzw. es werden verschiedene Kommunikationskanäle verwendet.

Eine solide Kommunikationsplanung erfolgt in zwei Schritten. Zuerst werden sämtliche Interessensgruppen analysiert. Ausgehend von dieser Analyse werden anschliessend die Kommunikationskanäle, -intervalle, -inhalte, -verantwortlichkeiten, etc. geplant und visuell dargestellt.

Stakeholder	Inhalt	Kanäle
Alex Grete (CEO, Auftraggeber)	Umsetzungstand der Hauptvariante	Wöchentliche Meetings in der Firma – bei Bedarf
Matthias Siegenthaler (Projektleiter/ Betreuer)	Schwierigkeiten bei der Umsetzung Umsetzungsgrad der Hauptvariante Geplante Arbeitspakete	Bei Bedarf und mindestens wöchentlich/ Projektstatusbericht
Josef Räber (Diplombetreuer)	Vorgegeben anhand «Auftrag Vorbereitung Diplomarbeiten»	Projektstatusbericht/ Online / E-Mails

## 6.5. Risikoanalyse

Die Risikoanalyse setzt sich mit der Umsetzung des Projekts auseinander. In der Analyse sind Anhaltspunkte beschrieben und diese sollen aufklärend sein. Damit lassen sich bei der Umsetzung frühzeitig Massnahmen einleiten.

Kategorie	Risiko	Risikoakzeptanz	Eventualität	Risikomaßnahme
<b>Hardware</b>	Beschaffungszeit	Niedrig	Hoch	Design vor der Diplomzeit festlegen
	Beschädigung	Niedrig	Hoch	Ersatzteile im Lager
	Designfehler	Niedrig	Hoch	Funktionstüchtig vor der Diplomzeit bereitstellen
<b>Software</b>	Die Struktur des funktionierenden Quellcodes lässt sich optimieren	Hoch	Hoch	Nur optimieren, sobald Zeit vorhanden
	Ergebnis verfälscht durch Rauschen	Niedrig	Hoch	Filterung des Signals
	Eine falsche Bedienung behindert den Ablauf	Niedrig	Hoch	Bedingungen für das Erreichen des nächsten Schrittes
	Wiederholte Messung wird falsch initialisiert	Mittel	Hoch	Für einen Prototypen reicht es, wenn die Software mit dem Debugger bei einer neuen Messung wiederholt initialisiert wird.
	Fehlerhafte Anwendung der IDE	Niedrig	Hoch	Frühzeitige Einarbeitung
<b>Firmware</b>	Falsche Initialisierung	Niedrig	Hoch	Funktionstüchtig vor der Diplomzeit bereitstellen
	Steckt in einer Endlosschleife	Niedrig	Mittel	
	Falsche Referenzen z.B. Spannung	Niedrig	Hoch	
<b>Zeitplan</b>	Kann nicht eingehalten werden	Niedrig	Mittel	Relevante Bauteile vor Diplomzeit beschaffen und Themeneinarbeitung vorzeitig beginnen

Die Risikoanalyse weist auf, dass die grössten Risiken das fehlende Verständnis, fehlende Komponenten und nicht funktionierende Module sind. Alle Risiken lassen sich in der Massnahmenanalyse durch genügend frühe Einarbeitung, Beschaffung, sowie genügend viele Testdurchläufe beheben.

## 7. Projektrealisierung

Die beiden abgeschlossenen Phasen Projektinitialisierung sowie Projektplanung bilden die Basis für die Phase Projektrealisierung. In diesem Kapitel werden die erarbeiteten Ziele über die Zustandsanalyse bis hin zum Endergebnis umgesetzt.

### 7.1. Analyse

Mit intensiver Recherche lässt sich auf dem Markt kein Hersteller finden, welcher eine Standard-Prüfeinrichtung für die CP-Qualitätskontrolle anbietet. Es sind viele Sondermaschinenhersteller vorhanden, darunter welche, die sich auf Prüfmaschinen jeglicher Art spezialisiert haben. Um ein Prüfgerät zu erwerben, muss ein solches Entwicklungsbüro eine firmenspezifische Prüfeinrichtung erarbeiten.

Die Firmenstrategie ist bereit, die Umsetzung neuer Prüfeinrichtungen in gewissen Situationen intern zu realisieren. Die GT-Joystick beschäftigt in der Entwicklungsabteilung einen Industrialisierer, einen Elektroniker und einen Maschinenbauer. Entsprechend ist das Knowhow bereits vorhanden, um eigene Prüfgeräte zu fertigen und zu verwalten. Dies ermöglicht einen flexibleren Umgang mit dem Prüfgerät und stellt gleichzeitig sicher, dass das Wissen erhalten bleibt.

Die wesentlichen Risiken bei der Zusammenarbeit mit einer externen Firma sind der Wissens- und Datenverlust. Oft erhält der Kunde nicht alle Informationen vom Hersteller, weil dieser gewisse Firmeninformationen nicht teilt, der Entwickler die Herstellerfirma verlässt, es zu Rechtsstreitigkeiten kommen kann oder ein Lieferant in Konkurs geht. Erfahrungen zeigen ebenfalls, dass das Einpflegen eines neuen Produktes oder bereits kleine Anpassungen sehr träge verlaufen. Firmenintern kann der Nachteil sein, dass für jede Prüfeinrichtung stets Kapazität vorhanden sein muss. Zeit, die in einem KMU für die Kernkompetenz «Produktentwicklung» gedacht und deshalb tendenziell zu wenig vorhanden ist. Über die Zeit überwiegen die Vorteile die Nachteile in folgenden Punkten: Das Knowhow bleibt weiterhin in der Firma vorhanden. Damit lässt sich das Einpflegen eines Produktes oder Anpassungen schneller umsetzen und das Troubleshooting ist effizienter. Verlässt der Mitarbeiter die Firma, lässt sich der Wissenstransfer besser planen.

## 7.2. Kreativitätsmethode: Brainstorming

Die Analyse beweist die Tatsache, eine eigene Prüfeinrichtung zu bauen, ist angebrachter. Demzufolge gilt es, die Prüfeinrichtung auf ihre Hauptbereiche zu unterteilen, um darin die optimalen Produkte zu finden. Basierend auf Erfahrungen und Versuchen in der Vergangenheit, wurden per Brainstorming die Hauptkomponenten «Hardware und Datenverarbeitung» und die darin notwendigen Produktkategorien und allfällige Produkte aufgelistet. Folgende Informationen wurden zusammengetragen:

### Hardware & Mechanik:

- Referenzmessgerät mit hoher Genauigkeit (Glasmassstab/ Hall/ Präzisionspotentiometer)
- Mikrokontroller Auswahl (STM32F104/ EFM8UB30 aus der Familie EFM8 Universal Bee)
- Shunt Widerstand
  - o Geeignet für die Messung eines 5kOhms Potentiometers
  - o Hohe Genauigkeit
- PCB
  - o Neues Design
  - o Bestehendes Design
- Mechanischer Aufbau

### Datenverarbeitung:

- Software:
  - o Visual Studio, weil alle Software darauf aufgebaut – Vorlagen vorhanden
  - o Linearitätsfehler berechnen oder nur anzeigen
- Firmware für Mikrokontroller:
  - o Verwendung der Empfehlung des Microcontrollerherstellers
  - o Linearitätsfehler berechnen oder nur Rohdaten übertragen
- LabVIEW: (Wenige Prüfeinrichtungen, kostspielig, benötigt Hardware, Software und Softwareerweiterungen)
- GT-Joystick Software (Bereits vorhanden und viele Software bestehen auf dieser Basis)

## 7.3. Priorisierungsmethode:

Das Brainstorming hat viele Ansätze und Ideen zusammengetragen. Entsprechend müssen diese in Pakete aufgeteilt werden, um daraus mögliche Hauptvarianten zu definieren. In dieser Konzeptphase reduzieren wir uns auf die noch unklaren Komponenten, damit das weitere Vorgehen übersichtlicher gestaltet ist und man die Übersicht nicht durch zu viel Details verliert. In Bezug auf die Hardware sind viele wichtige Punkte aufgelistet, doch sind Punkte, wie Microcontroller, Shunt-Widerstand oder ein PCBA bereits vorhanden und im Grossen und Ganzen ist klar, dass diese Verwendung finden. Jedoch ist nicht klar, welche Technologie als Referenzmessgerät Gebrauch findet. Dasselbe gilt für die Datenverarbeitung. Für die Datenverarbeitung gibt es viele Software, womit sich arbeiten lässt. Aus Firmensicht ist es jedoch nicht schlau, immer Neues einzubinden. Deshalb wird über das Bestehende entschieden. Zusammengefasst wird über die drei Technologien für ein Referenzgerät und die bestehende Software (GT-Joystick und LabVIEW) abgestimmt, um mit je zweien die Varianten zu bilden.

Die Auswertung erfolgt mit der Präferenzmatrix und danach mit der Nutzwert- und Sensitivitätsanalyse. Die Präferenzmatrix gewichtet die Kriterien und die Nutzwertanalyse vergleicht alle Varianten. Am Ende kann die Nutzwertanalyse mit der Sensitivitätsanalyse überdacht werden.

## **7.4. Variantenbildung<sup>1</sup>**

Für eine optimale Variantenbildung beschränkt sich die Auswertung auf je zwei Varianten. Bei der Hardware ist, wie beschrieben, die Präferenzmatrix für die Kategoriegewichtung und Nutzwertanalyse verwendet. Die Sensitivitätsanalyse konnte ausgelassen werden, da beim Nutzwertresultat nichts auszusetzen war. Für die Hardware wird der Glasmassstab oder der Präzisionspotentiometer verwendet. Hingegen für die Datenverarbeitung musste keine Analyse durchgeführt werden, da sich bei der Ideenfindung nur zwei Software herausstellten.

## **7.5. Kurzbeschreibung der Variante: Referenzmessgerät**

### **7.5.1. Glasmassstab**

Ein Glasmaßstab ist ein hochpräzises Messinstrument, das aus einem äusserst fein geteilten Glaslineal besteht. Durch die geringe Wärmeausdehnung von Glas bleibt die Genauigkeit der Messwerte auch bei wechselnden Temperaturen nahezu konstant. Das Ablesen erfolgt elektronisch über optische Sensoren über eine digitale Schnittstelle.

### **7.5.2. Präzisionspotentiometer**

Ein Potentiometer ist ein passiver elektronischer Spannungsteiler, der einen variablen Widerstand bietet. Je nach Herstellung beeinflussen Dicke, Breite, Länge der CP-Schicht den Widerstand zwischen zwei äusseren Anschlüssen. Der dritte Anschluss dient als Abgriff für den variablen Widerstand.

Die Sicherstellung der Präzision eines Potentiometers erfolgt über die sogenannte Linearisierung. Diese kann bestenfalls bis auf eine Genauigkeit von 0.05% hergestellt werden.

## **7.6. Kurzbeschreibung der Variante: Datenverarbeitung**

### **7.6.1. LabVIEW**

LabVIEW ist eine grafische Programmiersoftware, die vor allem in der Mess- und Prüftechnik eingesetzt wird. Anstatt Code zu schreiben, werden Programme in LabVIEW durch Verbinden von grafischen Elementen (wie Funktionsblöcken) erstellt. Das macht die Programmierung sehr visuell und intuitiv. LabVIEW wird häufig verwendet, um Messdaten zu erfassen, zu analysieren und darzustellen sowie Geräte zu steuern.

### **7.6.2. GT-Joystick Software**

Die Elektronikabteilung hat bei GT-Joystick bereits vermehrt eigene Software für die Datenanalyse entwickelt. Diese ist individuell auf die Problemstellung angepasst.

---

<sup>1</sup> Auswertung der Technologien im Kapitel 11.1

## 7.7. Evaluation der Hauptvariante<sup>2</sup>

Im Abschnitt Variantenbildung liessen sich je zwei geeignete Technologien für das Referenzmessgerät und Software für die Datenverarbeitung ermitteln. In diesem Abschnitt wird genauer auf das Produkt eingegangen, um am Ende die Hauptvariante für das Referenzmessgerät und die Datenverarbeitung zu definieren. Bei der Recherche nach einem geeigneten Produkt für die Hardware stellen sich beim Potentiometer die Firma Novotechnik und beim Glasmassstab die Firmen Heidenhain, GIVI Misure und RSF-Elektronik heraus. Beim Glasmassstab ist ebenfalls darauf zu achten, wie die Position des Glasmassstabs wiedergegeben ist. Diese unterscheidet sich zwischen Absolut- und Inkrementalgeber. Der Unterschied der beiden Geber liegt in der Positionswiedergabe. Der Inkrementalgeber gibt nur Impulse auf zwei Kanälen aus, die abhängig von der Richtung der Bewegung eine positive oder negative Phasenlage zueinander darstellen. Abhängig von der Phasenlage müssen die Impulse mittels Software addiert oder subtrahiert werden, um die tatsächliche Position zu erkennen. Hingegen der Absolutgeber gibt immer seine effektive Distanz zu seiner Ausgangsposition an.

Behandelt man die Datenverarbeitung, stellt sich heraus, dass die Hardware, wie auch eine gewünschte Software zu definieren sind. Zur Auswahl stehen bei LabVIEW einige Produkte, die Modular zusammengestellt werden müssen und die interne Lösung, die sich auf eine Hardware, sowie Software beschränkt.

