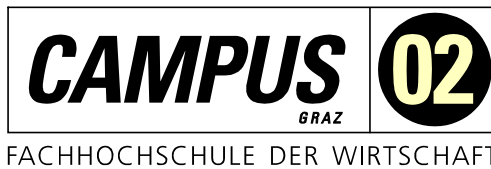


Masterarbeit

PLATINEN-PRÜFGERÄT

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Steven Gülli, BSc

1710322004

betreut und begutachtet von
DI Dr. techn. Manfred Pauritsch

Graz, im Dezember 2018

.....
Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....

Unterschrift

DANKSAGUNG

Meiner Lebensgefährtin, meiner Familie, Kolleginnen und Kollegen und meinem Betreuer möchte ich für die moralische Unterstützung und für Rat und Tat danken.

KURZFASSUNG

Es werden in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung des Campus02 verschiedenste Platinen entwickelt und produziert. Die Platinen müssen nach der Fertigung programmiert werden. Dies gestaltet sich als sehr umständlich und zeitraubend, da es keine Möglichkeit gibt, die einzelnen Platinen zu fixieren und in weiterer Folge zu programmieren sowie zu testen. Ziel dieser Arbeit ist es, ein Prüfgerät zu entwickeln, welches es ermöglicht, verschiedenste Platinenarten und -formen zu fixieren sowie diese anschließend zu programmieren und anhand unterschiedlicher Parameter zu überprüfen. Für die Konstruktion des Prüfgerätes wird das Programm „SOLIDWORKS“ verwendet. Es wird in weiterer Folge ein Konzept erarbeitet, welches es ermöglicht, verschiedenste Platinenformen aufzunehmen und zu testen. Besondere Aufmerksamkeit wird zugleich der Auswahl des Kontaktierungsverfahrens gewidmet, da dies ein Schlüsselfaktor im Sektor der Platinen-Prüfung ist. Es stellte sich nach einer Analyse der gängigsten Methoden heraus, dass eine Kontaktierung mittels Federkontaktstiften am besten für diese Anwendung geeignet ist. In weiterer Folge wird ein Programm mit „LabVIEW“ erzeugt, welches es erlaubt, Strom- und Spannungsmessungen der zu prüfenden Platine durchzuführen. Das Weiter wird das Programm zur Bedienung des Prüfgerätes verwendet. Im Anschluss werden weitere Ausbaustufen und Erweiterungspläne für das Prüfgerät erläutert, die sich auf die bereits gesammelten Erfahrungen der ersten, mit dem Prüfgerät durchgeführten Testaufbauten beziehen.

ABSTRACT

Various boards are being developed and produced in the research and development department of Campus02. The boards must be programmed after production. This is very laborious and time consuming, since there is no way to fasten the individual boards and to subsequently program and test them. The aim of this work is to develop a test device that allows different types of boards to fasten types and shapes, and then to program them and check them using various parameters. For the construction of the tester the program SOLIDWORKS is used. Hence a concept is developed, which makes it possible to record and test various forms of boards. Special attention is also given to the selection of the contacting method, as this is a key factor in the board testing sector. After the analysis of the most common methods, it turned out that contacting by means of spring contact pins is best suited for this application. Consequently, a program with LabVIEW is generated, which allows to perform current and voltage measurements, and the operation of the test device takes over. Subsequently, further expansion stages and expansion plans for the testing device are explained, which refer to the experience already gained from the first test setups performed with the test device.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung / Problemstellung	2
2.1	Definition und Erläuterung des Umfelds.....	2
2.2	Aufgabenstellung	2
2.3	Zielsetzung	2
3	Hochfrequenztechnik.....	3
3.1	Antennen	3
3.2	Reflexion	3
3.3	Frequenzbereiche	4
3.4	Elektromagnetische Verträglichkeit.....	5
3.4.1	Schirmungsmaßnahmen	5
4	RFID-Systeme	8
4.1	Aufbau und Funktionsweise	8
4.1.1	Vor- und Nachteile gegenüber anderen ID-Verfahren.....	9
4.1.2	Einteilung von RFID-Frequenzen.....	10
4.2	Aufbau des zu messenden Platinentyps	11
4.2.1	CLRC663	11
4.2.2	LPC11U68JBD48.....	11
4.2.3	Platinen-Programmierung	13
5	Platinen-Kontaktierung	14
5.1	Leiterplatten-Überprüfung	14
5.2	Betrachtung gängiger Messverfahren	14
5.2.1	Version 1: Vollautomatisierte Überprüfung der PCB	14
5.2.2	Version 2: Mechanisches Einspannen und Kontaktieren der PCB.....	15
5.2.3	Version 3: Verwendung einer Adapterplatine	16
5.2.4	Version 4: Löten der einzelnen Verbindungen zur Adapterplatine	16
5.3	Auswahl des Kontaktierungsverfahrens	17
5.3.1	Festlegung der Bewertungskriterien	17
5.3.2	Bewertung der Kontaktierungsverfahren.....	18
6	Mechanischer Aufbau.....	19
6.1	Festlegung der Anforderungen an die Konstruktion.....	19
6.2	Erstellung von Konzepten	19
6.2.1	Konzept A: Schienensystem	20
6.2.2	Konzept B: Nadelbett.....	22
6.2.3	Konzept C: Druckplatte	24
6.3	Auswahl eines Konzepts	27
6.3.1	Betrachtung des ESD-Verhaltens	29
7	Federkontakte	30
7.1	Aufbau und Eigenschaften von Federkontaktstiften.....	30

7.2	Auswahl des Federkontaktstiftes	31
7.3	Messungen mit Federkontaktstiften	32
8	Elektrischer Aufbau	33
8.1	Konzeptfindung	33
8.1.1	Konzept 1: Adapterplatine	33
8.1.1.1	Schematische Darstellung des Aufbaus	33
8.1.1.2	Ausarbeitung von Kernelementen	34
8.1.1.3	Adapterplatine	35
8.1.2	Konzept 2: Softwaregesteuerte Relaisschaltung	36
8.1.2.1	Konzeptausarbeitung	36
8.1.2.2	Berechnung der Transistorschaltung	37
8.1.2.3	Stromlaufplan der Relaisschaltung	40
8.1.2.4	Verwendete Hardware von <i>National Instruments</i>	41
8.2	Konzeptauswahl	42
8.2.1	Auswahl eines der erarbeiteten Konzepte	43
9	Software	44
9.1	LabVIEW	44
9.1.1	Aufgabenstellung	44
9.1.1.1	Aufnahme und Ausgabe des aufgenommenen Stroms der Prüfplatine	44
9.1.1.2	Aufnahme der an der Prüfplatine anliegenden Spannung	45
9.1.1.3	Booten der Prüfplatine	45
9.1.1.4	Schalten der Spannungsversorgung	45
9.1.2	Programm	46
9.1.2.1	Frontpanel	46
9.1.2.2	Blockdiagramm	48
10	Zusammenbau	53
10.1	Fertigung der einzelnen Konstruktionsbauteile	53
10.2	Beschaffung der eingekauften Komponenten	53
10.2.1	Mechanische Bauteile	53
10.2.1.1	Federkontaktstifte & Montagehülsen	53
10.2.1.2	Kniehebel	55
10.2.1.3	Anschlussbuchsen	56
10.2.1.4	D-Sub-Steckverbinder	56
10.2.2	Elektronische Bauteile	57
10.2.2.1	Relais-Transistor	57
10.3	Zusammenbau & Test der Mechanik	58
11	Prüfvorgang	61
11.1	Aufbau des Prüfgerätes	61
11.2	Inbetriebnahme	62
11.2.1	Mechanik	62
11.2.2	Elektrik und Software	62
11.2.2.1	Gut-Test	62

11.2.2.2	Schlecht-Test.....	63
11.3	Start der ersten Überprüfung	63
11.3.1	Programmierung der ersten Platine	63
11.3.2	Funktion der Antennenausgänge der Platine	67
11.3.3	Auswertung und Erkenntnisse des ersten Tests	69
12	Resümee	70
	Literaturverzeichnis	71
	Abbildungsverzeichnis.....	72
	Tabellenverzeichnis.....	75
	Abkürzungsverzeichnis.....	76

1 EINLEITUNG

Es werden im Zuge der Forschung und Entwicklung am Campus 02 verschiedenste Platinen in Kleinserien produziert. Diese werden nach der Fertigung programmiert und auf ihre Funktion hin geprüft. Die Funktionsprüfung beinhaltet eine optische Prüfung und einen reinen Funktionstest. Hierfür müssen diverse Laborgeräte an die Platine angeschlossen werden. Die elektrische Verbindung zur Platine wird hierbei über das Anlöten von Drähten oder einem eigens gebauten Adapter realisiert. In weiterer Folge müssen die Lötstellen nach dem Prüfvorgang wieder gereinigt werden. Die gesamte Nachbereitung nimmt hierbei einen großen Anteil der verfügbaren Zeit in Anspruch. Aufgrund des stetigen Wachstums und des damit einhergehenden ansteigenden Auftragspensum ist es kaum noch möglich die geforderten Stückzahlen fristgerecht zu fertigen.

Genau an diesem Punkt setzt diese Masterarbeit an, denn es wird ein Prüfgerät konzipiert, welches es ermöglicht, die zu prüfende Platine schneller zu programmieren und in weiterer Folge zu testen. Die Überprüfung soll dabei die bisher durchgeführte Funktionsprüfung beibehalten, damit weitere Fehlerquellen erkannt werden und um eine Strom- und Spannungsmessung erweitert werden. Hierfür muss ein mechanisches Konzept erarbeitet werden, welches den umfangreichen Anforderungen eines R&D – Labors gerecht wird und eine schnellere Abarbeitung der Auftragslast ermöglicht. Um die zu testenden Platinen schnell mit dem Prüfgerät zu verbinden, wird eine lösbare elektrische Verbindung mit Federkontakten hergestellt. Der Aufbau des Prüfgerätes wird dabei möglichst flexibel sein, um mit wenig Aufwand bzw. möglichst ohne Umbauarbeiten mehrere Platinentypen testen zu können. Zur Sammlung von Messdaten werden diverse Messgeräte von *National Instruments* eingesetzt. Für die Bedienung des Prüfgeräts, wird ein Programm mit LabVIEW geschrieben, welches dem Bediener die Messdaten anzeigt und es ihm erlaubt, diverse Aspekte des Prüfgerätes zu kontrollieren.

Der Sollzustand dieser Arbeit enthält ein funktionsfähiges Prüfgerät für das Labor des Campus 02, mit dem es möglich ist, 100-Prozent-Überprüfungen von Kleinserien durchzuführen. Des Weiteren soll mit diesem Prüfgerät die Möglichkeit gegeben werden, verschiedenste Platinentypen auf ihre Funktion hin zu testen. Über ein Interface werden die aufgenommenen Messdaten angezeigt. Im theoretischen Teil der Masterarbeit werden die in der Industrie gängigen Prüfvarianten aufgearbeitet und die besten Ansätze für das Prüfgerät übernommen. In weiterer Folge werden notwendige Grundlagen der Hochfrequenztechnik untersucht und auf deren Auswirkung auf das Prüfgerät dargestellt. Im praktischen Teil werden die zuvor ausgearbeiteten Konzepte umgesetzt und der Bau des Prüfgerätes dargestellt. Anschließend, nach Fertigung des Prüfgeräts und der dazu erstellten Software, werden Tests anhand einer zuvor definierten Platine durchgeführt.

2 AUFGABENSTELLUNG / PROBLEMSTELLUNG

In Kapitel 2 wird die vorherrschende Problemstellung ausgearbeitet, aus den daraus resultierenden Aufgabenstellungen wird eine Zielsetzung abgeleitet.

2.1 Definition und Erläuterung des Umfelds

Im R&D Labor werden im Zuge der Forschung und Entwicklung Kleinserien von diversen Platinentypen produziert. Anschließend an die Fertigung werden die Platinen programmiert und in weiterer Folge ihre Funktion überprüft. Die Platinen werden mit Hilfe von selbstgebauten Adaptern getestet. Die Überprüfung gestaltet sich aus einer optischen Prüfung, sowie einem Funktionstest. Das Programmieren und Überprüfen der gefertigten Platinen nehmen den Großteil der benötigten Zeit in Anspruch. Aufgrund des stetig wachsenden Auftragspensums und der damit einhergehenden hohen Stückzahl, ist es derzeit kaum noch möglich, die gefertigten Platinen fristgerecht zu fertigen.

2.2 Aufgabenstellung

Es wird eine Vorrichtung benötigt, welche es ermöglicht, Platinen schneller zu programmieren und zu überprüfen. Hierfür muss ein mechanisches, sowie ein elektrisches Konzept erarbeitet werden, welches den Ansprüchen eines R&D Labors gerecht wird, und dabei hilft, das Auftragspensum fristgerecht zu bewältigen. Die Überprüfung soll die bereits bestehende Funktionsprüfung beinhalten und um weitere Fehlerquellen abzudecken, um eine Strom- und Spannungsmessung erweitert werden.