## 7.8. Präferenzmatrix

Die Präferenzmatrix wird einerseits für das Referenzmessgerät und die Datenverarbeitung durchgeführt. Beim Referenzmessgerät sind Kriterien, wie Messbereich, kleines Signalrauschen und Messgenauigkeit die am relevantesten Kriterien. Hingegen haben Kosten und der Aufwand für die Inbetriebnahme die geringste bis keine Gewichtung.

Die Auswertung der Präferenzmatrix für die Datenverarbeitung beläuft sich bei den relevanten Kriterien auf dieselben wie für das Referenzmessgeräte. Wichtig sind Messbereich, Messgenauigkeit und die Auflösung. Bei den unwichtigsten Kriterien trennen sie sich. Kriterien wie Erweiterungsaufwand, Bedienung und der Aufwand für die Inbetriebnahme sind von sehr geringer Bedeutung.

## 7.9. Nutzwertanalyse

Anhand der Recherche wurden drei Varianten für Referenzmessgeräte ermittelt. Der Glasmassstab ist in inkremental und absolut Messung unterteilt. Und die dritte Variante bleibt das klassische Potentiometer. Für die Auswertung sind die Varianten gegenübergestellt und mit einem Skalenwert eingestuft. Das Endergebnis mit der höchsten Nummer beläuft sich auf den absoluten Glasmassstab.

Abschliessend sind auch für die Datenverarbeitung die zwei Varianten GT-Joystick-Messsystem & LabVIEW Hardware + Messsystem gegenübergestellt worden. Das Endergebnis mit dem höchsten Wert hat das GT-Joystick-Messsystem geschafft.

## 7.10. Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse musste für das Referenzmessgerät und die Datenverarbeitung nicht durchgeführt werden. Das Ergebnis genügt den Erwartungen.

## 7.11. Resultat der Variantenevaluation

Nach mehrfachem Brainstorming und Auswerten mit der Präferenzmatrix und Nutzwertanalyse besteht die CP-Prüfeinrichtung für die Hardware aus einem absolut Glasmassstab (GIVI Misure GVS 608T132005VS0) und für die Datenverarbeitung aus dem GT-Joystick-Messsystem.

---

<sup>2</sup> Auswertung der Hauptvarianten Kapitel 11.2

## 7.12. Ausarbeitung «CP-Prüfeinrichtung mit Glasmassstab und GT-Joystick-Messsystem»

Anhand definierter Kriterien liegt die optimale Lösungsvariante vor. In diesem Kapitel wird daraus eine konkrete Lösung mit innovativen und kreativen Massnahmen erarbeitet. Einsteigend wird eine grobe Übersicht über die Aufgabenbereiche gegeben, welche in dieser Diplomarbeit bearbeitet sind. Nicht angegangene Aufgaben werden für die Vollständigkeit des kompletten Systems erwähnt. Es wird klar darauf hingewiesen, welche Aufgabenbereiche Diplomthemen sind und welche nicht. Anschliessend wird die detaillierte Ausarbeitung behandelt, getestet und das Endergebnis präsentiert. Nicht behandelte Themen sind nur im Abschnitt Konzept und Endzustand angeschnitten.

### 7.12.1. Konzept

Für die Umsetzung der CP-Prüfeinrichtung benötigt es einen mechanischen Aufbau, für die Datenaufnahme einer Hardware, eine geeignete Schnittstelle für die Datenaufnahme und -übertragung. Entsprechend ist eine Firmware für den Datentransfer, wieder eine Schnittstelle zwischen der Firmware und der Software und für die Datenverarbeitung eine Software zu konzeptionieren. Damit sind bereits alle Aufgabenbereiche definiert.

Nicht alle Aufgabenbereiche sind Teil der Diplomarbeit, werden aber in den folgenden Unterkapitel für die Vollständigkeit aufgelistet. Es wird genauer auf die Aufgabenbereiche und deren Aufgabenpakete eingegangen.

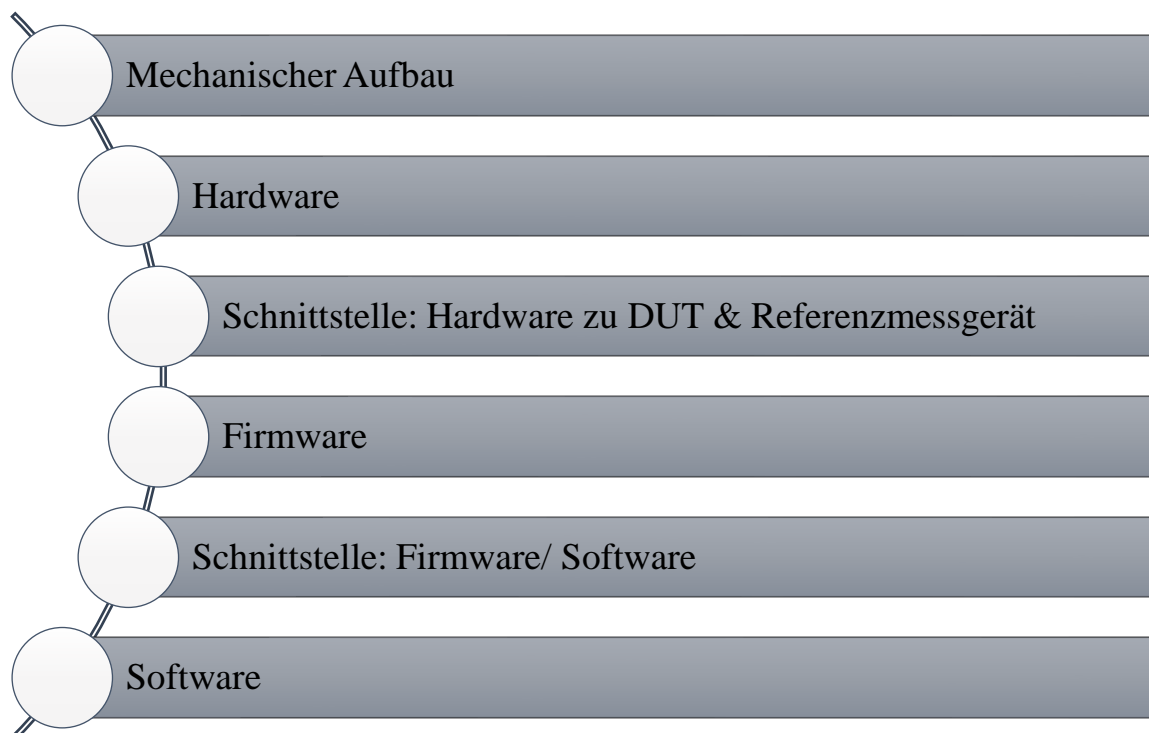


Abbildung 2: Aufgabenbereiche

### **7.12.2. Mechanischer Aufbau**

Der mechanische Aufbau dient hauptsächlich zur Befestigung der notwendigen Komponenten. Der Aufbau muss eine fehlerfreie Zusammenarbeit ermöglichen. Dazu sind Aspekte wie Material, Befestigungen, Verbindung zwischen Referenzmessgerät und DUT und die Serientauglichkeit zu beachten.

In dieser Diplomarbeit wird auf die komplette Umsetzung des mechanischen Aufbaus eingegangen.

### **7.12.3. Hardware**

Die Bezeichnung «Hardware» wird umgangssprachlich in der Elektronik und Elektrotechnik verwendet. Sie bezeichnet alle physischen Komponenten, vom kleinsten Widerstand oder Kondensator bis hin zur bestückten Platine. Sensoren, wie ein Temperaturfühler, Lichtsensor oder Potentiometer, Aktoren wie ein Motor, Ventil oder eine LED sind auch Hardware.

Die Hardware ermöglicht die Spannung- und Strommessung am DUT, das Auslesen und Kommunizieren mit dem Glasmassstab und muss geschützte Eingänge vor Überbelastung haben. Die PCBA-Vorlage baut auf dem bereits vorhandenen universellen GT-Joystick-PCB auf. Die Bestückung setzt sich aus den Hauptbestandteilen «Ein- / Ausgänge zur Spannungsmessung, Microcontroller, Schutzelemente und Strommessung» zusammen.

Die Diplomarbeit behandelt nicht den Aufbau des PCBs und geht nicht in die Anpassung der Schutzschaltung am Ein- und Ausgang, High Side Switch mit 3.3V und Auswahl des Microcontroller ein.

Teil dieser Arbeit ist die Anpassung der Spannungsmessung über dem Shunt-Widerstand. Dafür wird der Wert des Shunt-Widerstand für den zu messenden Widerstandswert von  $5\text{k}\Omega$ , der im spezifizierten Bereich von  $1 - 10\text{ k}\Omega$  liegt, optimiert.

### **7.12.4. Schnittstelle: Hardware zu DUT & Referenzmessgerät**

Eine mechanische Schnittstelle ist ein physisches System in der Elektronik und Elektrotechnik, welche Hardware miteinander verbindet. Diese überträgt Signale aller Arten und ermöglicht damit die Kommunikation mit Aktoren oder überträgt wichtige Informationen von Sensoren.

Die physische Schnittstelle muss für die Produktion eine schnelle Verbindung zum DUT ermöglichen. Zum Glasmassstab kann eine fixe Verbindung bestehen. Zu beachten ist die Kabellänge. Diese muss genügend lang für den Fahrweg sein.

Die Entwicklung der Schnittstelle zwischen dem Microcontroller und dem DUT oder Referenzmessgerät wird in dieser Arbeit nicht behandelt. Die bestehende Schnittstelle ist von der Entwicklungsabteilung bereitgestellt.

### **7.12.5. Firmware**

Die Firmware ist eine Art von Software. Deren Hauptaufgabe ist es, den Hardware-Komponenten eines Geräts Maschinenbefehle zu erteilen. Entsprechend kann die Hardware auf einer grundlegenden Ebene arbeiten. Die Firmware konfiguriert den Microcontroller, um Werte des Glasmassstabes, der Spannungs- und Strommessung einzulesen. Diese soll die notwendigen Daten aufbereiten und am Ende an die Software über die Schnittstelle übertragen.

Die Hauptaufgabe der Firmware ist, die Daten vom DUT und vom Glasmassstab mit einer geeigneten Auflösung zu sampeln und für die Übertragung über die virtuelle Schnittstelle vorzubereiten. Damit der CP-Prüfaufbau mit unterschiedlichen Potentiometertypen arbeiten kann, muss dessen gemessener Spannungswert auf einen Bereich zwischen 0 – 1 skaliert sein.

Die Umsetzung der Skalierung und die Kommunikation mit dem Shunt-Strom- und Leistungsmonitor über I2C wird in dieser Arbeit übernommen und ist nicht näher behandelt. Ebenso wie die Datenübertragung über den Virtual COM-Port programmiert ist, wird aus der Vorlage übernommen.

Behandelt wird die Initialisierung. Dazu gehört die Auslegung am Microcontroller für die Ein- und Ausgänge, die Vorgabe einer Referenzspannung, die Auflösung und die Programmierung des Interfaces für den Glasmassstab.

### **7.12.6. Schnittstelle: Firmware zu Software**

Die digitale Schnittstelle hat die Aufgabe eine Verbindung mit der Hardware und dem Betriebssystem zu gewährleisten, um die Daten für die Weiterverarbeitung zur Verfügung zu stellen.

Die physikalische Verbindung zwischen Firmware und Software stellt die USB-Schnittstelle des PCs dar. Von der Endapplikation kann die Schnittstelle letztlich wie ein herkömmlicher COM-Port angesprochen werden.

Der vorhandene Quellcode für den Virtual COM-Port wird übernommen. Diese Arbeit befasst nicht mit der Entwicklung einer solchen Schnittstelle. Deshalb wurde mit dem Projektleiter definiert, dass der bestehende Aufbau verwendet wird und diese Schnittstelle kein Teil der Arbeit ist.

### **7.12.7. Software**

Die Bezeichnung «Software» beschreibt jegliche nicht physische Bestandteile eines Computers, Computernetzwerks oder mobile Geräte. Gemeint sind die Programme und Anwendungen (wie das Betriebssystem, der Internet Explorer, etc.), die den Computer für den Anwender verwendbar machen.

Die Aufgabe der Endapplikations-Software hier liegt in der Qualitätskontrolle. Sie muss die gemessenen Daten aufnehmen und die Resultate mit den wichtigsten Qualitätsmerkmale bewerten. Die Qualitätsmerkmale sollen über Eingabefelder eingetragen werden. Die Messresultate und deren Korrektheit muss für den Anwender grafisch dargestellt sein. Ebenfalls soll eine Grafik mit einem Koordinatensystem und den Messresultaten dargestellt sein.

Die Vorlage stellt der Projektleiter zur Verfügung und besitzt alle notwendigen Komponenten. Die Komponente des Datenempfangs wird übernommen und nicht genauer behandelt.

In der Diplomarbeit wird auf die Umsetzung der Qualitätskontrolle und der grafischen Darstellung eingegangen. Dazu muss die Software die Daten aufnehmen und anschliessend alle notwendigen Werte berechnen, um am Ende die Qualitätskontrolle durchzuführen. Um die Produktionstauglichkeit zu ermöglichen, wird eine Benutzeroberfläche für die Bedienung und Eingabe der Qualitätskriterien erstellt.

### 7.13. Konzept ausarbeiten

In diesem Abschnitt wird genau auf die einzelnen Konzepte eingegangen und deren Ausarbeitung behandelt. Konzepte, die nicht zur Diplomarbeit gehören werden in diesem Abschnitt nicht erläutert.

#### 7.13.1. Mechanischer Aufbau

Die CP-Prüfeinrichtung verfügt zum Projektbeginn über keinen mechanischen Aufbau. Dieser ist vollständig zu entwerfen und zu realisieren.

Für die Umsetzung des Konzepts benötigt es als Basis eine Grundplatte. Darauf wird das Referenzmessgerät, die Halterung für das DUT, die Verbindung zwischen DUT und Referenzmessgerät und die Elektronik über Schrauben verbunden. Für die Produktionstauglichkeit ist der schnelle Wechsel der Halterung für die DUTs und der Verbindung zwischen DUT und Referenzmessgerät eine relevante Bedingung. Der schnelle Wechsel wird ermöglicht, in dem sich die produktspezifischen Bauteile mit handelsüblichen Werkzeugen demontieren lassen.

Die Elektronik wird in ein Gehäuse eingelegt und über eine Halterung an die Grundplatte befestigt. Das Kabel zum Glasmassstab ist genügend lang, damit der Schieber über die ganze Länge fahrbar ist.

#### 7.13.2. Hardware

Wie bereits Kapitel 7.12.1 erwähnt, wird die Hardware auf Basis des vorhandenen GT-Joystick-Messsystems aufgebaut. Die Ausgangslage nutzt einen universal PCB, worauf, je nach Anwendung, eine individuelle Bestückung realisiert wird. Die neue Bestückung erhielt vom Projektleiter eine angepasste Schutzschaltung, ansonsten bleibt der Rest gleich.

An der Basis muss der Shunt-Widerstand für die Spannungs- und Strommessung optimiert werden. Wir verwenden am Potentiometer eine  $5k\Omega$  CP-Bahn. Der geeignete Shunt-Widerstand lässt sich mathematisch wie folgt berechnen. Wir verwenden eine Speisespannung von  $VCC = 3.3V$  und wie besprochen einen Widerstandswert mit der Toleranz von  $R_{pot} = 5k\Omega \pm 20\%$ . Damit lässt sich der maximale Strom für die Leistung berechnen. Es resultiert  $I_{max} = \frac{3.3V}{5k\Omega \cdot 0.8} = 1.25mA \rightarrow$  Mit Sicherheit  $2mA$ .

Anschliessend wird die Messgenauigkeit und die Leistung bei  $\pm 1\%$ ;  $\pm 0.5\%$ ;  $\pm 0.25\%$  berechnet:

$$\pm 1\%: 3.3V \cdot 0.01 = 0.033V \mid R_{\pm 1\%} = \frac{0.033V}{2mA} = 16.5\Omega$$

$$\pm 0.5\%: 3.3V \cdot 0.005 = 0.0165V \mid R_{\pm 0.5\%} = \frac{0.0165V}{2mA} = 8.25\Omega$$

$$\pm 0.25\%: 3.3V \cdot 0.0025 = 0.00825V \mid R_{\pm 0.25\%} = \frac{0.00825V}{2mA} = 4.125\Omega$$

$$P_{\pm 0.1\%} = 0.033V \cdot 2mA = 66\mu W$$

$$P_{\pm 0.5\%} = 0.0165V \cdot 2mA = 33\mu W$$

$$P_{\pm 0.25\%} = 0.00825V \cdot 2mA = 16.5\mu W$$

Beschaffungstechnisch lässt sich ein Shunt-Widerstand nicht mit jeder Messgenauigkeit auswählen. Ein Blick in das bestehende Lager zeigt, dass nur ein Shunt-Widerstand mit  $10\Omega$  und  $\pm 0.5\%$  Messgenauigkeit vorhanden ist. Um den Beschaffungsaufwand gering zu halten, wird der Shunt-Widerstand  $10\Omega$  und  $\pm 0.5\%$  Messgenauigkeit gewählt.

### 7.13.3. Firmware

Die Einarbeitung begann mit einer Firmwarevorlage aus der Entwicklungsabteilung. Der verwendete Microcontroller gibt vor, dass die IDE «Simplicity Studio» kompatibel ist. Darin bestand der funktionierende Quellcode für den Virtual COM-Port, womit die Schnittstelle zur PC-Software ermöglicht ist. Ebenso bestand die I2C-Schnittstelle für den digitalen Power Monitor. Damit eine gewisse Selbständigkeit bei der Einarbeitung möglich war, enthielt die Firmware ein Beispiel für die Initialisierung des Microcontrollers.

Die neue Firmware ist auf der bestehende aufgebaut und initialisiert die Ein-, Ausgänge und Referenzspannung auf die bestehende Steckerbelegung nach Schema (Abbildung 3) aus. Die Referenzspannung ist über den GND-Anschluss mit der CP-Bahn des DUT verbunden. Das Analogsignal ist mit einem Eingangs-Port konnektiert. Damit lässt sich der Spannungswert über dem Schleifer aufnehmen und skalieren.

Mit der I2C-Schnittstelle lässt sich die Spannung über dem Shunt-Widerstand und der Strom am Shunt-Widerstand vom Powermonitor einlesen. Die Firmware berechnet damit den Gesamtwiderstand am DUT.

Die Kommunikation mit dem Glasmaßstab erfolgt über ein SSI-Interface. Im Interface wurde ein Clocksignal anhand der Vorlage (Abbildung 4) programmiert. Damit erhielt die Firmware über die DATA-Leitung einzelne Bits. Die einzelnen Bits werden mit dem MSB beginnend gebündelt und nach 26-Bits entsteht daraus ein Wert, welcher die Position ausgibt.

Damit sind alle notwendigen Werte vorhanden. Diese werden anschliessend über den Virtual COM-Port übertragen.

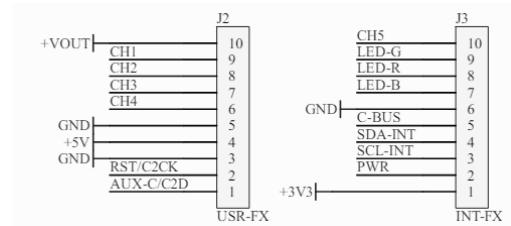


Abbildung 3: Steckerbelegung am bestehenden GT-Joystick-PCBA

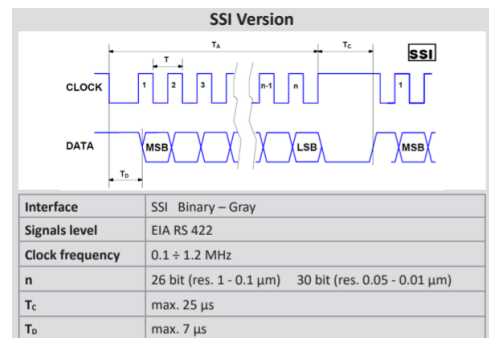


Abbildung 4: Definition im Datenblatt der Kommunikation und der Datenausgabe

Um die Daten mit einer geeigneten Auflösung zu sampeln, werden die möglichen Einstellungen aus der Spezifikation entnommen. Die geforderten 10 Bit Genauigkeit sind laut Datenblatt die geringste einstellbare Auflösung für den Analog-Digital-Wandler. Wir verwenden daher 12 Bit und addieren zudem 64-Werte der 12-Bit Werte und berechnen daraus einen Mittelwert.

DC Performance						
Integral Nonlinearity	INL	12 Bit Mode	—	±1	±2.3	LSB
		10 Bit Mode	—	±0.2	±0.6	LSB
Differential Nonlinearity (Guaranteed Monotonic)	DNL	12 Bit Mode	-1	±0.7	1.9	LSB
		10 Bit Mode	—	±0.2	±0.6	LSB
Offset Error	E <sub>OFF</sub>	12 Bit Mode, VREF = 1.65 V	-3	0	3	LSB
		10 Bit Mode, VREF = 1.65 V	-2	0	2	LSB
Offset Temperature Coefficient	TC <sub>OFF</sub>		—	0.004	—	LSB/°C

Abbildung 5: Ausschnitt der elektrischen Spezifikationen des Analog-Digital-Wandler

#### 7.13.4. Software

Die PC-Software wurde mit einer kurzen Einarbeitung übergeben. Die PC-Software baut auf Visual Studio von Microsoft auf. In der Vorlage besteht nur der Datenempfang über die UART (VCP – Virtual COM-Port). Auf der Benutzeroberfläche ist nur das Eingabefeld für den Ablagepfad und ein Bedienfenster vorhanden. Im Bedienfenster lässt sich der COM-Port auswählen oder das Programm schliessen (Abbildung 6).



Abbildung 6: Vorlagenansicht des Softwareprogramms

Die Anwendung der PC-Software beginnt mit der Eingabe aller notwendigen Referenzgrößen. Darunter sind die Linearität und Endspannung, je als Prozentwert eingetragen. Für den maximalen und minimalen Gesamthub und elektrisch den definierten Bereich sind drei Eingabefelder in mm vorhanden. Weiter müssen der Widerstandswert in  $\Omega$  und die entsprechende Widerstandstoleranz in Prozent eingetragen werden. Sind die Referenzwerte eingegeben, das Prüfgerät mit dem entsprechenden COM-Port verbunden und das DUT komplett eingefahren, wird die Prüfung mit einem Schaltflächen-Button gestartet. Im ersten Ablauf werden der Glasmassstab genullt, ein Koordinatensystem dargestellt und die Daten über die gesamte Länge des DUTs aufgenommen. Sobald das DUT maximal ausgefahren ist, beginnt der zweite Ablauf. Die erste Wertung des maximalen Widerstandwertes und des Fahrweges des Glasmassstabs erfolgt. Ebenso werden die maximalen und minimalen Analogwerte mit dem Referenzwert verglichen. Je nach Erfüllungsgrad sind diese Felder auf der Benutzeroberfläche rot oder grün eingefärbt. Zum Schluss werden auf dem Koordinatensystem die ideale Linie und ein elektrisch definierter Bereich gezeichnet. Nun erfolgt die Qualitätskontrolle der Linearität. Dazu wird das DUT händisch mit einem mässigen Schub komplett eingefahren. Die Messung erfolgt nur im elektrisch definierten Bereich und berechnet die Differenz zwischen der Ideallinie und dem Analogwert in Echtzeit. Auch bei dieser Wertung wird ein Punkt rot oder grün angezeigt.

Für den Prüfer/ die Prüferin wird das gemessene Signal in Echtzeit grafisch als Punktelinie dargestellt.

In der Spezifikation wird von der Berücksichtigung der Messgenauigkeit beim Messbereich gesprochen. Damit sind die Restspannung, wenn aus- oder eingefahren gemeint. Dieser Wert wird mit der Eingabe der Endspannung in Prozent berechnet.

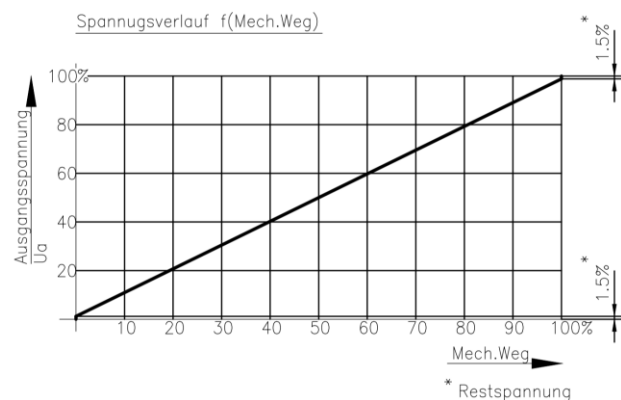


Abbildung 7: Spannungsverlauf im Datenblatt. Erkennbar die Restspannung an den Enden.

## **7.14. Ausarbeitung kontrollieren**

Während der Umsetzung werden wiederholt Funktionstests der einzelnen Aufgabenpakete durchgeführt. Damit ist sichergestellt, dass die Funktion korrekt gewährleistet ist und um im Fehlerfall die Ursache bei der Analyse besser eingrenzbar ist. Liegen Probleme vor, werden in diesem Abschnitt entsprechende Massnahmen definiert.

### **7.14.1. Mechanischer Aufbau**

Der mechanische Aufbau wird in diesem Abschnitt auf seine Produktionstauglichkeit geprüft. Dazu wird die Gängigkeit des Referenzmessgerätes, dessen Ausrichtung zum DUT, der Wechsel der Halterung in die Verbindung zum Schieber und die spielfreie Verbindung zwischen DUT und Schieber geprüft.

#### **Gängigkeit des Referenzmessgeräts**

Die Produktion ist auf Serienfertigung ausgelegt, um wenige bis mehrere Hundert gleiche Produkte herzustellen. Damit die Produktion die CP-Prüfeinrichtung anwenden kann, muss eine gewisse Ergonomie und komfortable Anwendung bestehen. Bei den ersten Prüfdurchläufen wurde schnell die schwere Auslenkung des Glasmasstabs bemängelt.

Damit die Auslenkung geeigneter für eine Hand erfolgen kann, muss die Reibung, während dem Ausfahren minimiert werden.

#### **Ausrichtung: DUT zum Referenzmessgerät**

Die Achse des DUTs und des Schiebers liegen zueinander parallel und weisen keine Probleme auf. Werden beide miteinander bewegt, berührt das DUT den Schieber stets am selben Ort. Das DUT hat in seiner Führung noch etwas Freiraum und daher ist beim Herumschieben kein Klemmen festzustellen.