2.3 Zielsetzung

Die Zielsetzung beinhaltet die Planung und Fertigung eines Prüfgerätes, welches es ermöglicht diverse Platinen schnell zu programmieren und in weiterer Folge zu testen. Im Zuge dieser Arbeit soll ein gesamter Testdurchlauf anhand einer häufig produzierten Platine durchgeführt werden.

3 HOCHFREQUENZTECHNIK

3.1 Antennen

Antennen, als Empfänger oder als Quelle von elektromagnetischer Strahlung, weisen je nach Frequenz und Anwendungsbereich verschiedene Größen sowie Formen auf. Sie werden auch als „Wellentypwandler“ bezeichnet, denn eine Sendeantenne soll leitungsgeführte elektromagnetische Wellen so umformen, dass sie sich im freien Raum ausbreiten können. Empfangsantennen hingegen nehmen Energie aus dem freien Raum auf und wandeln diese in leitungsgeführte elektromagnetische Wellen um. Bei der Umformung der Wellen ist darauf zu achten, dass die Verlustleistung sehr gering gehalten wird und keine Reflexionen entstehen. Jede Antenne kann als Empfangs- und Sendeantenne genutzt werden. Die Auswahl eines Antennentyps ist abhängig des jeweils speziellen Anwendungsfalles. Abgesehen von den benötigten Strahlungseigenschaften spielen physische Eigenschaften wie Gewicht, Volumen und mechanische Stabilität eine zentrale Rolle bei der Auswahl des Antennentyps. Um effektiv arbeiten zu können, müssen Antennen in einer Größenordnung einer halben Wellenlänge vorliegen. Im niederfrequenten Bereich des elektromagnetischen Spektrums kommen daher nur lineare Antennen in Betracht, denn sie bestehen aus Drähten und Stäben, die im Vergleich zu ihrer Länge einen geringen Querschnitt aufweisen. Erst ab dem Kurzwellenbereich, also einer Frequenz $> 3\text{MHz}$, ist ein wesentliches Bündeln der Strahlung realisierbar. Ab dem Mikrowellenbereich, also einer Frequenz von größer als 1GHz , sind stark bündelnde Antennen wie die Reflektorantennen oder der Hornstrahler anwendbar.¹

3.2 Reflexion

Läuft eine elektromagnetische Welle mit hoher Frequenz durch einen Leiter, wird diese am Leitungsende reflektiert. Die in die gegengesetzte Richtung reflektierte Welle beeinflusst das ursprüngliche Signal. Da sich die Amplituden der beiden Wellen addieren, kann das Signal verstärkt oder abgeschwächt werden. Um Reflexionen zu vermeiden, werden Abschlusswiderstände an den Enden der Leitungen angebracht. Der Abschlusswiderstand wandelt die Energie der Welle in Wärme um.

Reflexionsfaktor in Leitungen:

Als Reflexionsfaktor wird das Verhältnis der komplexen Spannung der im Leiter reflektierten Wellen und der im Leiter zum Verbraucher hinlaufenden Welle bezeichnet. Aus der Berechnung des Reflexionsfaktors kann die im Ort „z“ messbare Leitungsimpedanz abgeleitet werden.²

Da beim Überprüfen der Platine ein Funktionstest durchgeführt wird, also Antennen angesteuert werden, muss darauf geachtet werden, dass die jeweiligen Messergebnisse nicht von den eigens erzeugten Reflexionen beeinträchtigt werden.

¹ Kark (2017), S. 4 f.

² Vgl. Kark (2017), S. 157 f.

3.3 Frequenzbereiche

In der Hochfrequenztechnik werden elektromagnetische Wellen zur Datenübertragung eingesetzt. Die Frequenzen variieren dabei zwischen $30 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ und $300 \cdot 10^3 \text{ Hz}$. Wie in Abb. 1 ersichtlich, erstreckt sich der Frequenzbereich über sieben Zehnerpotenzen:

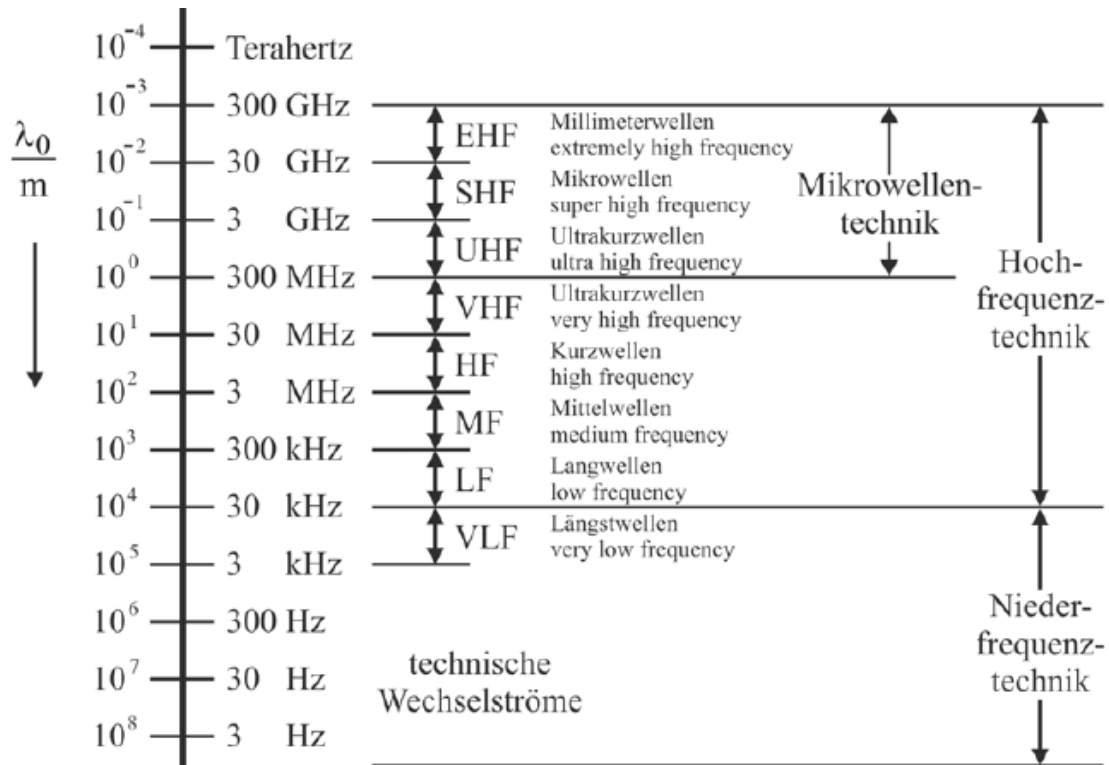


Abb. 1: Darstellung der Frequenzbereiche, Quelle: Kark (2017)

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum des freien Raums ist unabhängig von der Frequenz und wird mit der Naturkonstante c_0 beschrieben. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit hängt mit der elektrischen und magnetischen Feldkonstante $\epsilon_0 \approx 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ und $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$, wie in Formel 3.1 beschrieben, zusammen:

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (3.1) \quad \begin{array}{l} c_0 = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum} \\ \epsilon_0 = \text{elektrische Feldkonstante} \\ \mu_0 = \text{magnetische Feldkonstante} \end{array}$$

Um die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Luft als Dielektrikum festzustellen, muss die Permittivitätszahl ϵ_r berücksichtigt werden. Für die homogen angenommene Standardatmosphäre 0°C und Meereshöhe gilt $\epsilon_r \approx 1,0006$. Dadurch ergibt sich der mit Formel 3.2 errechnete Wert von $2,997 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ für die Ausbreitungsgeschwindigkeit in der Standardatmosphäre:³

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2) \quad \begin{array}{l} c = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit im Dielektrikum} \\ \epsilon_r = \text{Permittivitätszahl} \end{array}$$

$$c \approx 2,9970 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

³ Vgl. Kark (2017), S. 1

3.4 Elektromagnetische Verträglichkeit

Jedes elektronische Gerät sendet, durch den internen leitungsgebundenen Signaltransport, eine elektromagnetische Welle aus und ist dadurch der Gesetzgebung der EMV verpflichtet. Es ist besonders auf den Personenschutz in elektrischen Feldern zu achten. Diese wichtige Bestimmung ist in der DIN VDE 0848 Teil 2 festgehalten. Für Europa ist die europäische Norm EN 50081-1 und EN 50081-2 elektromagnetische Verträglichkeit als Fachgrundnorm zu verwenden. Aufgrund der Tatsache, dass die Zahl der Telekommunikations- und Navigationsgeräte stetig zunimmt und diese eine ständige technologische Weiterentwicklung erleben, müssen immer höhere Frequenzbereiche genutzt werden, um bestehende Frequenzbereiche nicht zu stören. Umso wichtiger ist es, eine optimale Schirmung der Geräte zu gewährleisten.⁴

3.4.1 Schirmungsmaßnahmen

Das angestrebte Ziel bei Schirmungsmaßnahmen ist eine Trennung zwischen der Störungsquelle und der Störungssenke.

Folgende Techniken werden zur Schirmung von Geräten angewandt:

- **Bauelementschirmung**

Durch das direkte Anlegen eines Schirmes an elektronische Bauteile, wie Transistoren oder Bandfilter, treten folgende Effekte auf:

- Auftretende kapazitive Störungen werden auf das Potenzial des Schirms abgeleitet. Des Weiteren werden auch die umliegenden Bauteile vor Störungen, welche vom geschirmten Bauteil ausgehen, geschützt.
- Es wird eine undefinierte Streukapazität des Bauteils vermieden und eine zwar größere, aber definierte Kapazität des Bauteils gegen den Schirm erlangt.

Widerstandsschirmung:

Für die Schirmung eines Widerstandes gelten folgende Einsatzkriterien, wobei jedoch eine Schirmung von Widerständen über 500 Ω bei Hochfrequenzanwendungen oder schnellen Impulssystemen zu vermeiden ist, denn durch das Anlegen des Schirms erzeugt man eine Parallelkapazität, welche den Frequenzgang des Widerstandes verschlechtert. Für die Berechnung können die Formeln 3.3 und 3.4 verwendet werden:

Schirmung wirksam und zulässig:

$$R * C \ll t_A \quad \text{oder} \quad \frac{1}{f} \quad (3.3)$$

R = zu schirmender Widerstand

C = Kapazität des Schirmes

T_A = Impulsanstiegszeit

f = höchste verwendete Frequenz

Schirmung unzulässig:

$$R * C \geq t_A \quad \text{oder} \quad \frac{1}{f} \quad (3.4)$$

⁴ Vgl. Gräbner (2016), S. 2

Es ist zu beachten, dass der Schirm parallel zum angegebenen Widerstand liegt.

- **Spulenabschirmung:**

Spulen werden mit Bechern oder Kappen gegen kapazitive und magnetische Störgrößen geschirmt, die zur Schirmung benutzte Abdeckung wird dabei auf Bezugspotenzial gelegt. Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass das magnetische Feld der Spule nicht zu stark beeinflusst wird, da sich sonst Auswirkungen auf die Induktivität und Güte sowie ein Koppelfaktor einstellen. Dies Auswirkungen treten stärker bei Spulen mit einem Luftspalt auf, als dies bei Spulen mit geschlossenem Kern der Fall ist

- **Schirmung auf Leiterplatten:**

Kapazitive Störbeeinflussungen können von außen auf eine Leiterplatte einwirken oder zwischen den Leiterbahnen der Leiterplatte entstehen. Zur Verkleinerung der Störeinflüsse kann ein kapazitiver Spannungsteiler zwischen Störquelle und Störsenke eingesetzt werden. Hierfür kann eine mit dem Bezugspotential verbundene Leitung als Schirmleiterbahn zwischen der störenden Leiterbahn und der gestörten Leiterbahn eingesetzt werden. In Abb. 2 ist der schematische Aufbau einer Schirmleiterbahn dargestellt:

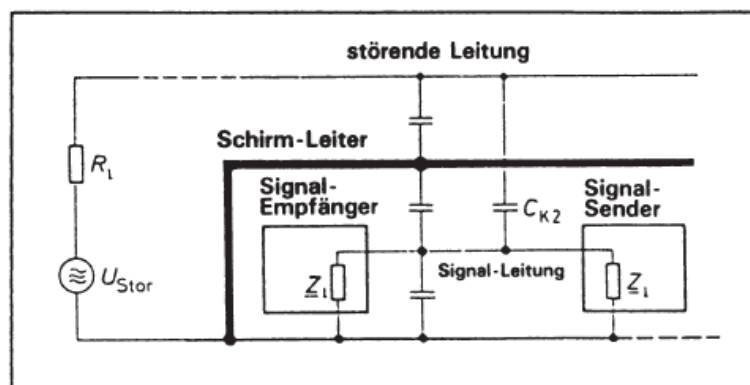


Abb. 2: Beispiel einer Schirmleitung auf einer Leiterplatte, Quelle: Anke (2017)

Weiters können auch Schirmgehäuse auf Leiterplatten verwendet werden. Mit einem Schirmgehäuse kann ein beeinflussbarer Schaltkreis oder eine störaussendende Schaltung abgeschirmt werden. In beiden Fällen ist jedoch der Schirm immer mit dem Bezugspotenzial zu verbinden.