#### **Wechsel der Halterung und Verbindung**

Die Einfachheit der De- und Montage ist gegeben. Die Verbindung ist gut erreichbar und lässt sich mit handelsüblichem Werkzeug lösen.

#### **Spielfreie Verbindung DUT zu Glasmasstab**

Das erste Konzept sah vor, das DUT mit dem Glasmasstab fest zu verbinden. Dieser Ansatz bedingte, das DUT bis auf die Prüfspitze zu montieren, um den Schieber über eine Schraube zu verbinden. Beim Versuch das nächste DUT zu verbinden, wurde schnell klar, dass das Lösen der Schraubverbindung ein zeitintensiver Schritt und nicht produktionstauglich ist. Um eine geeignete Verbesserung zu finden, muss der aktuelle Montageprozess und Prüfprozess untersucht werden.

Die zu erarbeitende Massnahme fokussiert sich auf den Prüfablauf, um ein wirtschaftliches Auswechseln der DUTs zu ermöglichen.

### 7.14.2. Hardware & Firmware

Die Funktion der Firmware und der korrekte Aufbau der Hardware wurde zusammen geprüft. Die Kontrolle der Hardware wurde schrittweise mit dem Aufbau der Firmware realisiert.

Die Hardware wurde mit kleinen Firmwareerweiterungen stets geprüft, um die Funktion sicherzustellen. Als Einstieg wurde der Glasmassstab, danach die Messung der Schleiferspannung am DUT implementiert. Beim DUT wurde zusätzlich die Shunt-Spannung und der Shunt-Strom aufgenommen.

#### Glasmassstab

Beim Glasmassstab wurde das Clock-Signal, der Datenempfang über die Datenleitung und die Korrektheit der Daten geprüft. Sobald alle Schritte einwandfrei funktionierten, liess sich die Hardware auch über die vorhandenen LEDs auf dem PCBA überprüfen. Dazu wurde die Länge des Glasmassstabs in drei gleichgrosse Bereiche aufgeteilt. Wird der Schieber über die gesamte Länge gefahren, wechselte die LED-Farbe je nachdem den gemessenen Wert.

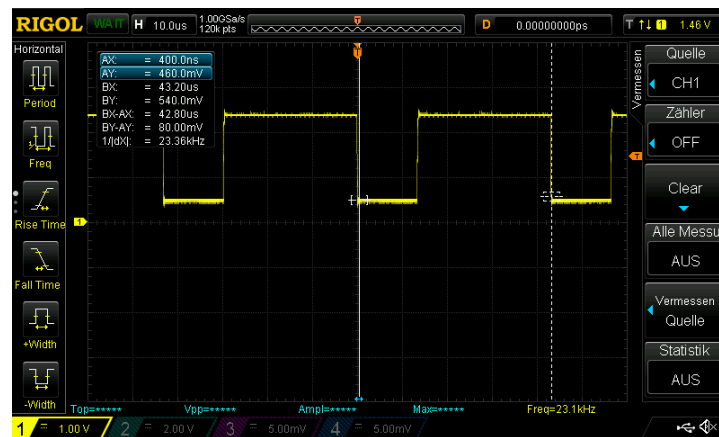


Abbildung 8: Erste Ausführung des Clock-Signals

Das Erstellen eines Interfaces für den Glasmassstab zeigte sich komplexer als erwartet. Jedoch hat die schrittweise Analyse sehr geholfen, um gezielt die vorhandenen Probleme zu erkennen.

#### Clock-Signal

Das Clock-Signal wurde mit einem Oszilloskop in Echtzeit mit dem Datenblatt verglichen und überarbeitet. Schwierigkeiten entstanden durch eine fehlerhafte Initialisierung, dem falschen Umsetzen des Protokolls. Wegen einem beschädigt aussehenden Port-Ausgang, der wegen Kurzschluss hätte beschädigt sein können, und weil das Signal eigentlich einem differentiellen RS422-Pegel entspricht, wurde für Versuche ein RS422-Interface eingebaut.

Um die entstandenen Fehler zu beheben ist die Massnahme, das Protokoll an das Datenblatt anzupassen und zu überprüfen, ob ein RS422-Interface wirklich notwendig ist.

#### Datenempfang über die Datenleitung

Mit einem unsauberen Protokoll konnten auch keine Daten empfangen werden. Sobald ein brauchbares Protokoll bestand, liess sich ein Signal am Oszilloskop erkennen.

## Korrektheit der Daten

Mit dem Debugger konnte am Eingang der erhaltene Wert angezeigt werden. Der Glasmassstab gab seine Position anfangs nicht lesbar an. Erhielt der Glasmassstab das korrekte RS422-Protokoll, konnte ein Wert erkannt werden, welcher mit dem Bewegen des Schiebers mitändert. Jedoch war dieser Wert stets zu gross. Damit die Firmware die korrekte Position erhält, muss sichergestellt werden, dass das Protokoll stimmt.

## **DUT**

Um alle Daten vom DUT zu messen, musste die Umsetzung der Firmware ebenfalls schrittweise erfolgen. Dafür wurden der Port mit der Referenzspannung und das gemessene Signal am Schleifer mit dem Debugger überprüft. In Zusammenarbeit mit dem Projektleiter wurde die I2C-Kommunikation getestet, um damit die Spannung und den Strom am Shunt-Widerstand zu messen.

Sobald die Initialisierung bestand, wurde die Hardware mit den eingebauten LEDs überprüft. Die Bedingung, bei welchem Wert eine LED-Farbe leuchtet, wurde in drei gleichgrosse Bereiche zwischen 0 – 1 unterteilt. Wird das Potentiometer bewegt, wechselt die LED-Farbe je nach dem gemessenen Wert. Die Fehler liessen sich dank der schrittweisen Kontrollen ideal erkennen und eingrenzen.

## Referenzspannung

Die Referenzspannung bestand mit der Vorlage am Port VDD bereits. Damit ist sichergestellt, dass das Messgerät das DUT versorgt. Die Messung am DUT ist hochohmig, womit nur eine minimale Belastung der Referenz erfolgt.

## Schleiferspannung

4:3	REFSL	0x3	RW	Voltage Reference Select.
Selects the ADC0 voltage reference.				
Value	Name	Description		
0x0	VREF_PIN	The ADC0 voltage reference is the P0.0/VREF pin.		
0x1	VDD_PIN	The ADC0 voltage reference is the VDD pin.		
0x2	INTERNAL_LDO	The ADC0 voltage reference is the internal 1.8 V digital supply voltage.		
0x3	INTERNAL_VREF	The ADC0 voltage reference is the internal voltage reference.		

Abbildung 9: REF0CN: Steuerung der Spannungsreferenz

Das DUT erreichte beim Ausfahren am Schleifer stets zu früh den maximalen Wert. Die Spannung am DUT ist 3.3V und die Bits 4-3 wurden mit dem Wert 0x0 eingestellt, um die Referenzspannung am Pin P0.0/VREF zu erhalten. Die Analyse mit dem Projektleiter zeigte, dass die korrekte Initialisierung die 0x3 ist.

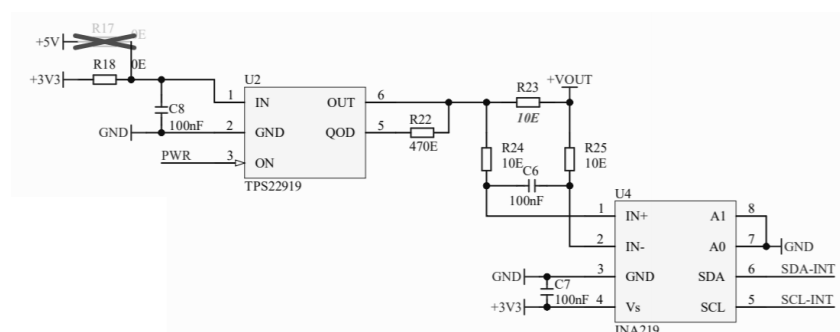


Abbildung 10: Schemaausschnitt, um dem Shunt-Widerstand R23 zu messen.

### Shunt-Widerstand ausmessen

Das Auslesen der Spannung und des Stromes am Shunt-Widerstand wurde mit dem Projektleiter durchgeführt. Die Berechnung des Widerstandes wurde mit der URI-Formel gelöst.

#### **7.14.3. Software**

Die Umsetzung der Software konnte nur in kleinen Schritten erreicht werden, da diese einzeln auf ihre Funktion geprüft wurden. Damit liess sich sicherstellen, dass die PC-Software ideal funktioniert und Fehler eingrenzbar sind.

Anfangs musste das übermittelte Datenpaket aufgeteilt werden. Damit der Gesamtwiderstand, die Analogskala und der Glasmassstabwert einzeln als Variablen bestanden. Nachträglich ist die Eingabe der Prüfwerte über die Benutzeroberfläche zu realisieren und zum Schluss wird der Prüfablauf mit der Qualitätskontrolle, der grafischen Darstellung und das Erstellen eines Prüfprotokolls programmiert.

#### **Datenpaket einlesen**

Das Einlesen der Datenpakete wurde in Zusammenarbeit mit dem Projektleiter umgesetzt. Die Vorlage bestand nur aus einem der drei Messresultate und war so aufbereitet, dass mit dem Debugger auf der PC-Software in Echtzeit eine erfolgreiche Inbetriebnahme möglich war. Im Nachgang konnte auf der Vorlage einfach aufgebaut und alle Werte aus dem Datenpaket angezeigt werden.

#### **Eingabe der Prüfwerte**

Visual Studio ermöglicht in einem CS-File mit Baukasten zu arbeiten. In der Toolbox gibt es die Möglichkeit, die Eingabe über ein NumericUpDown zu realisieren. Damit nutzt der Quellcode mit der Eigenschaft «.Value» den eingetragenen Wert. Einfache Versuche mit einem Anzeigefeld bestätigten, dass der eingetragene Wert korrekt eingelesen ist.

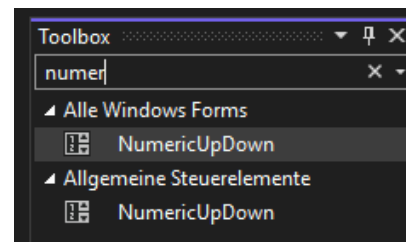


Abbildung 11: Eingabetool in Visual Studio

#### **Prüfablauf**

Der Prüfablauf erfolgt, sobald der Start-Button betätigt ist. Wird die Startbedingung erfüllt, wird noch überprüft, ob in den Eingabefeldern eine Referenzgrösse besteht. Ist die Bedingung nicht erfüllt, öffnet sich ein Pop-Up-Fenster und teilt den fehlenden Eintrag mit. Erfüllen alle Eingabefelder die Bedingung, initialisiert die PC-Software alle Parameter in Standardeinstellungen und setzt den ersten Programmzustand auf aktiv. Der erste Schritt ist das Messen aller notwendigen Daten, darunter sind der maximale und minimale Widerstand und Hub am Glasmassstab und der maximale Gesamtwiderstand. Ein weiterer Schritt beim Startvorgang ist das grafische Darstellen des Koordinatensystems. Während dem Ausfahren des DUT erfolgt die Berechnung der Linearen Regression aus den gelesenen Datenpaaren, um die Koeffizienten zu berechnen. Sobald das DUT komplett ausgefahren ist, wechselt es in den zweiten Zustand und deaktiviert den ersten. Der zweite Zustand vergleicht die gemessenen Werte mit den Referenzgrössen. Liegen die Werte in der Toleranz, werden auf der PC-Software die entsprechenden Felder grün, ansonsten rot angezeigt. Zugleich werden auf dem Koordinatensystem einmal die Ideallinie und der elektrisch definierte Bereich angezeigt. Die Ideallinie ist mit den Koeffizienten und dem maximalen und minimalen Glasmassstabwert berechnet. Dazu wird die Formel der Linearen Funktion verwendet. Im dritten Zustand wird die letzte Qualitätskontrolle der Linearität durchgeführt. Dafür wird das DUT wieder komplett eingefahren. Währenddessen wird die Linearität, also die Differenz zwischen der Ideallinie und dem

Analogenwert ermittelt. Die Messung erfolgt nur im elektrisch definierten Bereich. Das Messresultat der Linearität ist grafisch farblich angezeigt. Ist der Messpunkt grösser als der elektrisch definierte Bereich, ist er rot, ist er kleiner oder gleich, besteht ein grüner Punkt. Diese Punkte sollen bei der Analyse eines schlechten DUT helfen.

Der vierte und letzte Schritt ist das Ablegen der Messresultate. Um sicherzustellen, dass sich die Messresultate stets auf ein Produkt beziehen, wird vor dem Start vom Benutzer ein Identifier eingetragen. Sobald beim Einfahren die minimale elektrisch definierte Grenze unterschritten ist, werden der Identifier, die Referenzgrössen und die Messresultate zusammen mit einem Erfüllungsgrad abgelegt.

Schwierigkeiten bestehen beim Prüfablauf einerseits bei der Schubgeschwindigkeit und dem ersten Messresultat während der Linearitätskontrolle. Es wirkt, als wäre es systembedingt, weil wenn der Schieber «langsam» bewegt wird, liegen die Werte oft Unterhalb der Linearitätstoleranz, doch sobald «etwas schneller» geschoben wird, steigt die maximale Linearität ins extreme. Zu erkennen ist auch, dass die berechnete Linearität nach dem Unterschreiten des maximal elektrischen definierten Bereichs ins Unermessliche springen.