- **Schirmwirkung von Gehäusen:**

Mit Gerätegehäusen können zwei unterschiedliche Aspekte der Schirmung verwirklicht werden, denn sie können einerseits empfindliche und beeinflussbare Elektronik schützen, andererseits auch die Umwelt vor dem Störsignal aussendender Elektronik abschirmen. Bei der Auslegung von Schirmgehäusen muss beachtet werden, ob ein elektrisches Feld oder ein magnetisches Feld abgeschirmt werden soll. Elektrische Felder lassen sich leichter, meist durch Folien, abschirmen, wohingegen magnetische Felder aufwändiger, großteils durch dicke Materialien mit ausreichender

Permeabilität, abzuschirmen sind. Durch Ausnehmungen im Schirmgehäuse kann der maximale Dämpfungswert, welcher durch das Material festgelegt ist, stark verringert werden. Somit können dadurch Felder aus den Öffnungen austreten, aber auch eingekoppelt werden. Der gleiche negative Effekt entsteht, wenn eine ungeschirmte Leitung in das Schirmgehäuse oder eine geschirmte Leitung eingeführt wird, aber der Kabelschirm nicht durchgehend mit der Durchführungsstelle kontaktiert ist. Ein Beispiel für jeweils eine richtige und eine fehlerhafte Einführung eines geschirmten Leiters ist in Abb. 3 gegeben:⁵

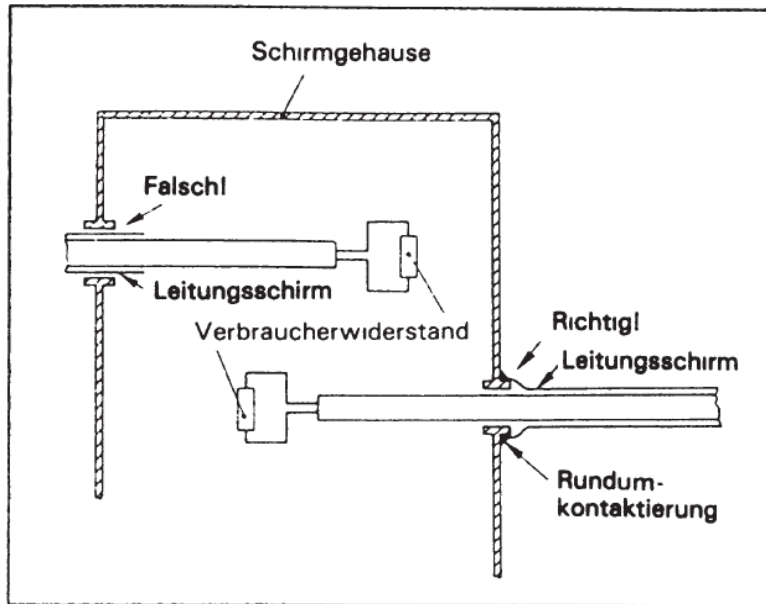


Abb. 3: Leitungseinführung in das Schirmgehäuse, Quelle: Anke (2017)

Da beim Überprüfen der Platine ein Funktionstest durchgeführt wird, also Antennen angesteuert werden, muss darauf geachtet werden, dass die jeweiligen Leitungen ausreichend geschirmt sind, um Messergebnisse nicht zu beeinträchtigen. Um dies zu gewährleisten wird darauf geachtet, dass alle verwandten Leitungen einen durchgehenden Schirm besitzen. Sollte dennoch eine Beeinträchtigung auftreten, werden die im Kapitel angeführten Bauteilschirmungen schrittweise auf das Prüfgerät und das strahlende Bauteil übertragen.

⁵Vgl. Anke (2017), S. 51 ff.

4 RFID-SYSTEME

Die Abkürzung „RFID“ steht für „*Radio-Frequency-Identification*“ und beschreibt die Identifikation mit Radiowellen. RFID-Systeme funktionieren ähnlich wie Chipkarten, denn auch bei ihnen werden Daten auf den Transpondern, einem elektronischen Datenträger, gespeichert. Die Energieversorgung für den Datenaustausch sowie den Datenträger selbst erfolgt jedoch nicht durch eine galvanische Kontaktierung, sondern durch magnetische und elektromagnetische Felder.⁶

4.1 Aufbau und Funktionsweise

Grundsätzlich besteht ein RFID-System, wie in Abb. 4 dargestellt, immer aus zwei Bausteinen:

- dem Transponder, welcher an dem zu identifizierendem Objekt angebracht ist;
- dem Erfassungs- oder Lesegerät, welches sowohl als reines Lese- oder als Schreib-/Lese-Einheit ausgeführt sein kann.

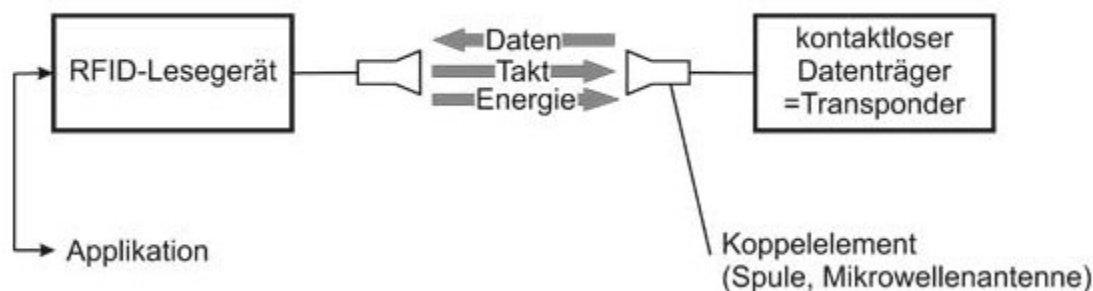


Abb. 4: Darstellung von Transponder und Lesegerät, Quelle: Finkenzeller (2012)

Das Lesegerät besteht meist aus einem Hochfrequenzmodul, welches als Sender und Empfänger arbeitet, einer Kontrolleinheit und einem Koppellement, das die Verbindung zum Transponder herstellt. Des Weiteren verfügen die meisten Lesegeräte noch über eine zusätzliche Schnittstelle, etwa einer RS232- oder I²C-Schnittstelle, um die erhaltenen Daten an weitere Applikationen weiterzuleiten. Der Transponder, welcher der hauptsächliche Datenträger eines RFID-Systems ist, setzt sich im Grunde aus einem Koppellement und einem Mikrochip zusammen. Befindet sich der Transponder außerhalb des Ansprechbereiches eines Lesegeräts, so verhält er sich, sobald er keine externe Spannungsversorgung besitzt, vollkommen passiv. Befindet sich der Transponder im Ansprechbereich eines Lesegeräts, so wird er aktiviert. Die für den Transponder benötigte Energie, ebenso wie der Takt zur Datenübertragung, werden durch die Koppelinheit zum Transponder kontaktlos übertragen.⁷

⁶ Vgl. Finkenzeller (2012), S. 6

⁷ Vgl. Finkenzeller (2012), S. 8 f.

In Abb. 5 sind die Koppellemente von Transponder und Lesegerät illustriert:

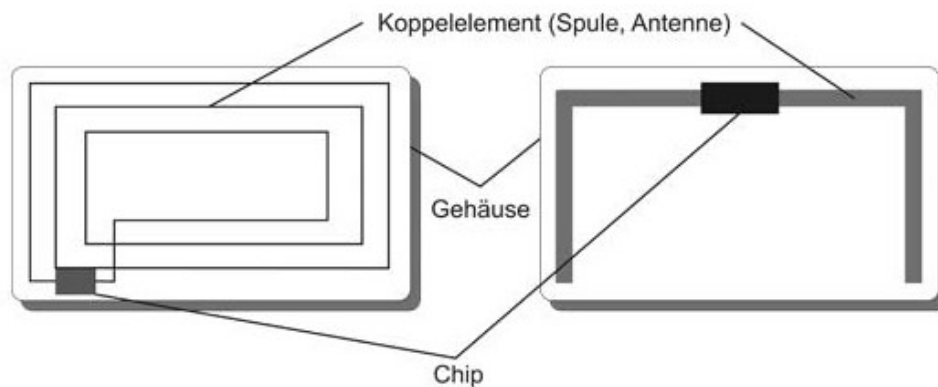


Abb. 5: Darstellung der Koppellemente, Quelle: Finkenzeller (2012)

4.1.1 Vor- und Nachteile gegenüber anderen ID-Verfahren

Der Vorteil eines RFID-Systems liegt ganz klar in seiner Beständigkeit. Der RFID-Tag ist lageunabhängig und kann in rauen und schmutzigen Umgebungen verwendet werden, da der gesamte Tag durch ein Gehäuse geschützt wird. Des Weiteren benötigt das RFID-System keine direkte Sichtlinie zwischen Sender und Empfänger. Diese Eigenschaft ermöglicht es, dass der Transponder auch an schwer zugänglichen Stellen platziert werden kann. Zwei weitere Vorteile von RFID-Systemen sind die große Reichweite sowie die Möglichkeit, mehrere Tags gleichzeitig zu lesen.

Die Vorteile von RFID-Systemen lassen sich wie in Tab. 1 im Vergleich mit einem Barcode-Scanner sehr gut darstellen:

Eigenschaft	RFID	Barcode
Technologie	Elektromagnetische Wellen	Optisch mit Laserscanner
Leserate	Sehr hoher Durchsatz Bis zu 100 RFID-Tags gleichzeitig lesbar	Sehr geringer Durchsatz Tags können nur einzeln gelesen werden.
Lese- und Schreibmöglichkeit	Lese- und Schreibmöglichkeiten vorhanden	Nur Lesefähigkeit vorhanden
Lesereichweite	Passiv UHF RFID: bis zu 15m Aktiv RFID: bis zu 30m	Wenige Zentimeter
Sichtlinie	Nicht erforderlich	Zwingend erforderlich
Sicherheit	Hoch, da die Daten verschlüsselt werden	Niedrig, da einfach kopierbar
Beständigkeit	Hoch, kann bei rauen Bedingungen eingesetzt werden	Niedrig, da leicht zerstör- oder abnehmbar
Kosten	7-15 Cent	1 Cent

Tab. 1: Darstellung der Vor- und Nachteile von RFID-Systemen, Quelle: Eigene Darstellung

Die Nachteile von RFID-Systemen sind abhängig von der jeweils verwendeten Frequenz. Bei der Verwendung der LF-Technologie besteht der größte Nachteil in der sehr geringen Reichweite von nur einem Meter sowie der geringen Datenrate. Bei HF- und UHF-Technologien ist die sehr geringe Toleranz gegenüber Flüssigkeiten und Metallen zu nennen.

4.1.2 Einteilung von RFID-Frequenzen

RFID-Systeme lassen sich in drei Frequenzbereiche unterteilen:

- **Low Frequency System:** Das Frequenzband dieser Systeme reicht von 30 kHz bis 300 kHz. LF-Systeme werden meistens in Industrieumgebungen eingesetzt. Die Tags bestehen aus Drahtlingen und sind in Plastik- oder Glasgehäusen integriert.
- **High Frequency System:** Das Frequenzband dieser Systeme reicht von 3 MHz bis 30 MHz. Aufgrund ihrer höheren Reichweite und Lesegeschwindigkeit werden *Tags* mit größerem Speicher sowie Sicherheitsfunktionen verwendet. Die Technologie findet sich vor allem bei der Produkterkennung wieder.
- **Ultra High Frequency System:** Das Frequenzband dieser Systeme reicht von 0,3 GHz bis hin zu 3 GHz. Diese Systeme werden bevorzugt in Lagerstätten sowie bei der Warenverfolgung eingesetzt, da sie einen sehr hohen Datentransfer und eine große Reichweite von 15 m aufweisen. Aufgrund des geringen Platzbedarfes der Dipolantenne ist die Technologie überaus geeignet, um Leiterplatten zu tracken. Systeme mit einem IC-Gehäuse können direkt auf einer PCB platziert werden.