Eine weitere Ursache könnte in der Berechnungsart der Linearität liegen. Vor der Berechnung werden 10 Analogskalen eingelesen, um daraus den Mittelwert zu berechnen. Diese Mittelung könnte zu einer Verfälschung des Signals führen.

Die Tatsache, dass der Schieber von Hand bewegt wird, ermöglicht eine falsche Anwendung und die Mittelung der Analogskalen kann zu einer falschen Berechnung der Linearität führen. Es muss dafür gesorgt sein, dass die Bedienung und Berechnung nicht zu einem Fehlverhalten führen. Beim Unterschreiten muss überprüft werden, ob es sich tatsächlich um ein falsches Verhalten handelt.

## 7.15. Endergebnis der Umsetzung

Nach der Entwicklung und den Verbesserungen besteht ein funktionierender Stand. Mit diesem Abschnitt wird genau beschrieben, wie der Stand der CP-Prüfeinrichtung ist und wie sich diese bei der Übergabe verhält. In den Kapiteln 7.13 und 7.14 sind einzelne Aufgabenbereiche auf gewisse Aufgabenpakete nicht behandelt. In diesem Abschnitt gehen wir wieder auf alle Aufgabenpakete ein und beschreiben deren Endzustand für die Vollständigkeit.

### 7.15.1. Mechanik

Der mechanische Aufbau besteht aus einer Grundplatte. Die Grundplatte hält das Referenzmessgerät, den DUT-Halter und die Elektronik. Die spielfreie Verbindung zwischen DUT und Referenzmessgerät wird mit der Rückstellfeder vom DUT realisiert. Das DUT wird über die Montageöffnungen im Gehäuse gehalten und mit einem Spannhalter befestigt.



Abbildung 12: Befestigung des DUTs



Abbildung 13: Verbindung  
HP16 zu Glasmassstab Seiten-  
ansicht



Abbildung 14: Verbindung  
HP16 zu Glasmassstab  
Frontsicht

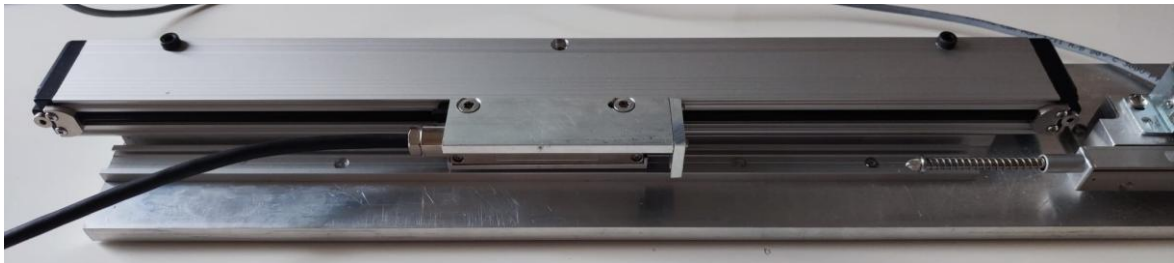


Abbildung 15: Referenzmessgerät (Glasmassstab)

Der Ansatz für den Aufbau liegt in der Produktionstauglichkeit. Produktspezifische Komponenten an der CP-Prüfeinrichtung sollen einfach ersetzbar sein. Die Befestigungspunkte sind an der Grundplatte und am Referenzmessgerät vorgegeben. Die Umsetzung ermöglicht die Verbindung vom Referenzmessgerät zum DUT und die DUT-Halterung zur Grundplatte universell zu halten. Damit der Wechsel wirtschaftlich bleibt, sind Montageorte so gewählt, damit die Anpassung mit handelsüblichen Werkzeugen problemlos erfolgen kann.

### Gängigkeit des Referenzmessgeräts

Durch Lösen der Schrauben an den Fixationsblöcken liess sich der Schieber besser bewegen. Durch das Lösen der Schrauben reduziert sich die Reibkraft. Im Prinzip wird ein Glasmasstab an eine Mechanik spielfrei montiert und benötigt die Fixationsblöcke nicht. In unserem Fall müssen die weiter bestehen, ansonsten ist der Schieber zu wenig fixiert.

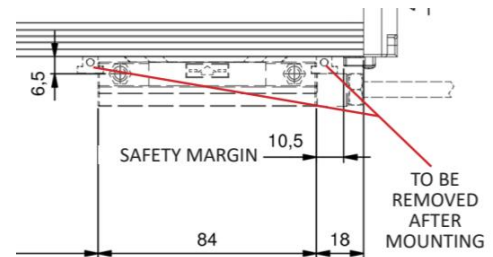


Abbildung 16: Fixationsblöcke

### Spielfreie Verbindung DUT zu Glasmasstab

Um die Problemstellung der Verbindung anzugehen, wurde der aktuelle Montageprozess und Prüfprozess untersucht. Einerseits wird das DUT vor dem Prüfen komplett zusammengebaut und während dem Prüfprozess wurde klar, dass die Rückstellung bereits besteht. Die Massnahme war, den Montageprozess beizubehalten und am Glasmasstab eine kleine Platte mit einem Führungsschlitz zu fertigen. Damit kann der Prüfspitz in Schlitz geführt werden und die Rückstellfeder stellt eine spielfreie Verbindung sicher.

### 7.15.2. Hardware

Durch die Kontrolle der Ausarbeitung ist bekannt, dass an der Hardware ein defekter Ausgang besteht. Diese Problematik wurde mit einem anderen Port gelöst.

Schutzschaltung der Ein- und Ausgänge ist auf 3.3V mit einem Pull-Up-Widerstand geschützt. Die 3.3V-Schottky-Diode schützen vor Überstrom und in Zusammenhang mit dem Begrenzungswiderstand von 150Ω die Beschädigung der Schottky-Diode.

Für die Strommessung wird der Shunt-Widerstand (R23 in Abbildung 18) RNCF1206AKT10R0 und für den Shunt-Strom und Leistungsmonitor INA219 verwendet. Rechnet man die Genauigkeit mit derselben Formel

$$\frac{10\Omega \cdot 2\text{mA}}{3.3\text{V}} = 0.006 = 0.6\%$$

erhält man eine Genauigkeit von 0.6%.

Der Rest der Bestückung ist nicht angepasst. Zusammenfassend ist sichergestellt, dass das Messgerät einwandfrei funktioniert und das DUT versorgt.

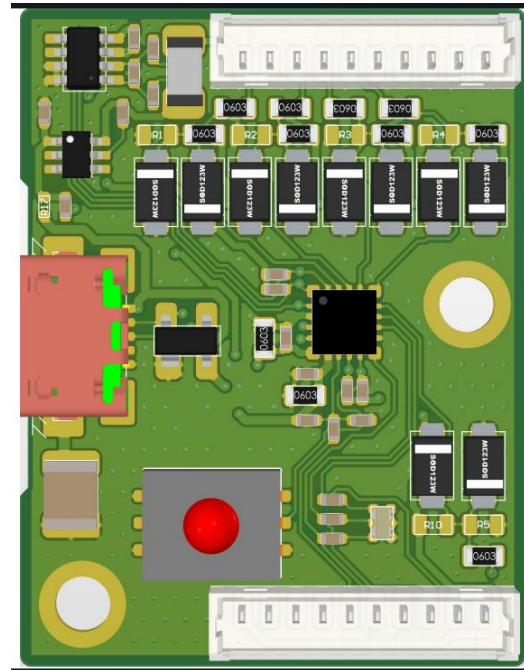


Abbildung 17: Hardware PCBA-Aufbau

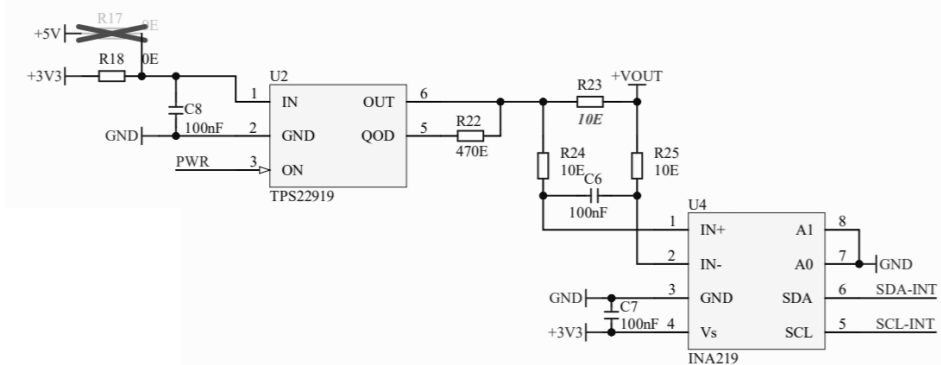


Abbildung 18: Schalplan der Strom und Spannungsmessung

Der Input Leakage am Microcontroller ist 1.1uA und die Schutzschaltung ist 0.5uA. Die maximale Spannung, die am Port sein darf liegt bei 3.3V. Daraus resultiert ein Widerstand von 1Mega Ohm 3.3V/1.6uA. Im schlimmsten Fall ist der hochohmige Eingang mit 2'062'500 Ohm ebenfalls gewährleistet.

Input Leakage (Pullups off or Analog)	$I_{LK}$	$GND < V_{IN} < V_{IO}$	-1.1	—	1.1	$\mu\text{A}$
---------------------------------------	----------	-------------------------	------	---	-----	---------------

Abbildung 19: Ausschnitt Spezifikation Input Leakage EFM8UB3

### 7.15.3. Schnittstelle: Hardware zu DUT & Referenzmessgerät

Als Schnittstelle für den Glasmassstab ist der Stecker SUB-D 9-Fachstecker verwendet. Das DUT wird über Prüfklemmen befestigt. Die Steckerbelegung vom PCBA zum DUT und Glasmassstab wurde anhand deren Datenblätter des bestehenden PCBA-Layouts, des Glasmassstabs und DUTs realisiert.

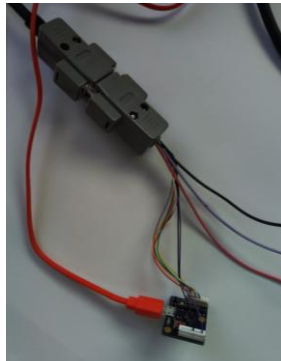


Abbildung 20: Schnittstelle zum PCBA und Glasmassstab

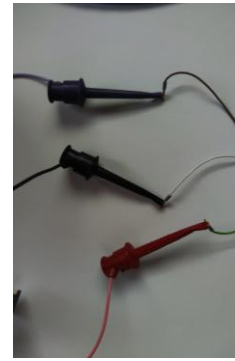


Abbildung 21: Schnittstelle zum DUT

### 7.15.4. Firmware

Die Firmware nimmt die entsprechenden Daten mit einer 12-Bit-Auflösung auf, verarbeitet sie, und schickt diese über den Virtual COM-Port an die PC-Software. Eine weitere Optimierung ist die Nullung an einer gewünschten Position. Umgesetzt heisst das, sobald ein Char «0» an die Firmware geschickt wird, wird diese Stelle genullt.

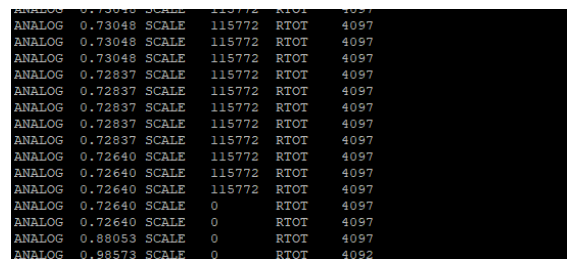


Abbildung 22: Werte über PuTTY

Die erkannten Probleme bezogen auf den Glasmassstab und das DUT wurden einwandfrei gelöst. Mit der Überarbeitung des Quellcodes erhält der Glasmassstab das korrekte Protokoll. Damit benötigt die Kommunikation keinen RS422-Treiber mehr. Mit dieser Korrektur sind die erhaltenen Daten einwandfrei und stimmen mit der Position überein. Nun ist die erhaltene Position korrekt.

Die Referenzspannung ist nun dieselbe wie die angelegte Spannung, Somit deckt der Skalenwert den kompletten Messbereich.

### 7.15.5. Schnittstelle: Firmware zu Software

Der Virtual COM-Port ist in der IDE von Simplicity Studio in der Library bereitgestellt. Die Funktion ist vorhanden und lässt sich mit den notwendigen Befehlen ausführen.

```

418 *****
419 void VCP_Callback(void)
420
421 //VCPXpress_API_CALLBACK()
422 {
423     uint32_t INTVAL = Get_Callback_Source();
424 }

```

Abbildung 23: Quellcode mit VCP

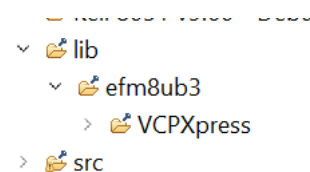


Abbildung 24: VCPXpress in Library

### 7.15.6. Software

Das Softwareprogramm besitzt Eingabefelder für die Qualitätskontrolle. Die Linearität gibt die maximale Abweichung zwischen der Ideallinie und dem realen Analogwert an. Beim DUT gibt es durch mechanische Toleranzen die Möglichkeit, dass die Endpositionen noch eine Restspannung haben. Dieser Wert wird mit dem eingegebenen Endspannungswert verglichen und bewertet. Zwei weitere Qualitätsmerkmale sind der Gesamthub und der elektrisch definierte Bereich. Der elektrisch definierte Bereich ist nur dann zu beachten, wenn eine CP-Bahn linearisiert ist. Liegt keiner vor, muss dieselbe Länge wie der Gesamthub eingetragen werden. In der Abbildung 26 sind die grünen Felder zu erkennen. Diese Abbildung stellt den zweiten Ablauf dar, in dem die Ideallinie und der elektrisch definierte Bereich gezeichnet ist. In Abbildung 27 ist gut eine Gerade zu erkennen. Diese Gerade ist an gewissen Stellen rot und grün. Anhand der Farbe lässt sich gut erkennen, an welchem Ort die Linearität in der Toleranz (grün) oder ausserhalb (rot) ist.

#### Prüfablauf

Im Kapitel 7.15.6 wurde auf die mögliche Problematik der Mittelung hingewiesen. Die Vermutung lag nahe, dass die Mittelung der Analogwerte die Ursache war. Wird die Mittelung entfernt, ist weiterhin ein roter Bereich zu erkennen. Die Überprüfung musste mit den fehlerhaften DUTs wiederholt werden. Es liess sich nicht ein funktionierendes DUT produzieren oder auffinden.



Abbildung 25: PC-Software mit Referenzgrössen und Startvorgang

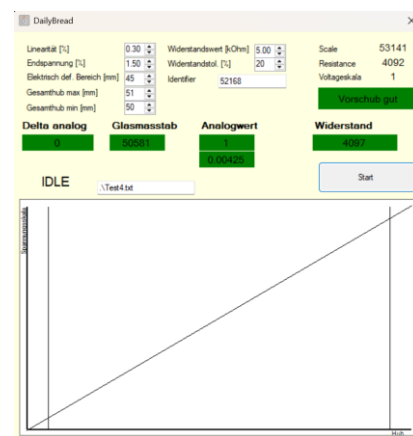


Abbildung 26: PC-Software mit idealer Linie und elektrisch definiertem Bereich in der Grafik

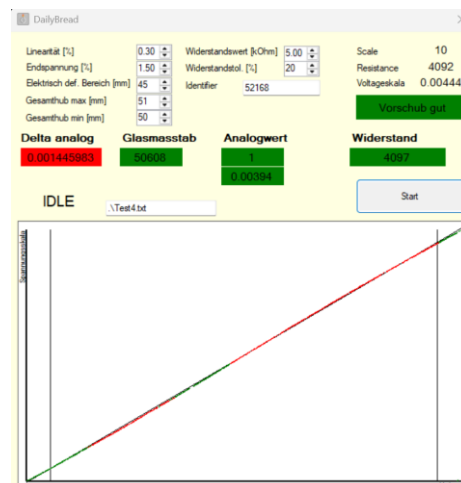


Abbildung 27: PC-Software mit Messresultate Grafisch dargestellt

Die Referenzwerte, die Messdaten, der Identifier und Prüfstatus werden in einem TXT-File abgelegt.



Abbildung 28: Li: Prüfprotokoll/ Re: Protokollname in der PC-Software

```
2024-10-21T18:19:44
1. Ref values
Approval: fail
ID: 52168
ElDefRang[mm]: 45
L max[mm]: 51
L min[mm]: 50
R ideal[Ohm]: 5
R tol. [%]: 20
Vscale [%]: 1.5
Linearity [%]: 0.3

2. Measured values
Scale max[um]: 50522
Rmax[Ohm]: 4097
Vscale min: 0.0038
Vscale max: 1
Linearity[scale]: 0.000873097
```

Abbildung 29: Inhalt des Prüfprotokoll

### 7.15.7. SWOT - Analyse

Mit der SWOT-Analyse sollen die Chancen und Gefahren, Stärken und Schwächen transparent festgehalten werden. Damit erhält der Auftraggeber hilfreiche Informationen, um allfällige Erweiterungen oder Verbesserungen vorzunehmen.

Analyse	Stärken	Schwächen
<b>Chancen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Produktionsoptimierung</li> <li>○ Reduktion Produktionszeit</li> <li>○ Modernisierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Einfachere Handhabung</li> <li>○ Wartungsarmer</li> <li>○ Fehlendes Qualitätsmerkmal (Linearität)</li> </ul>
<b>Risiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Produktionstauglichkeit</li> <li>○ Analyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Erhöhter Ausschuss</li> </ul>

#### **Zielsetzung: Chancen – Stärken**

Die neue CP-Prüfeinrichtung wird eine alte Infrastruktur ersetzen. Damit ermöglichen sich viele Chancen, auf welchen sich aufbauen lässt. Ein allgegenwärtiger Aspekt ist stets die Produktionsoptimierung. Mit dieser Vorrichtung kann der Produktionsablauf mit reduzierten Mitteln optimiert und die Produktionszeit reduziert werden. Zukünftig wird eine zentrale Datenverwaltung in der Produktion einfließen. Diese Vorrichtung wird als Grundlage genutzt. Idealerweise lassen sich damit viele weitere Produkte prüfen.

#### **Zielsetzung: Risiken – Stärken**

Die grösste Stärke der neuen Prüfung liegt in der Überwachung der Linearität. Damit ist die Präzision einzelner Produkte sichergestellt.

#### **Zielsetzung: Chancen – Schwächen**

Knowhow weiterzugeben ist ein wichtiger Bestandteil. Die Arbeit personenunabhängig zu machen, erlaubt einen stabilen Prozess sicherzustellen. Mit der neuen Lösung ist die Anwendung intuitiver und die Einarbeitung ist zeitsparend.

Mit der aktuellen Infrastruktur werden keine Daten abgelegt. Es wird lediglich ein Prüfblatt mit den Messwerten optisch verglichen. Liegen die Werte in der Toleranz, erfüllt es die Prüfung. Die neue CP-Prüfeinrichtung löst diese Lücke und stellt sicher, dass Daten weiterhin bestehen.

#### **Zielsetzung: Risiken – Schwächen**

Das grösste Risiko ist das fehlende Knowhow, welche Linearität wirklich die Produkte besitzen. Mit der neuen CP-Prüfeinrichtung besteht die Wahrscheinlichkeit, dass die Prüfung zu erhöhtem Ausschuss führen wird.

### 7.15.8. Risikoanalyse

Diese Risikoanalyse setzt sich mit der CP-Prüfeinrichtung im Übergabezustand auseinander. Es wird spezifisch auf das Endergebnis eingegangen. Während der Kontrolle konnten viele Fehler behoben werden, jedoch bleiben einzelne bestehen. Diese wurden während der Kontrolle als geringes Risiko eingestuft, jedoch sind diese relevant zu erwähnen.

Nr.	Risiko	Risikoakzeptanz	Eventualität	Risikomaßnahme
1	Manueller Vorschub führt zu hoher Fehler-rate, was zu mehreren Prüfdurchläufen führt	Niedrig	Möglich	Definition eines maximalen Vorschubes
2	Definierter Vorschub kann nicht eingehalten werden	Mittel	Wahrscheinlich	Motor mit konstanter Drehgeschwindigkeit
3	Strengere Qualitätsprüfung kann zu mehr Ausschuss führen	Niedrig	Sehr wahrscheinlich	Intensive Testphase, um Einflüsse an DUT und Prüfeinrichtung zu erkennen
4	Es lassen sich nicht alle Linearpotentiometer befestigen	Hoch	Sehr wahrscheinlich	Mit einer angemessenen erweitern
5	Mechanische Fehler lässt sich nicht erkennen	Hoch	Sehr wahrscheinlich	Die mechanische müssen mit anderen Prüfmitteln evaluiert werden

Das Risiko 1 und 3 haben die niedrigste Risikoakzeptanz. Dies führt dazu, dass bei der Schulung auf die korrekte Anwendung geachtet werden muss. Der maximale Vorschub lässt sich im Quellcode programmieren, jedoch darf bei der Prüfung diese Grenze nie bis sehr gering überschritten werden. Die Anwendung muss eine Verbesserung in der Qualitätskontrolle und eine Reduktion der Produktionszeit haben.

Um den Ausschuss zu reduzieren, muss vorgängig die CP-Prüfeinrichtung mit einer grösseren Produktionscharge überprüft werden.

### 7.15.9. Kosten-Nutzen-Analyse

Obwohl die Entwicklungskosten sehr hoch sind, überwiegen die Vorteile bei der Qualitätskontrolle. Damit lassen sich die Produktionszeit reduzieren und während der Eingangskontrolle können fehlerhafte Produkte besser erkannt werden. Werden nur funktionierende Produkte verwendet, gibt es keine Reibungsverluste durch wiederholte Anpassung der Produktionsplanung. Eine weitere Verbesserung dieser Prüfeinrichtung besteht für die Qualitätsabteilung. Im Fall einer fehlerhaften Produktionscharge lässt sich das historische Verhalten mit dem aktuellen Fehler vergleichen und Massnahmen definieren. Zugleich erlaubt es eine einfachere Anwendung in der Produktion, einerseits weil die Inbetriebnahme einfacher ist, andererseits wird die Qualitätsprüfung personenunabhängig.

#### Aufwand Entwicklung

Kategorie	Bauteile	Kosten	
<b>Elektronik</b>	Glasmassstab	970 CHF	
	Hardware	10 CHF	
	Shunt-Widerstand	1 CHF	
	INA219A	2 CHF	
<b>Mechanik</b>	Mechanische Bauteile	200 CHF	
Kategorie	Bauteile	Zeit [h]	Kosten tot [CHF]
<b>Arbeitszeit: Sebastian Bockarie</b>	PCB anpassen & bestücken	24	3840
	Firmware programmieren	45	7200
	Software programmieren	104	16640
	Hardware konstruieren & fertigen	28	4480
	Dokumentation	20	3200
<b>Arbeitszeit: Matthias Siegenthaler</b>	Support	20	4800
	Vorlagen bereitstellen	10	2400
	Kontrolle	30	7200

#### Aufwand Produktion

Kategorie	Bauteile	Zeit [min]	Kosten tot [CHF]
<b>Produktion (Menge 20 Stück)</b>	Umplanung	60	80
	Einrichten & Abbau der Qualitätskontrolle total	15 - 20	20 - 24
	Prüfablauf der Qualitätskontrolle pro Stück	2-3	2.7 - 4
<b>Qualitätsfälle (Menge 20 Stück)</b>	Evaluation der fehlerhaften Produkte (Einrichten, Prüfen & Dokumentieren) total	110	300
	Führung einer Statistik	120	320
	Massnahmen definieren & evaluieren	330	880

#### Nutzen Produktion

Kategorie	Bauteile	Zeit [min]	Kosten tot [CHF]
<b>Produktion (Menge 20 Stück)</b>	Umplanung	30	40
	Inbetriebnahme & Abbau der Qualitätskontrolle total	10 - 15	13 - 24
	Prüfablauf der Qualitätskontrolle pro Stück	1-2	1.3 - 2.6
<b>Qualitätsfälle (Menge 20 Stück)</b>	Evaluation der fehlerhaften Produkte (Inbetriebnahme, Prüfen & Dokumentieren) total	11-17	30 - 45
	Führung einer Statistik	120	320
	Massnahmen definieren & evaluieren	200	533

## 8. Projektabschluss

### 8.1. Projektüberwachung

Durch die frühzeitige Vorbereitungsarbeiten liessen sich alle notwendigen Bauteile zeitgemäss beschaffen und die Einarbeitung optimal durchführen. Die Entscheidung, die Einarbeitung und Umsetzung in die Hardware und Firmware vor der Diplomzeit zu beginnen, brachte strategisch einen enormen Vorteil. Damit liess sich sicherstellen, dass ab Beginn der Diplomzeit alle Komponenten bestanden und funktionierten. Nämlich war die Einarbeitung, sowie Umsetzung in die Themen mit unerwarteten Hürden gespickt. Die Einarbeitung des Softwareprogrammes begann direkt mit der Diplomzeit. Erfreulicherweise ermöglichte das bestehende Fachwissen eine intuitive Umsetzung. Dieses Aufgabenpaket und Verbesserungen liessen sich grössten Teil eigenständig Umsetzung.

Zeitlich konnte der Strukturplan in den meisten Fällen eingehalten werden. Die Umsetzung bis hin zum Endzustand benötigte etwas mehr Zeit, und die Dokumentation wurde für den Wissenserhalt früher gestartet.

Kalenderwoche		<KW37	KW37	KW38	KW39	KW40	KW41	KW42	KW43	KW44	KE45	KW46
Initialisierung	Auftragsklärung	X										
	Zieldefinition	X										
Planung	Vorgehensmodell	X										
	Projektstrukturplan	X										
	Projektlaufplanung	X										
	Kommunikationsplanung	X										
	Risikoanalyse	X										
	Analyse	X										
Realisierung	Ideenfindung: Variantenbildung	X										
	Ideenfindung: Evaluation der Hauptvariante	X										
	Ausarbeitung: Konzept	X										
	Ausarbeitung: Konzept ausarbeiten	X	X	X	X	X	X					
	Ausarbeitung: Ausarbeitung kontrollieren	X	X	X	X	X	X					
	Ausarbeitung: Endergebnis der Umsetzung	X	X	X	X	X	X					
	Ausarbeitung: SWOT - Analyse						X	X				
	Ausarbeitung: Risikoanalyse						X	X				
	Ausarbeitung: Kosten-Nutzen-Analyse						X	X				
	Ausarbeitung: Projektüberwachung				X	X	X	X				
Abschluss	Evaluation der Zielerreichung						X	X				
	Reflexion Weg zum Ziel						X	X				
	Fazit / <u>Lessons learnt</u>							X	X			
	Ausblick							X	X			
	Kompetenzkarten							X	X			
	Dokumentation					X	X	X	X			
	Abgabe									X	X	
	Präsentation										X	X

Abbildung 30: Evaluation des Projektzeitplanes

## 8.2. Evaluation der Zielerreichung

Hier werden sämtliche Endergebnisse mit den Erfolgskriterien verglichen, um den Erfüllungsgrad zu ermitteln. Dabei ist die Zielerreichung kritisch zu hinterfragen und Abweichungen zu begründen.