In Tab. 2 sind die Unterschiede der Frequenzbänder aufgelistet:

Eigenschaften	LF	HF	UHF
Standards	ISO 18000-2	ISO 18000-3	ISO 18000-6
Vorschriften	Weltweit harmonisiert	Weltweit harmonisiert	Weltweit harmonisiert
Übertragungstechnik	Induktive Kopplung	Induktive Kopplung	Elektromagnetische Wellen
Antenne	Windungen	Windungen	Dipol
Betriebsfrequenz	125 / 134 kHz	13,56 MHz	862 – 956 MHz
Arbeitsbereich	Bis zu 1 m	Von 10 cm bis 1,5 m	Von 10 cm bis 15 m
Umwelteinflüsse	Wenig Einfluss auf die Arbeitsdistanz	Wenig Einfluss auf die Arbeitsdistanz	Einfluss auf die Arbeitsdistanz durch Reflexionen.
Anwendungsgebiete	Tiererkennung, Industrieumgebung, Diebstahlsicherung	Bibliotheken, öffentlicher Transport, Produkterkennung	Paletten-ID, Container-ID, Modeindustrie, Einzelhandel

Tab. 2: Unterschiede von LF, HF und UHF im Vergleich, Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Aufbau des zu messenden Platinentyps

Die zu prüfende Platine besteht aus einem *CLRC663 RFID Multi Interface* und einem LPC11U68JBD48 Mikrokontroller von NXP.

4.2.1 CLRC663

Der interne Transmitter des CLRC663 ist in der Lage, eine Lese- und Schreibantenne zu betreiben, welche mit ISO/IEC 14443A kommuniziert. Transponder brauchen keine weitere aktive Schaltung. Das CLRC663 Modul regelt das gesamte ISO/IEC-14443A-Framing und die Fehlerfindung. Darüber hinaus unterstützt das Modul folgende drei Schnittstellen:⁸

- *Serial Peripheral Interface SPI*
- *Serial UART*: *Serial UART* funktioniert gleich wie die RS232-Schnittstelle, doch das Spannungsniveau hängt von der Spannung am Versorgungspin ab.
- *I²C-BUS*: Es sind zwei Versionen des *I²C-BUS* implementiert, der I2C und der I2CL.

Die Abb. 6 zeigt das Blockschaltbild des beschriebenen CLRC663 Moduls:

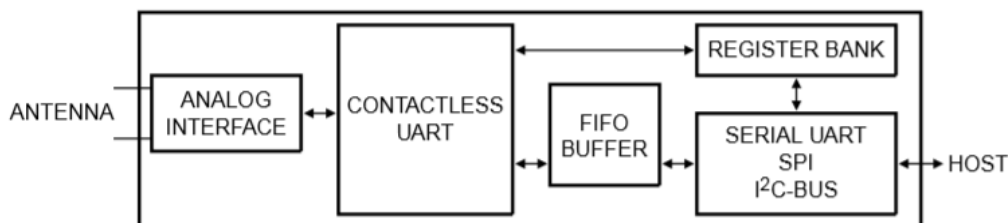


Abb. 6: Blockschaltbild des CLRC663-Moduls, Online-Quelle: *NXP Semiconductors* [1. September.2018]

4.2.2 LPC11U68JBD48

Der LPC11U68JBD48 ist ein auf ARM Cortex-M0 basierender, *Low-cost-32-bit*-Mikrokontroller, welcher für 8/16-bit-Mikrokontroller-Anwendungen, hohe Leistungen und geringen Verbrauch konstruiert wurde. Er ist mit einem USB 2.0 Anschluss ausgestattet, welcher eine leichte Einbindung ermöglicht. Des Weiteren kann der Mikrokontroller über diese Schnittstelle programmiert werden. Er besitzt einen Flash-Speicher von 128 kB, einen 12 kB SRAM-Datenspeicher und einen 4kB EEPROM. Zur Standardausführung gehören zusätzlich noch weitere Schnittstellen wie der FAST-MODE I²C- BUS, RS-485 / EIA-485 USART und zwei SSP-Schnittstellen. Zudem besitzt der Mikrokontroller diverse Zähler und Timer, einen 10-Bit-ADC und 54 frei belegbare I/O-Pins.⁹

Die Abb. 7 zeigt das Blockschaltbild des beschriebenen LPC11U68JBD48 Mikrokontrollers:

⁸ *NXP Semiconductors* (2017), Online-Quelle [1.September.2018]

⁹ *NXP Semiconductors* (2017), Online-Quelle [1.September.2018]

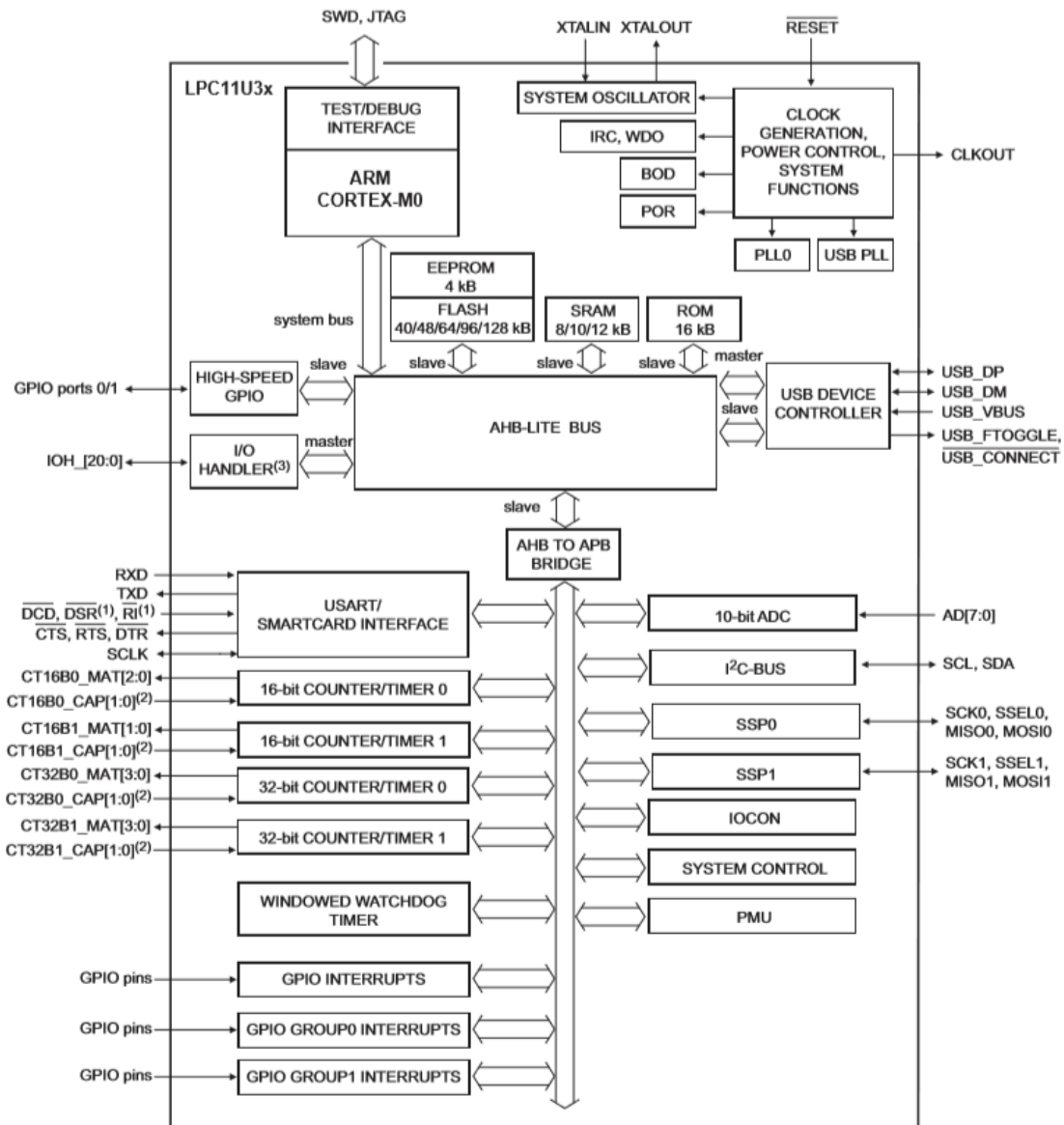


Abb. 7: Blockschaltbild des LPC11U68JBD48 Mikrokontrollers

4.2.3 Platinen-Programmierung

Die ausgewählte Platine kann über SWD anhand der USB-Schnittstelle programmiert werden. Hierfür muss ein sogenannter Boot-Kontakt geschlossen sein. Nur wenn der Kontakt vor Beginn der Spannungsversorgung geschlossen ist, kann die Platine programmiert werden. In Abb. 8 ist ein Ausschnitt der Ansteuerung des LPC11U68JBD48 Mikrokontrollers dargestellt:

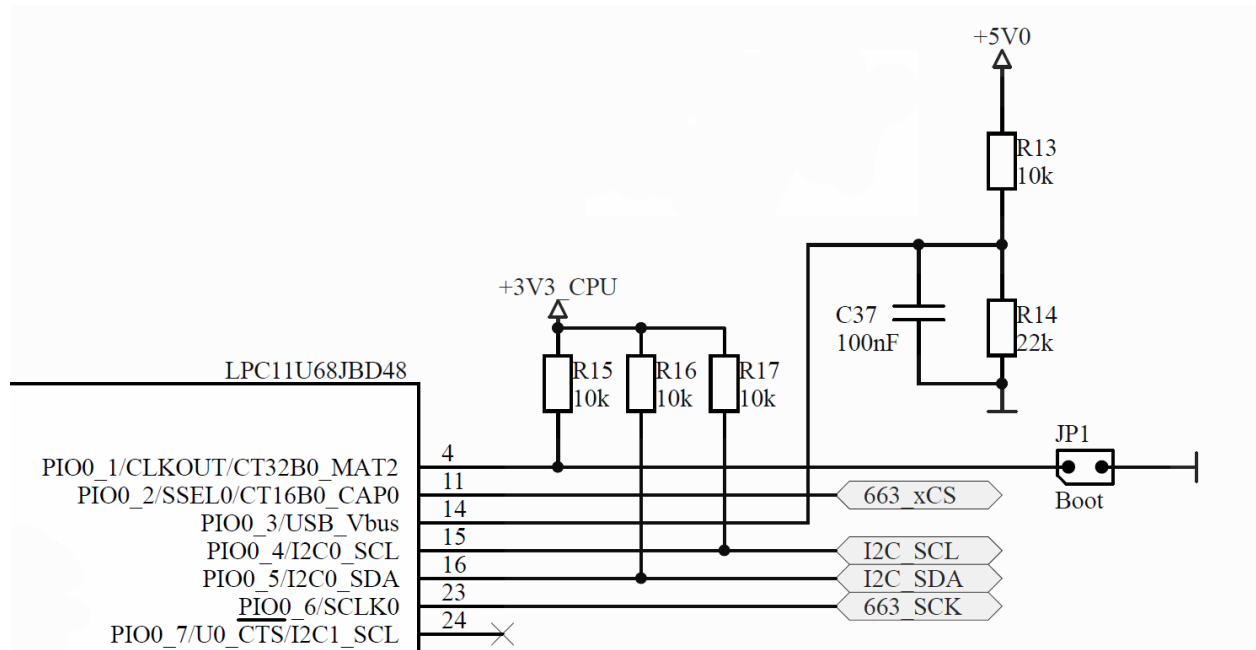


Abb. 8: Ausschnitt der Verschaltung des LPC11U68JBD48, Quelle: Campus 02

Der an Pin vier angeschlossene kontakt JP1 muss geschlossen werden, um die Platine programmieren zu können. Wurde der Kontakt JP1 geschlossen, wird die Platine wie ein USB-Stick am PC angezeigt. Es muss nur noch das passende Programm im Verzeichnis hinterlegt werden.

5 PLATINEN-KONTAKTIERUNG

Es gibt viele verschiedene Methoden und Verfahren, eine Platine zu überprüfen. Der wichtigste Punkt ist dabei immer, eine fehlerlose Kontaktierung der Leiterplatte zu gewährleisten, sodass Messergebnisse nicht verfälscht und eventuelle Programmiervorgänge nicht unterbrochen werden. Anhand verschiedener Kriterien soll nach einer Auflistung der bereits bekannten Methoden, die für diese Anwendung geeignetste ermittelt werden.

5.1 Leiterplatten-Überprüfung

Die Überprüfung der Leiterplatte dient zur Sicherstellung, dass während des automatisierten Bestückungsverfahrens keine Fehler aufgetreten sind. Denn es kann dazu kommen, dass eine Lötstelle keinen Kontakt zu dem darüberliegenden Bauteil aufweist oder ein gesamtes Bauteil defekt ist. Das Überprüfungsverfahren kann von einer einfachen Überprüfung der Leiterbahnen bis hin zur gesamten Inbetriebnahme der PCB variieren.

5.2 Betrachtung gängiger Messverfahren

Anhand der in Kapitel 5.2.1 bis 5.2.4 aufgelisteten Messverfahren wird eine Bewertungsmatrix erstellt, welche dazu dienen soll, das geeignetste Messverfahren in Kapitel 5.3 für diese Anwendung zu bestimmen.

5.2.1 Version 1: Vollautomatisierte Überprüfung der PCB

Bei dieser Methode wird die bestückte PCB per Hand in eine Vorrichtung gelegt und fixiert. Danach muss am PC das passende Platinen-Layout ausgewählt werden. Im Anschluss wird der Überprüfungsvorgang nur noch über eine Freigabetaste gestartet. Während des Prüfvorgangs werden über Servomotoren angetriebene Messspitzen zu den Kontaktflächen geführt und die gewünschte Messung – z.B. Frequenz, Spannungs-, Strom- oder Durchgangs-Prüfungen – durchgeführt und in einer Datei gespeichert. Im Anschluss wird automatisch ein Prüfprotokoll erstellt, welches alle Messungen auflistet und einen SOLL-IST-Vergleich mit jedem Messwert und den dafür hinterlegten Grenzwerten darstellt. Hierbei sind Über- oder Unterschreitungen des Messwerts automatisch farblich gekennzeichnet und für den Testingenieur leicht ersichtlich, sodass dieser sofort auf die jeweiligen Abweichungen reagieren kann. Dieses Verfahren kommt bei Herstellern zum Einsatz, welche eine sehr hohe Stückzahl komplexer Platinen produzieren und diese auch in hohem Ausmaß testen. Das Prüfprotokoll erlaubt es den Produzenten, welche als Lieferanten anderen Produzenten dienen, einen Nachweis über die Einhaltung vorgegebener Stichprobenüberprüfungen und der definierten Toleranzen zu liefern.

In Abb. 9 sind Messsonden eines vollautomatisierten Prüfgerätes illustriert:

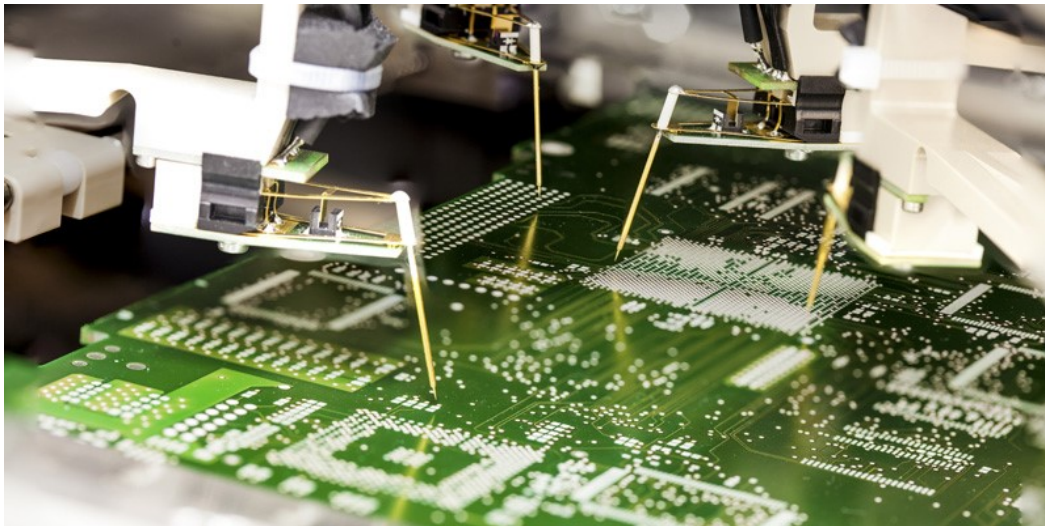


Abb. 9: Messsonden eines vollautomatisierten Prüfgerätes, Online-Quelle: Häusermann [14. August.2018]

5.2.2 Version 2: Mechanisches Einspannen und Kontaktieren der PCB

Bei dieser Methode wird eine kleine Vorrichtung gebaut, auf der die zu prüfende Platine befestigt wird. Über geführte Federmessspitzen, die sogenannten „Pogo Pins“, wird die elektrische Verbindung zur Platine hergestellt. Die Federmessspitzen sind dabei in ihrer Position fixiert und garantieren eine dauerhafte Kontaktierung, ohne die zu prüfende Platine zu beschädigen. Durch die präzise und dauerhafte Kontaktierung der Platine ist es möglich, die Platine zu programmieren oder Messungen durchzuführen, welche mehr Zeit als kurze Prüfungen benötigen, da die Platine nicht verrutschen kann. Der Nachteil dieser Methode der Leiterplatten-Kontaktierung liegt darin, dass diese sehr unflexibel gegenüber Dimensionsänderungen ist, was bedeutet, dass für jeden Platinentyp eine dazugehörige Prüfvorrichtung gebaut werden muss. In Abb. 10 ist eine Vorrichtung mit eingelegter Prüfplatine dargestellt:

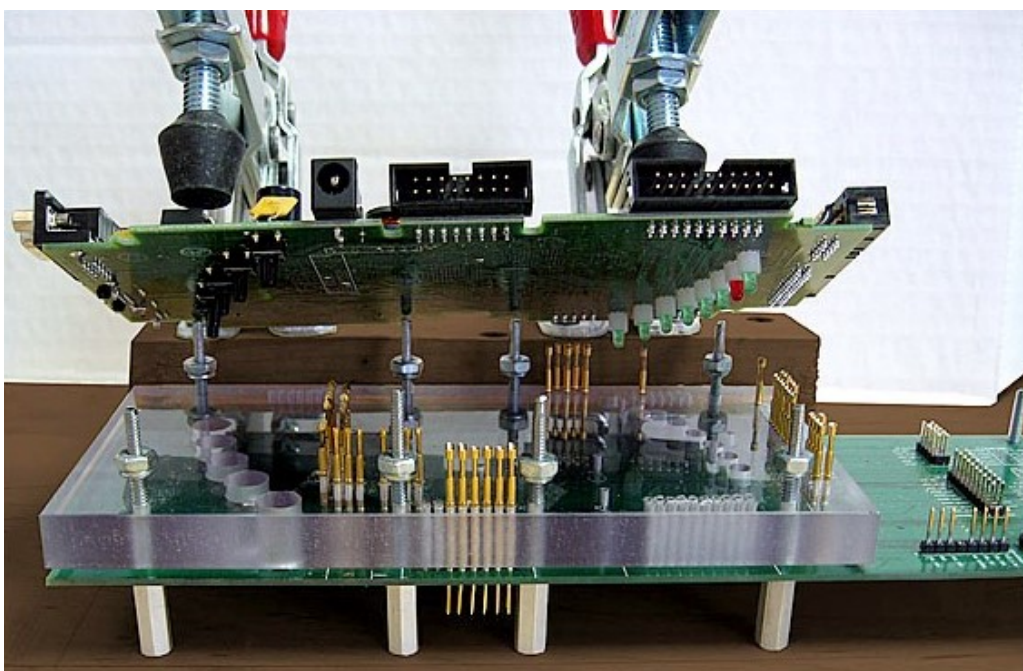


Abb. 10: Vorrichtung mit eingelegter Prüfplatine, Online-Quelle: javelin-tech [14. August.2018]

5.2.3 Version 3: Verwendung einer Adapterplatine

Hierbei wird für jede Platinenvariante ein Adapter gefertigt, welcher die Kontakte der Prüfplatine mit Federmessspitzen, den bereits erwähnten *Pogo Pins*, kontaktiert. Diese Anwendung findet sehr häufig in R&D-Laboren Gebrauch, da der Adapter schnell von einem Testingenieur selbst angefertigt werden kann. Jedoch hat diese Methode auch seine Nachteile, denn sollten die Messspitzen schräg auf die zu überprüfende Platine treffen, können diese verbiegen oder den Prüfling beschädigen. Des Weiteren ist der dauerhafte Kontakt zwischen Prüfling und Adapter nicht gewährleistet, was wiederum längere Messungen oder das Programmieren einer Platine erschwert. Aufgrund der Nachteile findet diese Methode kaum Verwendung bei hohen Stückzahlen. In Abb. 11 ist eine Adapterplatine dargestellt:

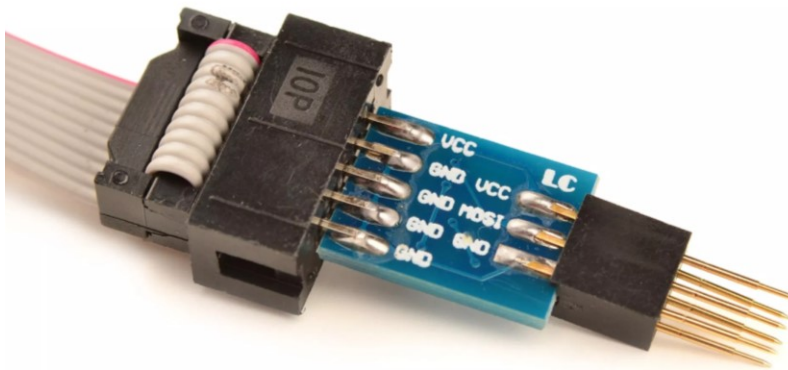


Abb. 11: Adapterplatine, Online-Quelle: AndBosta [14. August.2018]

5.2.4 Version 4: Löten der einzelnen Verbindungen zur Adapterplatine

Dies ist meist die einfachste Lösung, um eine elektrische Verbindung zwischen zwei Platinen herzustellen. Hierfür müssen lediglich die abisolierten Enden am Löt-Pad fixiert werden. Es entsteht eine feste Verbindung zwischen Leiter und Leiterplatte. Durch erneutes Erhitzen mit einem Lötkolben kann diese Verbindung wieder gelöst werden. Da die Herstellung solch einer Lötverbindung sehr günstig ist, kommt sie in der Industrie nach wie vor oft zum Einsatz. Jedoch hat auch diese Methode mehrere Nachteile, welche sie für manche Anwendungen unbrauchbar macht, denn man muss nach jedem Prüfvorgang die Drähte wieder ablöten. Hierbei kann es überdies durch den hohen Hitzeintrag zu Beschädigungen von Bauteilen kommen. In Abb. 12 ist eine gelötete Verbindung dargestellt:

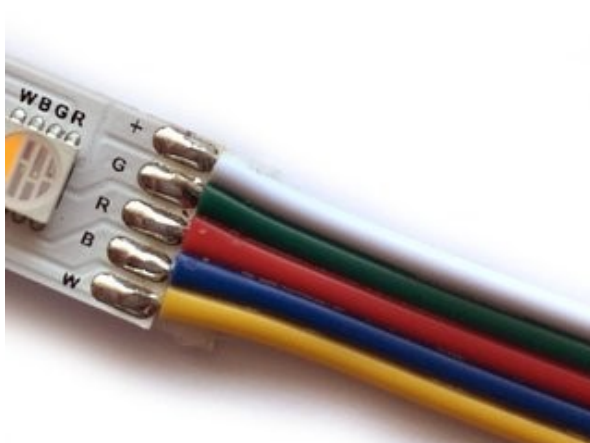


Abb. 12 : Darstellung einer gelöteten Verbindung, Online-Quelle: Led-Shop [15. August.2018]

5.3 Auswahl des Kontaktierungsverfahrens

In Kapitel 5.3 werden die in Kapitel 5.2 beschriebenen Kontaktierungsverfahren mittels einer Bewertungsmatrix weiter untersucht. In Kapitel 5.3.1 sollen die Bewertungskriterien für das Auswahlverfahren bestimmt werden. In Kapitel 5.3.2 wird anhand der definierten Kriterien die Bewertung durchgeführt und ausgewertet.

5.3.1 Festlegung der Bewertungskriterien

Die Bewertung soll dazu dienen, das am besten geeignete Kontaktierungsverfahren für ein Platinen-Prüfgerät zu finden. Für die Bewertung werden fünf aussagekräftige Kriterien herangezogen:

- **Flexibilität:** Mit dem Punkt „Flexibilität“ soll bewertet werden, ob das Kontaktierungsverfahren es ermöglicht, Platinen mit verschiedenen Abmessungen zu fixieren und zu kontaktieren. Da das Platinen-Prüfgerät im R&D Labor verwendet wird, muss es möglich sein, unterschiedlichste Platinenabmessungen aufzunehmen. Aus diesem Grund wird ein Faktor von 0,45 für die Bewertung herangezogen.
- **Wartungsintensität:** Unter diesem Punkt wird die Wartungsintensität bewertet, also festgehalten, wie oft das Gerät gereinigt werden muss. Doch auch Punkte wie die Reparaturfähigkeit und Haltbarkeit werden in diesem Kriterium berücksichtigt. Es wird für die Bewertung ein Faktor von 0,1 verwendet.
- **Kosten:** Hinsichtlich der Kosten werden sowohl die Anschaffungskosten als auch die laufenden Kosten berücksichtigt. Es wird für die Bewertung ein Faktor von 0,15 herangezogen.
- **Stückzahl:** In diesem Punkt wird bewertet, wie gut das Kontaktierungsverfahren mit den Stückzahlanforderungen zurechtkommt. Es wird für die Bewertung ein Faktor von 0,2 gebraucht.
- **Erweiterungen:** Hierbei wird Möglichkeit zur Erweiterung, etwa durch das Einbinden von neuen Messmitteln in einen Prüfaufbau, betrachtet. Es wird für die Bewertung ein Faktor von 0,1 verwendet.