### Spezifikation für Hardware

- ✓ Der zu messende Widerstandsbereich muss zwischen 1k-10k Ohm mit einer Genauigkeit von 5%.
- ✓ Der Schleiferstrom des Prüflings darf keinen Wert  $> 100\mu\text{A}$  annehmen
- ✓ Das Messgerät hat Verbindung und versorgt das Referenzmessgerät
- ✓ Speisung des DUT (Widerstandsbahn des Potentiometers) mit 3.3V DC

### Spezifikation der MCU-Firmware

- ✓ Es soll eine Kommunikation zum Referenzmessgerät implementiert werden
- ✓ Die Hardware muss mit dem virtual COM-Port alle Messdaten über den USB VCP zum PC übertragen
- ✓ Der Strom am DUT muss über einen Shunt-Widerstand und dessen Spannung gemessen werden, um damit den Widerstand zu berechnen
- ✓ Die geeignete Auflösung muss mindestens 10 Bit betragen

### Spezifikation der PC-Software

- ✓ Am maximalen und minimalen Widerstandswert liegt ein Offset. Dieser Offset ist größer gleich 0.
- ✓ Daten von einem Testaufbau via VCP empfangen, diese in einem Log hinterlegen und mit statistischen Angaben zu Produktionsangaben ergänzen.
- ✓ Nach dem erfolgreichen Abschliessen muss ein Marker auf abgeschlossen sein
- ✓ Die Ermittlung der unabhängigen Linearität wird aus der von einem Referenzpunkt abhängigen Linearität durch die PC-Software bewerkstelligt

### 8.3. Reflexion Weg zum Ziel

Hinderlich sind bei jeder neuen Aufgabe das fehlende Wissen und die fehlende Einschätzung, wie viel Zeit eine angenommen kleine Aufgabe beansprucht und wie viele Hürden entstehen. Die Hardware und die Firmware zu verstehen, benötigte die längste Einarbeitung. Während der Umsetzung benötigte ich intensive Betreuung, um die genaue Problemstellung zu verstehen, sowie eine entsprechende Lösung zu erarbeiten. Mit dem Start der Diplomzeit begann ich die Software zu entwickeln. Erfreulicherweise war diese Umsetzung intuitiver, was eine selbstständige Arbeitsweise ermöglichte. Ich habe damit gelernt, dass das schulische Wissen für die Softwareentwicklung einfacher anwendbar ist, wie die Hardwareentwicklung.

Schlussendlich ermöglichte mir die frühzeitige Einarbeitung, mich genügend lang in die Materie einzuarbeiten und die richtigen Komponenten zu beschaffen. Die stetige Unterstützung vom Projektleiter hat mir wiederholt Fragen beantwortet und auf Fehler hingewiesen, welche mich daran hinderten, weiterzukommen. Bei der Fehleranalyse durfte ich das Handwerk des Projektleiters miterleben und meines entsprechend verfeinern. Die wiederholten Statusbesprechungen halfen sehr, um den aktuellen Stand genauer zu verstehen.

### 8.4. Lessons learnt

Diese Projektarbeit hat eines meiner fachlichen Ziele erfüllt. Ich durfte den kompletten Ablauf von Projektdefinition in der Elektronik, bis hin zur finalen Umsetzung durchlaufen. Mit dieser Diplomarbeit erhielt ich ein globales Verständnis, wie ein komplettes CP-Prüfsystem funktioniert und welche Bauteile es benötigt. Interessant fand ich, wie hoch die Bereitschaft sein muss, sich stets in ein neues Tool einzuarbeiten, und wie schwer es ist, eine «einfache» Prüfung als Quellcode sicher umzusetzen.

Es war eine sehr lehrreiche Diplomarbeit und ich genoss jeden Schritt. Extrem dankbar bin ich für die Unterstützung der Firma GT-Joystick. Sie haben mich selbstständig arbeiten lassen und gaben mir die Freiheit, alle verfügbare Ressourcen zu nutzen, um diese Diplomarbeit zu realisieren.

### 8.5. Ausblicke

Die CP-Prüfmaschine funktioniert und erfüllt alle Ziele. Optimieren lässt sich die Bedienung. Optimaler wäre, wenn ein Elektromotor den Glasmassstab mit konstantem Vorschub bedient, damit die Linearität stets gleichmässig geprüft wird.

In der Prüfsoftware öffnet sich ein Pop-Fenster, worauf Mindestwerte beschrieben sind. Es muss kontrolliert werden, ob diese Werte nicht gewisse Produkte auslöst. Ansonsten kann dieses Tool alle linearen Potentiometertypen prüfen.

Die CP-Prüfmaschine muss mit einer grösseren Menge überprüft werden. Die Umsetzung und das Testen erfolgte nur mit wenigen DUTs. Sichergestellt werden muss, dass die Linearitätsprüfung den Ausschuss nicht ins Unermessliche treibt.

## 9. 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.

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

<Vorname / Name>

**Sebastian Bockarie**

Unterschriften:



Datum/Ort:

**03.11.2024, Aarburg**

## 10. Verzeichnisse

### 10.1. Abkürzungsverzeichnis

<i>COM-Port</i> .....	<i>Communication Port</i>
<i>CP</i> .....	<i>Conductive plastics</i>
<i>DUT</i> .....	<i>Device under test</i>
<i>IDE</i> .....	<i>Integrierte Entwicklungsumgebung</i>
<i>PCBA</i> .....	<i>Printed Circuit Board Assembly (Leiterplattenmontage)</i>
<i>VCP</i> .....	<i>Virtual ComPort</i>

## 11. Anhang

### 11.1. Auswertung der Technologie

Präferenzmatrix Projekt "Technologie"	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	Anzahl
	Kosten	Bestehende Infrastruktur	Beschaffungssicherheit	Anwenderfreundlichkeit	Vorhandenes Knowhow	Effiziente Einarbeitung	Unterstützungsmöglichkeiten	Lebensdauer	Verarbeitung	Inbetriebnahme	Geringer Aufwand	Kompatibilität	Präzision	
a Kosten														4
b Bestehende Infrastruktur														5
c Beschaffungssicherheit														12
d Anwenderfreundlichkeit														1
e Vorhandenes Knowhow														7
f Effiziente Einarbeitung														4
g Unterstützungsmöglichkeiten														5
h Lebensdauer														11
i Verarbeitung														2
j Inbetriebnahme														3
k Geringer Aufwand														7
l Kompatibilität														7
m Präzision														8
<b>Nennungen</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>76</b>
<b>Rang</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	
<b>Prozent</b>	5.26%	6.58%	15.79%	1.32%	9.21%	5.26%	6.58%	14.47%	2.63%	3.95%	9.21%	9.21%	10.53%	100.00%

Abbildung 31: Präferenzmatrix mit Kriterien, um die Technologie zu bewerten

Nutzwertanalyse Diplomarbeit		Variante 1		Variante 2		Variante 3	
		Glasmassstab		Hall		Präzisionspotentiometer	
Kriterien	Gewichtung	TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN
Kosten	5.26	2	10.52	1	5.26	2	10.52
Bestehende Infrastruktur	6.58	1	6.58	3	19.74	1	6.58
Beschaffungssicherheit	15.79	3	47.37	2	31.58	2	31.58
Anwenderfreundlichkeit	1.32	2	2.64	1	1.32	3	3.96
Vorhandenes Knowhow	9.21	2	2.64	3	27.63	3	27.63
Effiziente Einarbeitung	5.26	2	18.42	3	15.78	3	15.78
Unterstützungsmöglichkeiten	6.58	3	15.78	3	19.74	3	19.74
Lebensdauer	14.47	3	19.74	3	43.41	2	28.94
Verarbeitung	2.63	3	43.41	2	5.26	3	7.89
Inbetriebnahme	3.95	3	7.89	3	11.85	3	11.85
Geringer Aufwand	9.21	2	7.9	1	9.21	3	27.63
Kompatibilität	9.21	3	27.63	2	18.42	3	27.63
Präzision	10.53	3	27.63	1	10.53	3	31.59
<b>Total</b>			<b>238.15</b>		<b>219.73</b>		<b>251.32</b>

Abbildung 32: Nutzwertanalyse, um die Technologie zu bewerten

## 11.2. Auswertung der Hauptvariante

### 11.2.1. Referenzmessgerät

Präferenzmatrix Projekt "Auswertung Referenz"		a	b	c	d	e	f	g	h	i	Anzahl
		Kosten	Messbereich	Messgenauigkeit	Auflösung	Wiederholgenauigkeit	Verstellgeschwindigkeit	Aufwand Datenverarbeitung	Signalrauschen	Lebensdauer	
a	Kosten		b	c	d	e	f	g	h	i	0
b	Messbereich			b	b	b	b	b	b	b	8
c	Messgenauigkeit				c	c	c	c	h	c	6
d	Auflösung					e	d	d	h	d	4
e	Wiederholgenauigkeit						e	e	h	e	5
f	Verstellgeschwindigkeit							f	h	i	2
g	Aufwand Datenverarbeitung								h	i	1
h	Signalrauschen									h	7
i	Lebensdauer										3
<b>Nennungen</b>		<b>0</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>36</b>
<b>Rang</b>		<b>9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	
<b>Prozent</b>		<b>0.00%</b>	<b>22.22%</b>	<b>16.67%</b>	<b>11.11%</b>	<b>13.89%</b>	<b>5.56%</b>	<b>2.78%</b>	<b>19.44%</b>	<b>8.33%</b>	<b>100.00%</b>

Abbildung 33: Präferenzmatrix mit Kriterien, um Referenzmessgerät zu bewerten

Nutzwertanalyse Referenzmessgerät		Variante 1		Variante 2		Variante 3	
		Glasmassstab inkremental		Glasmassstab absolut		Präzisionspotentiometer	
Kriterien	Gewichtung	TN	GTN	TN	GTN	TN	GTN
Kosten	0	1	0	3	0	3	0
Messbereich	22.22	3	66.66	3	66.66	2	44.44
Messgenauigkeit	16.67	2	33.34	3	50.01	2	33.34
Auflösung	11.11	3	33.33	3	33.33	3	33.33
Wiederholgenauigkeit	13.89	3	41.67	3	41.67	2	27.78
Verstellgeschwindigkeit	5.56	1	5.56	1	5.56	2	11.12
Aufwand Datenverarbeitung	2.78	3	8.34	2	5.56	3	8.34
Lebensdauer	8.33	3	24.99	3	24.99	2	16.66
Signalrauschen	19.44	3	58.32	3	58.32	2	38.88
<b>Total</b>			<b>272.21</b>		<b>286.1</b>		<b>213.89</b>
<b>Favorisierte Variante:</b>	Variante 2						
<b>Auswertung und Begründung:</b>							

Abbildung 34: Nutzwertanalyse, um das Referenzmessgerät zu bewerten

**11.2.2. Datenverarbeitung**

Präferenzmatrix Projekt "Auswertung Datenver."		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	Anzahl
		Kosten	Messbereich	Messgenauigkeit	Auflösung	Aufwand Datenverarbeitung	Erweiterungsaufwand	Bedienung	Bestehende Infrastruktur	Vorhandenes Knowhow	Kompabilität	Inbetriebnahme	
a	Kosten		b	c	d	a	a	a	h	i	j	a	4
b	Messbereich			b	b	b	b	b	b	b	b	b	10
c	Messgenauigkeit				c	c	c	c	c	c	c	c	9
d	Auflösung					d	d	d	d	d	d	d	8
e	Aufwand Datenverarbeitung						e	e	h	i	e	k	3
f	Erweiterungsaufwand							g	h	i	j	k	0
g	Bedienung								h	i	j	k	1
h	Bestehende Infrastruktur									i	h	h	6
i	Vorhandenes Knowhow										i	i	7
j	Kompabilität											j	4
k	Inbetriebnahme												3
<b>Nennungen</b>		4	10	9	8	3	0	1	6	7	4	3	55
<b>Rang</b>		6	1	2	3	8	11	10	5	4	6	8	
<b>Prozent</b>		7.27%	18.18%	16.36%	14.55%	5.45%	0.00%	1.82%	10.91%	12.73%	7.27%	5.45%	87.27%

Abbildung 35: Präferenzmatrix mit Kriterien, um die Software für die Datenverarbeitung zu bewerten