5.3.2 Bewertung der Kontaktierungsverfahren

In diesem Kapitel wird die Bewertung mittels einer Bewertungsmatrix durchgeführt. Die bei der Bewertung verwendeten Kriterien wurden in Kapitel 5.3.1 festgelegt. Für die Bewertung wird ein Punktesystem von 1-9 verwendet, wobei „9“ für „sehr gut“ und „1“ für „unzureichend“ steht.

Kriterien	Wichtung	Version 1		Version 2		Version 3		Version 4	
		Punkte	%	Punkte	%	Punkte	%	Punkte	%
Flexibilität	0,45	7	3,15	8	3,6	9	4,05	7	3,15
Wartung	0,1	6	0,6	7	0,7	2	0,2	4	0,4
Kosten	0,15	2	0,3	7	1,05	7	1,05	7	1,05
Stückzahl	0,2	8	1,6	8	1,6	5	1	1	0,2
Erweiterung	0,1	2	0,2	7	0,7	5	0,5	6	0,6
Summe	1		5,85		7,65		6,8		5,4

Tab. 3: Bewertungsmatrix zur Auswahl des Kontaktierungsverfahrens, Quelle: Eigene Darstellung.

Aus Tab. 3 ist klar ersichtlich, dass Version 2 „Mechanisches Einspannen und Kontaktieren“ die geeignetste Methode für die Kontaktierung der zu prüfenden Platine ist. Eine vollautomatische Anlage würde sich nur rentieren, wenn die gefertigten Stückzahlen viel höher als die momentan geforderte Stückzahlen wären.

6 MECHANISCHER AUFBAU

Aufbauend auf die in Kapitel 5.3.2 zur Platinen-Kontaktierung gewonnenen Informationen wird in diesem Kapitel der Entwurf einer mechanischen Konstruktion wiedergegeben, welche es ermöglicht, verschiedenste Platinen aufzunehmen. Das Augenmerk soll hierbei vor allem auf einer fehlerfreien Kontaktierung und der sauberen Handhabung gerichtet sein.

6.1 Festlegung der Anforderungen an die Konstruktion

Da die Konstruktion täglich benutzt wird, muss diese sehr durchdacht sein und reibungslos funktionieren. Hierfür werden einige Anforderungen im Vorfeld definiert, um diese dann im Anschluss bei den weiteren Konzepten zu berücksichtigen.

Folgende Aspekte werden beim Entwurf der Konzepte berücksichtigt:

- **Abmessung und Form:** Es muss die Möglichkeit gegeben sein, Platinen mit verschiedensten Formen wie Rechteck, Quadrat, Dreieck und Keis zu fixieren, ohne diese zu beschädigen. Da die Mehrheit der produzierten Platinen eine Abmessung von 50x50 mm bis 150x150 mm besitzt, soll das maximale Maß der Konstruktion 200x200 mm betragen. Damit ist gewährleistet, dass alle produzierten Platinen in der Konstruktion fixiert werden können.
- **Handhabung:** Hierbei wird speziell auf die Handhabung im täglichen Gebrauch geachtet. Das Fixieren der Platine soll mit wenigen Handgriffen erfolgen können.
- **Spannen der Federkontakte:** Das Spannen und Lösen der Federkontakte soll anhand eines Schnellverschlusses oder Kniehebels durchgeführt werden.

6.2 Erstellung von Konzepten

In Kapiteln 6.2.1 und 6.2.2 wird jeweils ein Konzept erarbeitet, welches die in Kapitel 6.1 angeführten Punkte berücksichtigt. Für die Erstellung der Konstruktionen wird das Programm *SolidWorks* verwendet. Für die Konstruktion wird dieser Platinentyp als Muster verwendet. In Abb. 13 ist die Musterplatine dargestellt:

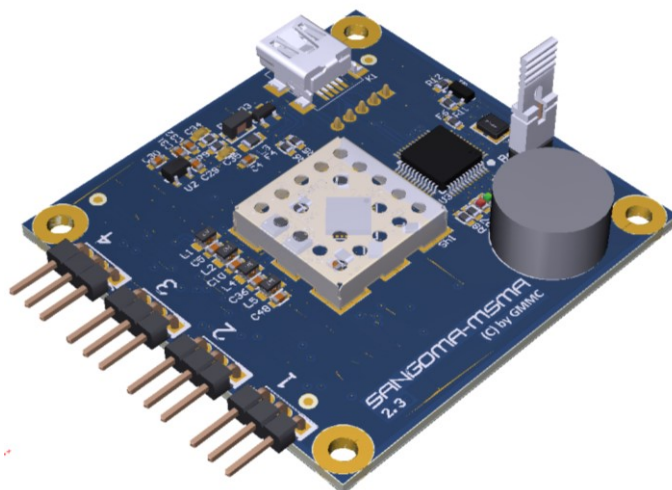


Abb. 13: Musterplatine, Quelle: Campus 02

6.2.1 Konzept A: Schienensystem

Konzeptbeschreibung:

In Konzept A wird die Platine über die vier Schraublöcher, jeweils eine pro Ecke der Platine, fixiert. Hierfür wird die Platine auf vier lange Führungstifte aufgeschoben. Um zu gewährleisten, dass verschiedenste Platinenabmessungen aufgesetzt werden können, muss es möglich sein, die Führungstifte zu verschieben. Um mit den Führungstiften verschiedene Positionen einnehmen zu können, werden diese auf zwei Schienen, jeweils um 90° versetzt, zu einem weiteren Schienenpaar montiert. Da die Schraublöcher mit dem Grund der Platine verbunden sind, darf das Material der Führungstifte nur nichtleitend sein.

Aufbau des 3D-Modelles:

Schienensystem auf der Grundplatte

Über die um 90° versetzten Schienenpaare ist es möglich, dass die geführten Schlitten jede für das Aufsetzen der Platine notwendige Position einnehmen können. Die Linearführungen sind mit einem mechanischen Anschlag versehen, um ein unbeabsichtigtes Entfernen des Schlittens zu verhindern. Des Weiteren lassen sich die Schlitten über eine Feststellschraube zusätzlich fixieren. Die unteren Linearführungen wurden mittels eines konstruierten Adapterstücks miteinander verbunden. In Abb. 14 ist die Grundplatte mit den verbundenen Linearführungen dargestellt:

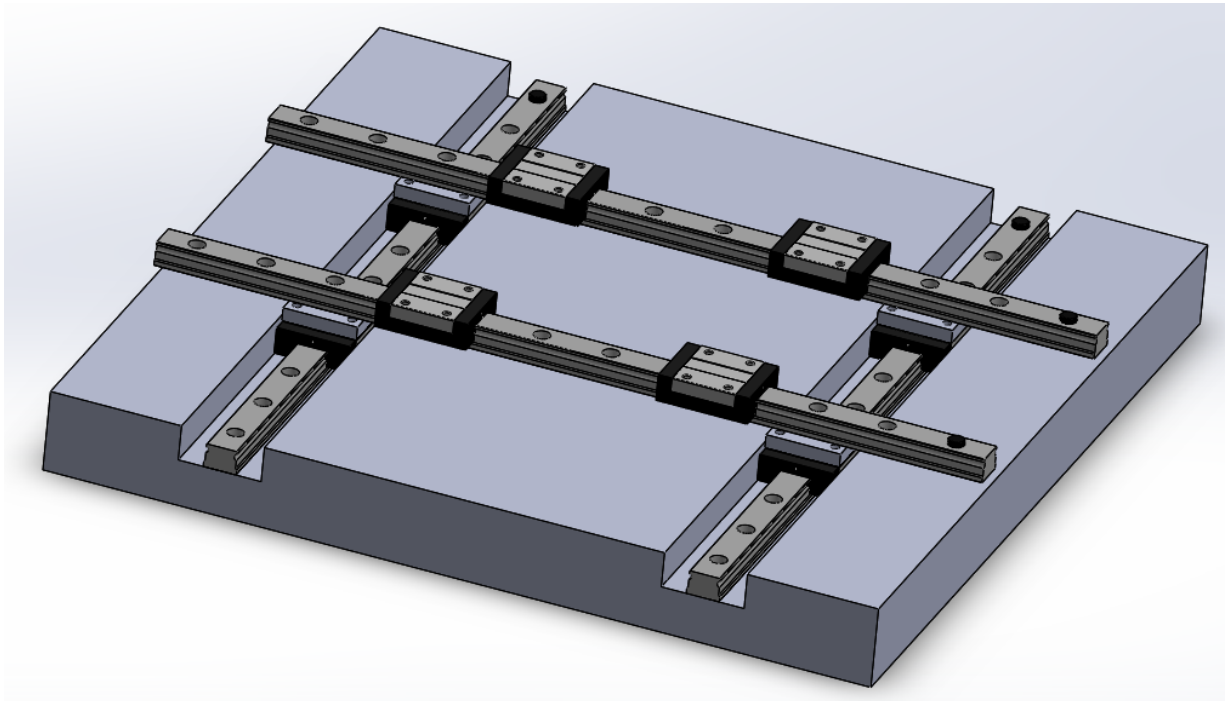


Abb. 14: Grundplatte mit Linearführungen, Quelle: Eigene Darstellung.

Führungsstifte

Um die Platine sicher auf den vier Schlitten der Linearführung zu positionieren, wurden Führungsstifte konstruiert, welche an den Schlitten jeweils mit vier Schrauben fixiert werden. Damit die Platine nicht in Berührung mit der metallischen Linearführung kommt, wurde der Führungsstift an der Unterseite auf genau das doppelte Maß verbreitert. In Abb. 15 ist ein Führungsstift grafisch wiedergegeben:

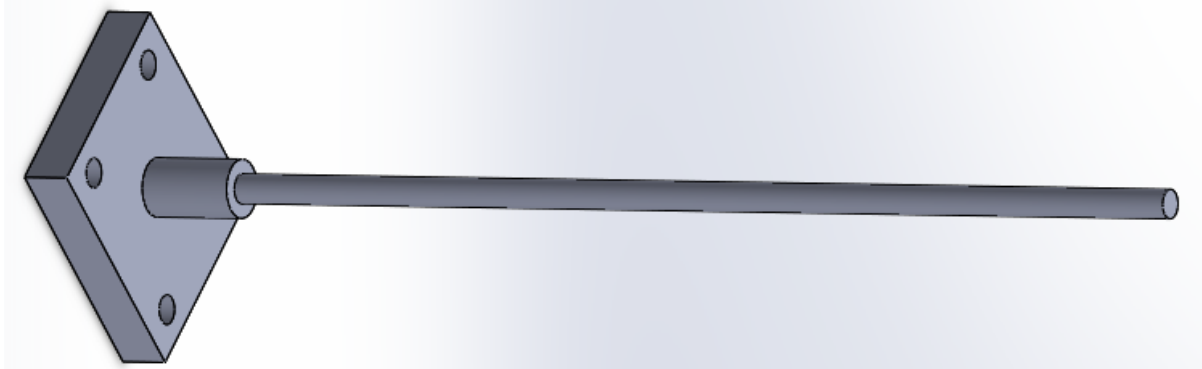


Abb. 15: Darstellung eines Führungsstiftes, Quelle: Eigene Darstellung.

Spannvorrichtung

Für die Spannvorrichtung wird ein Kniehebel verwendet. Der Kniehebel ist so positioniert, dass der Druckpunkt zentrisch liegt und die aufgebrachte Kraft sich gleichmäßig auf die Federkontakte verteilen kann. Um mehr Flexibilität zu gewährleisten, ist der Kniehebel in einer Weise montiert, dass seine Höhe über zwei Handschrauben eingestellt werden kann. In Abb. 16 ist die gesamte Spannvorrichtung illustriert:

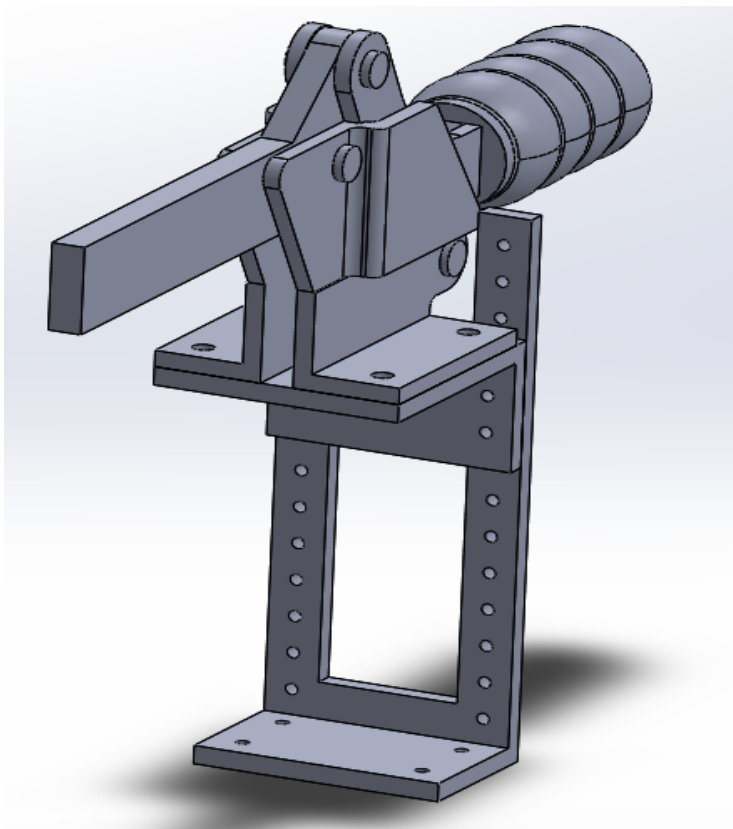


Abb. 16: Spannvorrichtung mit Höhenverstellung, Quelle: Eigene Darstellung.

Zusammengesetzte Konstruktion

In Abb. 17 ist die zu einer Baugruppe zusammengefügte Konstruktion des Konzepts A – Schienensystem dargestellt:

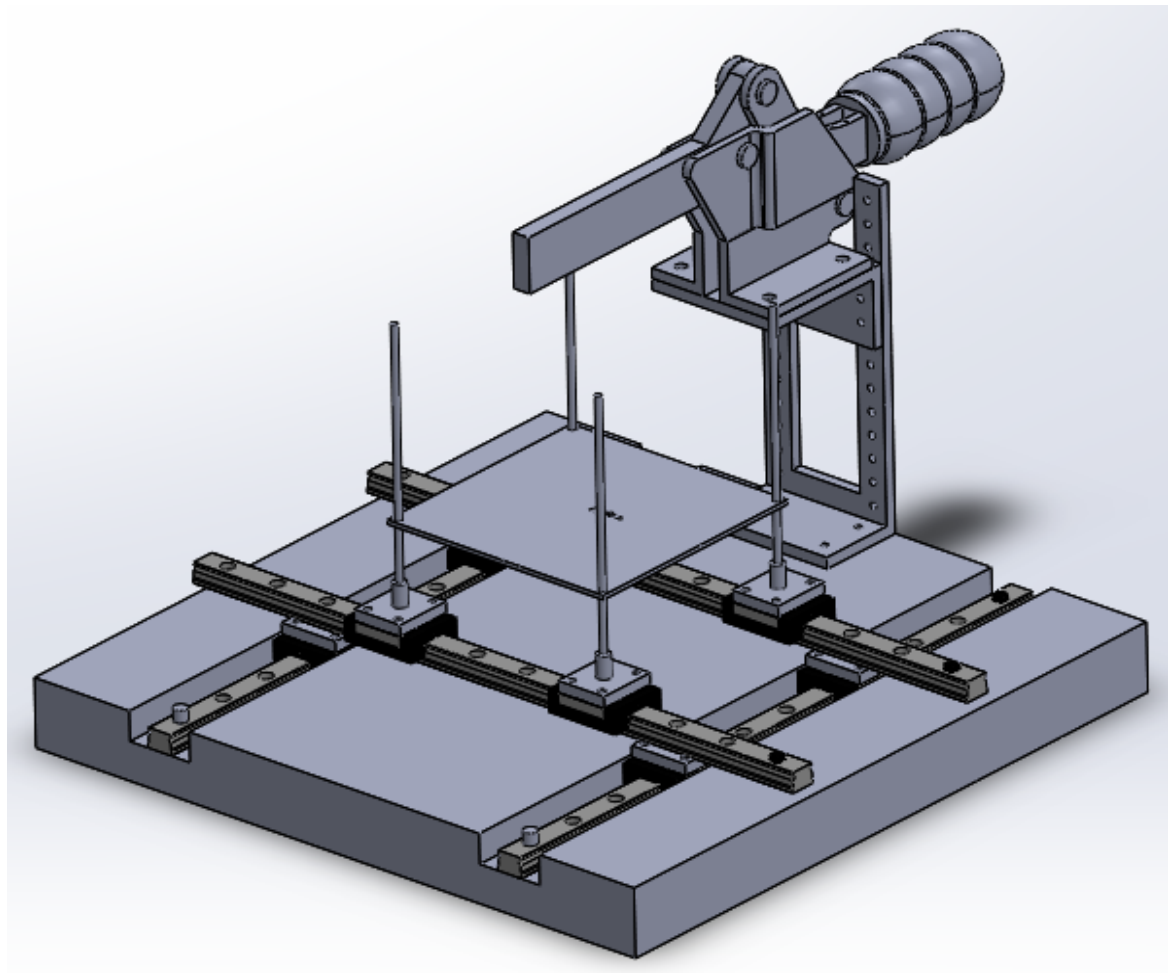


Abb. 17: Baugruppe Konzept A – Schienensystem, Quelle: Eigene Darstellung.

6.2.2 Konzept B: Nadelbett

Konzeptbeschreibung:

Im Konzept B wird eine Adapterplatine, welche mit Federkontakten bestückt ist, in die vier dafür vorgesehenen Halterungen eingeschoben. Die Adapterplatine ist mit vier Führungen ausgestattet, was ein zentriertes Aufsetzen der zu prüfenden Platine ermöglicht. Im Anschluss muss nur noch der Kniehebel geschlossen werden. Der Kontaktarm des Kniehebels ist mit einer weichen Gummispitze versehen, welche es ermöglicht, Druck auf die zu testende Platine auszuüben, ohne diese zu beschädigen.

Aufbau des 3D-Modelles:

Grundplatte mit Platinen-Halterung

Die Grundplatte dient als Basis für den weiteren Aufbau. Sie ist so konstruiert, dass die Abstände der Platinen-Halterungen verändert werden können, um sie an verschiedene Größen anzupassen. Die

Platinen-Halterung ist über drei im Material versenkte Schrauben fixiert. Zum Einschieben der Adapterplatine dienen die seitlich geöffneten Halterungen, welche links in Abb. 18 zu sehen sind:

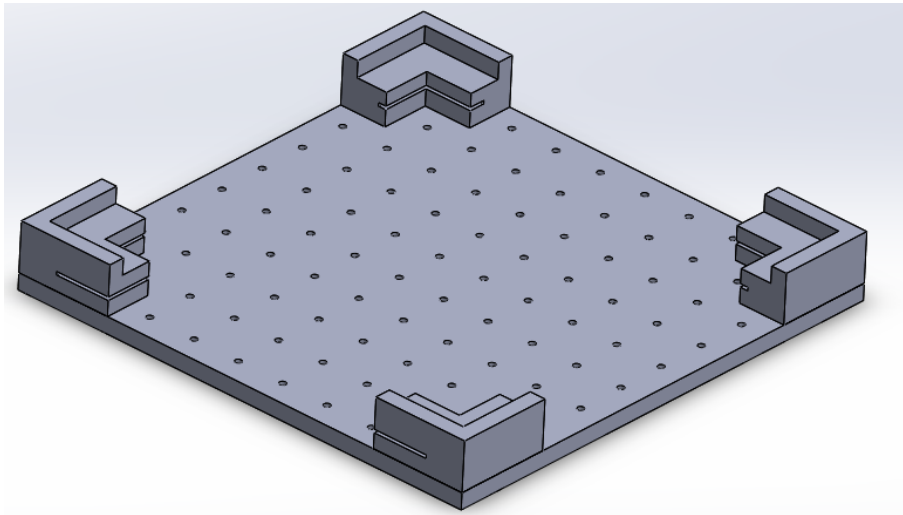


Abb. 18: Grundplatte mit Platinen-Halterung, Quelle: Eigene Darstellung.

Spannvorrichtung

In Konzept B kann dieselbe Spannvorrichtung wie in Kapitel 6.2.1 Abb. 16 verwendet werden. Nur die Befestigungslöcher des Montagebügels haben sich geändert, damit der Kniehebel an den Löchern der Grundplatte fixiert werden kann.

Zusammengesetzte Konstruktion

In Abb. 19 ist die zusammengesetzte Konstruktion dargestellt. Die Vorteile dieses Konzeptes liegen in der Schnelligkeit und Handhabung, denn durch das alleinige Bedienen des Kniehebels kann die Platine fixiert oder gelöst werden. Des Weiteren sind keine fragilen Bauteile verbaut, was wiederum das Konzept sehr widerstandsfähig gegen äußere Einflüsse macht:

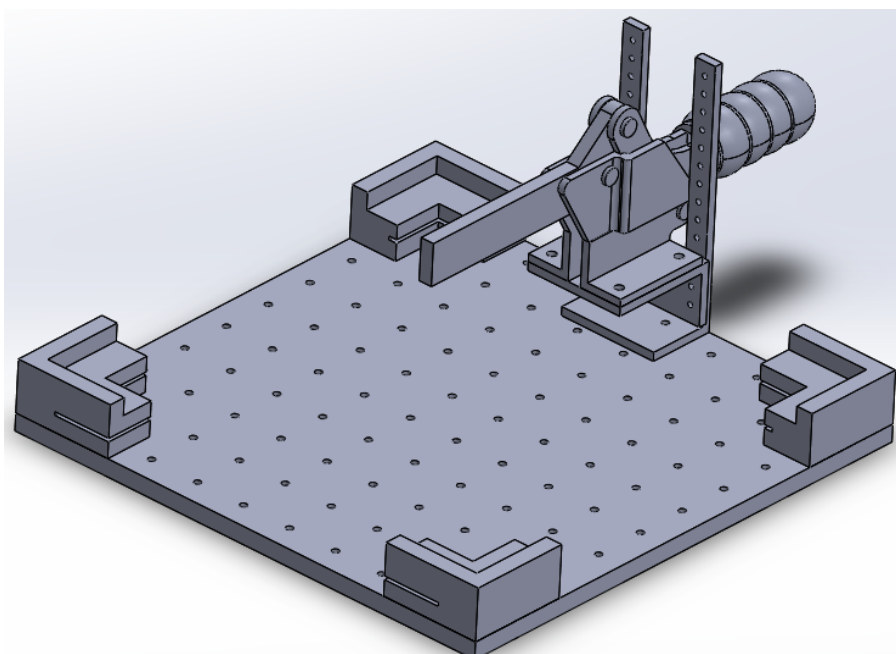


Abb. 19: Baugruppe Konzept B – Nadelbett, Quelle: Eigene Darstellung.

6.2.3 Konzept C: Druckplatte

Konzeptbeschreibung:

In Konzept C wird eine Adapterplatine, welche mit Federkontakten bestückt ist, von oben in eine Box gelegt und dabei von vier Führungsstangen fixiert. In der Endposition liegt die Platine dem Umfang entlang auf und wird dadurch gestützt. Die Adapterplatine ist mit vier Führungen ausgestattet, was ein zentriertes Aufsetzen der zu prüfenden Platine ermöglicht. Nachdem die Platine, die geprüft werden soll, eingelegt wurde, wird die Druckplatte aufgesetzt. Die Druckplatte ist dabei mit Kunststoffstiften versehen, welche die Platine an den freiliegenden Stellen nach unten, auf die Federkontakte, drückt. Über zwei seitlich befestigte Kniehebel wird die Druckplatte zusätzlich auf die Platine gedrückt.

Grundplatte mit Seitenteilen und Führungsstangen:

Die Grundplatte dient in Konzept C der Stabilität, da die Seitenteile daran befestigt sind. Um weitere Stabilität in den Aufbau zu bringen, sind die Seitenteile zueinander verschraubt. Die Erhöhung im Inneren der Konstruktion dient zur Fixierung der Führungsstifte und als Auflagefläche für die Adapterplatine. In Abb. 20 ist die Grundplatte mit den Seitenteilen und den Führungsstangen ersichtlich:

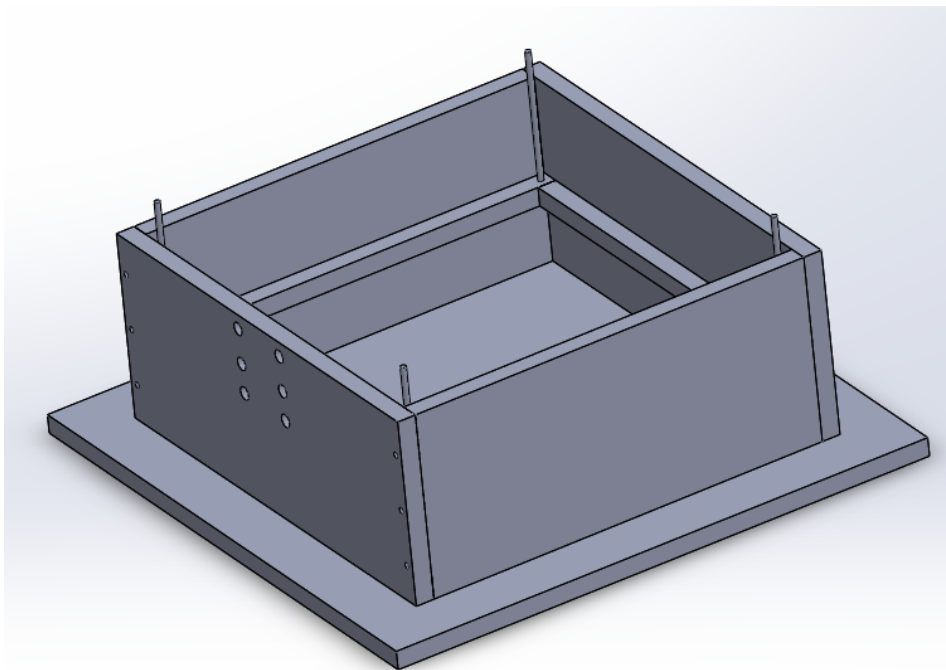


Abb. 20: Grundplatte mit Seitenteilen und Führungsstangen, Eigene Darstellung.