Nutzwertanalyse Datenverarbeitung		Variante 1		Variante 2	
		GT-Joystick Messsystem		LabView Hardware + Software	
Kriterien	Gewichtung	TN	GTN	TN	GTN
Kosten	7.27	3	21.81	1	7.27
Messbereich	18.18	3	54.54	3	54.54
Messgenauigkeit	16.36	3	49.08	3	49.08
Auflösung	15.55	3	46.65	3	46.65
Aufwand Datenverarbeitung	5.54	3	16.62	1	5.54
Erweiterungsaufwand	0	3	0	1	0
Bedienung	1.82	3	5.46	1	1.82
Bestehende Infrastruktur	10.91	3	32.73	2	21.82
Vorhandenes Knowhow	12.73	3	38.19	1	12.73
Kompabilität	7.27	3	21.81	1	7.27
Inbetriebnahme	5.54	3	16.62	1	5.54
<b>Total</b>			303.51		212.26
<b>Favorisierte Variante:</b>	Variante 1				
<b>Auswertung und Begründung:</b>					

Abbildung 36: Nutzwertanalyse, um die Software für die Datenverarbeitung zu bewerten

### 11.3. Projektstatusberichte

**Projekt: Prüfeinrichtung**

**Stautsbericht: 1/ KW37**

<b>Auftraggeber</b> Alex Grete <b>Betreuer/ Projektleiter</b> Matthias Siegenthaler, Sebastian Bockarie		<b>Projektziele</b> Eine funktionierende CP-Prüfeinrichtung fertigen, womit eine Qualitätsprüfung durchgeführt wird.		<b>Verteiler</b> • Matthias Siegenthaler • Josef Räber	
<b>Gesamt- beurteilung</b>	<b>Projektverlauf</b> 	<b>Projektklima</b> 	<b>Termine</b> 	<b>Risiken</b> 	<b>Ressourcen</b> 
<b>Tendenz</b>	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
<b>Aktueller Projektstand</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziele mit Endergebnissen und Erfolgskriterien konkretisiert</li> <li>• Projektstruktur- sowie Projektablaufplan begonnen</li> <li>• Umsetzung der Hardware &amp; Firmware                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionierendes Messmittel (Glasmassstab)</li> <li>• Funktionierender Microcontroller, womit der Strom und Widerstand gemessen wird</li> <li>• Der Glasmassstab, der Widerstandswert und der Strom lässt sich positionsgenau an Putty ausgeben und auf der CMD anzeigen</li> </ul> </li> </ul>			<b>Was läuft gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Zusammenarbeit mit Herrn Siegenthaler ist gewinnbringend</li> <li>• Unterstützt selbstständiges Arbeiten</li> <li>• Unterstützt bei fehlendem Lösungsansatz</li> </ul> <b>Was läuft nicht gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Aufwand für jedes Aufgabenpaket lässt sich schwer einschätzen</li> </ul>		
<b>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektstruktur- sowie Projektablaufplan fertigstellen</li> <li>• Dokumentieren allfälliger aufgetretener Probleme</li> <li>• Einarbeitung in die Umsetzung der Prüfsoftware für die Berechnung der Linearität</li> </ul>					

**Projekt: Prüfeinrichtung**

**Stautsbericht: 2/ KW38**

<b>Auftraggeber</b> Alex Grete <b>Betreuer/ Projektleiter</b> Matthias Siegenthaler, Sebastian Bockarie		<b>Projektziele</b> Eine funktionierende CP-Prüfeinrichtung fertigen, womit eine Qualitätsprüfung durchgeführt wird.		<b>Verteiler</b> • Matthias Siegenthaler • Josef Räber	
<b>Gesamt- beurteilung</b>	<b>Projektverlauf</b> 	<b>Projektklima</b> 	<b>Termine</b> 	<b>Risiken</b> 	<b>Ressourcen</b> 
<b>Tendenz</b>	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
<b>Aktueller Projektstand</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenübertragung über USB-Schnittstelle an Laptop erfolgreich</li> <li>• Verarbeiten des Messdaten                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spannungsskala des Potentiometers</li> <li>• Wert des Glasmassstabs</li> <li>• Widerstandswert</li> </ul> </li> <li>• Grafische Darstellung der Ideallinie begonnen</li> </ul>			<b>Was läuft gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Konzepte sind in Visual Studio intuitiv Umsetzbar</li> </ul> <b>Was läuft nicht gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktuell keine Mängel</li> </ul>		
<b>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektstruktur- sowie Projektablaufplan fertigstellen</li> <li>• Messdatenverarbeitung beginnt mit einem Tastendruck und mit dem Beenden soll die Ideallinie grafisch ersichtlich sein</li> <li>• Nullung des Glasmassstabwertes soll mit dem Start erfolgen</li> </ul>					

**Projekt: Prüfeinrichtung**

**Stautsbericht: 3/ KW39**

<b>Auftraggeber</b> Alex Grete <b>Betreuer/ Projektleiter</b> Matthias Siegenthaler, Sebastian Bockarie	<b>Projektziele</b> Eine funktionierende CP-Prüfeinrichtung fertigen, womit eine Qualitätsprüfung durchgeführt wird.	<b>Verteiler</b> • Matthias Siegenthaler • Josef Räber			
<b>Gesamtbeurteilung</b>	<b>Projektverlauf</b> ■ ■ ■	<b>Projektklima</b> ■ ■ ■	<b>Termine</b> ■ ■ ■	<b>Risiken</b> ■ ■ ■	<b>Ressourcen</b> ■ ■ ■
<b>Tendenz</b>	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
<b>Aktueller Projektstand</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Messdatenverarbeitung beginnt mit einem Tastendruck und mit dem Beenden soll die Ideallinie grafisch ersichtlich sein</li> <li>Nullung des Glasmassstabwertes soll mit dem Start erfolgen</li> <li>Darstellung der Analogwerte in Abhängigkeit des Glasmassstabes</li> <li>Projektstruktur- sowie Projektablaufplan fertigstellen</li> </ul>			<b>Was läuft gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Im Moment funktioniert die Umsetzung alle Aufgaben reibungslos</li> </ul> <b>Was läuft nicht gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nichts auszusetzen</li> </ul>		
<b>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Berechnung der Abweichung zur Ideallinie</li> <li>Statusbesprechung mit Projektleiter, um allfällige Optimierungen vorzunehmen und die nächsten Schritte zu definieren</li> </ul>					

**Projekt: Prüfeinrichtung**

**Stautsbericht: 4/ KW40**

<b>Auftraggeber</b> Alex Grete <b>Betreuer/ Projektleiter</b> Matthias Siegenthaler, Sebastian Bockarie	<b>Projektziele</b> Eine funktionierende CP-Prüfeinrichtung fertigen, womit eine Qualitätsprüfung durchgeführt wird.	<b>Verteiler</b> • Matthias Siegenthaler • Josef Räber			
<b>Gesamtbeurteilung</b>	<b>Projektverlauf</b> ■ ■ ■	<b>Projektklima</b> ■ ■ ■	<b>Termine</b> ■ ■ ■	<b>Risiken</b> ■ ■ ■	<b>Ressourcen</b> ■ ■ ■
<b>Tendenz</b>	↗	⇒	↗	⇒	⇒
<b>Aktueller Projektstand</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Software: Berechnung der Linearität</li> <li>Erste Optimierung an der Software <ul style="list-style-type: none"> <li>Erstellung der Ideallinie</li> <li>Berechnung des Linearenfehlers</li> </ul> </li> <li>Statusbesprechung mit Projektleiter, um allfällige Optimierungen vorzunehmen und die nächsten Schritte zu definieren</li> </ul>			<b>Was läuft gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Im Moment funktioniert die Umsetzung aller Aufgaben reibungslos</li> </ul> <b>Was läuft nicht gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nichts auszusetzen</li> </ul>		
<b>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Neustartvorgang: Messung mit neuem Potentiometer setzt kompletten Test in die Ausgangslage</li> <li>Mit Projektleiter bestehende Software produktionstauglich machen</li> </ul>					

**Projekt: Prüfeinrichtung**

**Stautsbericht: 5/ KW41**

<b>Auftraggeber</b> Alex Grete <b>Betreuer/ Projektleiter</b> Matthias Siegenthaler, Sebastian Bockarie	<b>Projektziele</b> Eine funktionierende CP-Prüfeinrichtung fertigen, womit eine Qualitätsprüfung durchgeführt wird.	<b>Verteiler</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Matthias Siegenthaler</li> <li>Josef Räber</li> </ul>		
<b>Gesamtbeurteilung</b> Projektverlauf: Tendenz:	<b>Projektklima</b>  Tendenz:	<b>Termine</b>  Tendenz:	<b>Risiken</b>  Tendenz:	<b>Ressourcen</b>  Tendenz:
<b>Aktueller Projektstand</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Neustartvorgang: Messung mit neuem Potentiometer setzt kompletten Test in die Ausgangslage</li> <li>Mit Projektleiter bestehende Software produktionsstauglich machen – Erste Einarbeitung</li> </ul>		<b>Was läuft gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Im Moment funktioniert die Umsetzung aller Aufgaben reibungslos</li> </ul> <b>Was läuft nicht gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nichts auszusetzen</li> </ul>		
<b>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Beginn der Dokumentation</li> <li>Bereinigung von Unschönheiten an der mechanischen Vorrichtung &amp; Software</li> <li>Einbindung der Produktionstauglichkeit &amp; Beginn Evaluation des Experten</li> </ul> <p><small>Projekt-Statusbericht: Sebastian Bockarie</small></p>				

**Projekt: Prüfeinrichtung**

**Stautsbericht: 6/ KW42**

<b>Auftraggeber</b> Alex Grete <b>Betreuer/ Projektleiter</b> Matthias Siegenthaler, Sebastian Bockarie	<b>Projektziele</b> Eine funktionierende CP-Prüfeinrichtung fertigen, womit eine Qualitätsprüfung durchgeführt wird.	<b>Verteiler</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Matthias Siegenthaler</li> <li>Josef Räber</li> </ul>		
<b>Gesamtbeurteilung</b> Projektverlauf: Tendenz:	<b>Projektklima</b>  Tendenz:	<b>Termine</b>  Tendenz:	<b>Risiken</b>  Tendenz:	<b>Ressourcen</b>  Tendenz:
<b>Aktueller Projektstand</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Beginn der Dokumentation – erste Version fertigstellt</li> <li>Bereinigung von Unschönheiten an der Software</li> <li>Einbindung der Produktionstauglichkeit &amp; Beginn Evaluation des Experten</li> </ul>		<b>Was läuft gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Im Moment funktioniert die Umsetzung aller Aufgaben reibungslos</li> </ul> <b>Was läuft nicht gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nichts auszusetzen</li> </ul>		
<b>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentation erstellt und bereit für die erste Kontrolle des Projektleiters</li> <li>Dokument nach Bedarf überarbeiten</li> <li>Messprotokoll fertigstellen</li> <li>Bereinigung von Unschönheiten an der mechanischen Vorrichtung</li> <li>Auswertung des Expertenfeedbacks</li> </ul> <p><small>Projekt-Statusbericht: Sebastian Bockarie</small></p>				

**Projekt: Prüfeinrichtung**

**Stautsbericht: 7/ KW43**

<b>Auftraggeber</b> Alex Grete <b>Betreuer/ Projektleiter</b> Matthias Siegenthaler, Sebastian Bockarie	<b>Projektziele</b> Eine funktionierende CP-Prüfeinrichtung fertigen, womit eine Qualitätsprüfung durchgeführt wird.	<b>Verteiler</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matthias Siegenthaler</li> <li>• Josef Räber</li> </ul>
--	---	--

<b>Gesamtbeurteilung</b>	<b>Projektverlauf</b>	<b>Projektklima</b>	<b>Termine</b>	<b>Risiken</b>	<b>Ressourcen</b>
<b>Tendenz</b>					

<b>Aktueller Projektstand</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokumentation erstellt und bereit für die erste Kontrolle des Projektleiters</li> <li>• Dokument nach Bedarf überarbeiten</li> <li>• Messprotokoll fertigstellen</li> <li>• Bereinigung von Unschönheiten an der mechanischen Vorrichtung</li> <li>• Auswertung des Expertenfeedbacks</li> </ul>
---

<b>Was läuft gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Moment funktioniert die Umsetzung aller Aufgaben reibungslos</li> </ul> <b>Was läuft nicht gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nichts auszusetzen</li> </ul>
--

<b>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Montage der Elektronik am Prüfgerät</li> <li>• Diplomarbeit entgegenlesen</li> </ul>
--

Projekt-Statusbericht: Sebastian Bockarie

**Projekt: Prüfeinrichtung**

**Stautsbericht: 8/ KW44**

<b>Auftraggeber</b> Alex Grete <b>Betreuer/ Projektleiter</b> Matthias Siegenthaler, Sebastian Bockarie	<b>Projektziele</b> Eine funktionierende CP-Prüfeinrichtung fertigen, womit eine Qualitätsprüfung durchgeführt wird.	<b>Verteiler</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matthias Siegenthaler</li> <li>• Josef Räber</li> </ul>
--	---	--

<b>Gesamtbeurteilung</b>	<b>Projektverlauf</b>	<b>Projektklima</b>	<b>Termine</b>	<b>Risiken</b>	<b>Ressourcen</b>
<b>Tendenz</b>					

<b>Aktueller Projektstand</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Montage der Elektronik am Prüfgerät</li> <li>• Diplomarbeit entgegenlesen</li> </ul>
---

<b>Was läuft gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Moment funktioniert die Umsetzung aller Aufgaben reibungslos</li> </ul> <b>Was läuft nicht gut?</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nichts auszusetzen</li> </ul>
--

<b>Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abgabe</li> </ul>
---

Projekt-Statusbericht: Sebastian Bockarie