Druckplatte:

Die Druckplatte wird über dieselben Führungsstangen geführt wie die Adapterplatine. In die Öffnungen können Kunststoffstifte eingesetzt werden. Durch die zahlreichen Öffnungen ist es möglich, die Kunststoffstifte so zu positionieren, dass sie an einer freien Stelle auf die Platine treffen. Dadurch wird kein Druck auf ein empfindliches Bauteil der Platine ausgeübt, auch werden Beschädigungen vermieden. Da die Druckplatte im Anschluss wieder entfernt werden muss, wurden zwei Griffe, wie in Abb. 21 dargestellt, hinzugefügt:

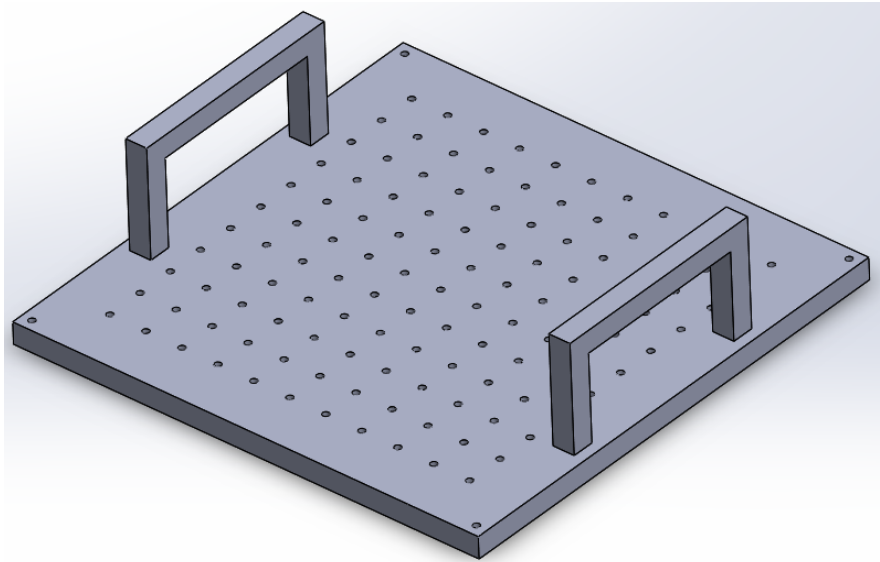


Abb. 21: Druckplatte mit Griff, Eigene Darstellung.

Spannvorrichtung:

Als Spannvorrichtung wird, wie in Konzept A und Konzept B, ein Kniehebel verwendet, jedoch ist hier die Spannvorrichtung außen an den Seitenteilen befestigt. Im geschlossenen Zustand drücken die Kniehebel auf die Druckplatte und somit die zu prüfende Platine auf die Federkontakte der Adapterplatine. Im geöffneten Zustand ist der Arm des Kipphebels weit nach hinten geneigt und kollidiert somit nicht beim Entfernen der Druckplatte oder dem Einlegen einer anderen Adapterplatine. In Abb. 22 sind die Spannvorrichtungen im geschlossenen Zustand zu sehen.

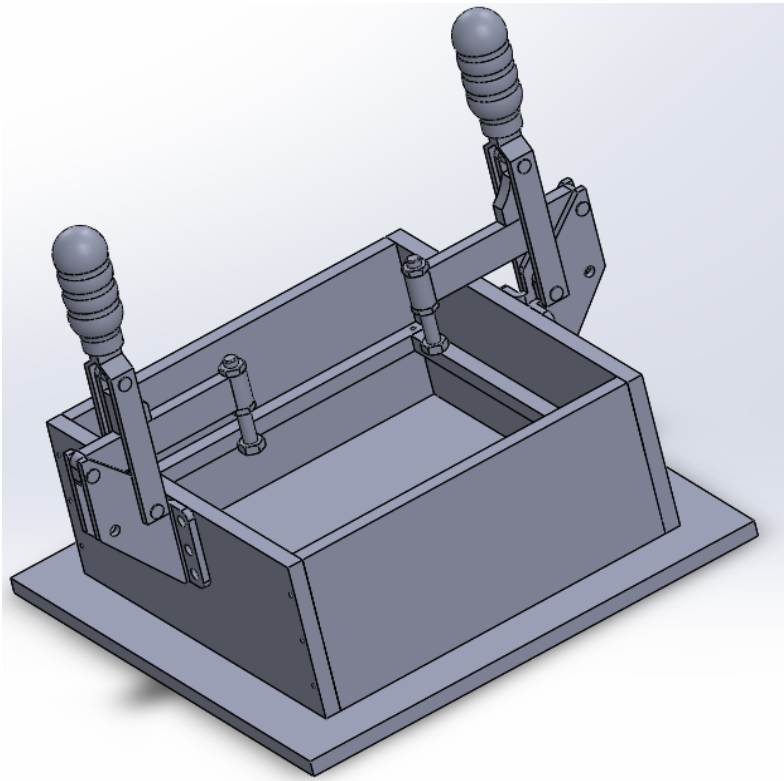


Abb. 22: Spannvorrichtung Konzept C – Druckplatte, Eigene Darstellung.

Zusammengesetzte Konstruktion:

Die Abb. 23 zeigt die Konstruktion im zusammengesetzten Zustand. Die Spannvorrichtungen drücken auf die Druckplatte, welche wiederum die Kraft auf die Platine und die Federkontakte leitet. Wird die Spannvorrichtung geöffnet, kann die Druckplatte entnommen und eine neue Platine eingelegt werden:

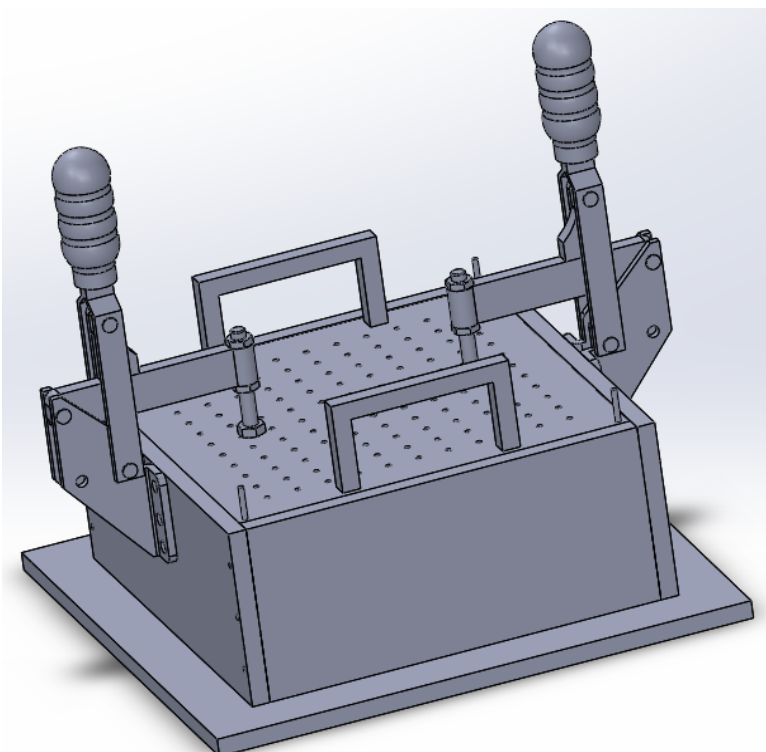


Abb. 23: Baugruppe Konzept C – Druckplatte, Quelle: Eigene Darstellung.

6.3 Auswahl eines Konzepts

In Kapitel 6.3 werden die Vor- und Nachteile der in Kapitel 6.2 ausgearbeiteten Konzepte betrachtet. Im Anschluss werden diese mittels einer Bewertungsmatrix evaluiert.

Konzept A: Schienensystem

Vorteile: Die Vorteile dieses Konzeptes liegen in seiner Flexibilität, denn über die zwei miteinander verbundenen Schienenpaare kann durch einfaches Verschieben der Führungsstifte jede notwendige Position eingenommen werden.

Nachteile: Wenn die Platinen eingelegt wurden und eine Prüfung durchgeführt wird, kann man in die Konstruktion und auf leitende Bauteile oder Kontakte der Platinen greifen. Es besteht also ein gewisses Risiko, weshalb noch eine Abdeckung des Konzeptes konzipiert werden muss. Ein weiterer negativer Aspekt von Konzept A besteht darin, dass die Spannkraft nur mittig auf einen Punkt wirkt. Aufgrund dessen wäre eine Durchbiegung von großflächigen Platinen denkbar oder es könnten Bauteile, welche mittig angeordnet sind, beschädigt werden.

Konzept B: Nadelbett

Vorteile: Die Vorteile von Konzept B liegen in der schnellen Anwendung, denn nach dem Einschieben der Adapterplatine muss der Prüfling nur aufgelegt und mit dem Kipphebel fixiert werden. Es werden in Konzept B keine fragilen Bauteile eingesetzt, dadurch sind hohe Wiederholungszahlen möglich, ohne gegebenenfalls Bauteile wechseln zu müssen.

Nachteile: Da ebenso wie bei Konzept A keine Abdeckung vorhanden ist, muss auch hierfür noch eine Abdeckung gefunden werden. Des Weiteren besteht auch bei Konzept B das Risiko, dass die Platinen beginnen, sich durchzubiegen. Auch dass die Spannkraft punktuell auf die Platine wirkt, ist nicht von Vorteil und erhöht das Risiko von Beschädigungen.

Konzept C: Druckplatte

Vorteile: Durch die vier Führungsstifte sind sowohl die Druckplatte als auch die Adapterplatine geführt, was ein Verkanten oder schiefes Aufsetzen verhindert. Die Spannkraft wird mit zwei Kipphebeln auf die Druckplatte und somit auf die Kunststoffstifte übertragen, dadurch verteilt sich die Kraft, welche auf die Platinen einwirkt, gleichmäßiger. Anhand der vielen Öffnungen in der Druckplatte können die Kunststoffstifte so angebracht werden, dass diese die Platine nur an freien Stellen berühren. Somit werden Beschädigungen, die durch das Einspannen auftreten, vermieden. Das Gehäuse ist so konstruiert, dass es während eines Prüfvorganges verschlossen ist – somit können die Platinen oder deren Kontaktstifte nicht berührt werden. Über die zwei Griffe sollte ein leichtes Aufsetzen und Abnehmen der Druckplatte möglich sein.

Nachteile: Konzept C ist der teuerste Aufbau der drei Konzepte, da zwei Kniehebel verwendet und insgesamt acht verschiedene Bauteile, darunter manche in mehrfacher Ausführung, gefertigt werden

müssen. Erweiterungen sind nur im Rahmen der inneren Abmessungen möglich, was eine gewisse Einschränkung darstellt.

Bewertung der ausgearbeiteten Konzepte

Die Bewertung wird mittels einer Bewertungsmatrix durchgeführt. Die bei der Bewertung verwendeten Kriterien wurden anhand der vorliegenden Informationen festgelegt. Für die Bewertung wird ein Punktesystem von 1-9 verwendet, wobei „9“ für „sehr gut“ und „1“ für „unzureichend“ steht.

Kriterien	Wichtung	Konzept A		Konzept B		Konzept C	
		Punkte	Gewichtet	Punkte	Gewichtet	Punkte	Gewichtet
Flexibilität	0,3	9	2,7	7	2,1	8	2,4
Sicherheit	0,35	3	1,05	4	1,4	8	2,8
Stückzahl	0,25	6	1,5	7	1,75	7	1,75
Erweiterungen	0,1	5	0,5	6	0,6	5	0,5
Summe	1		5,75		5,85		7,45

Tab. 4: Bewertungsmatrix der erarbeiteten Konzepte, Quelle: Eigene Darstellung

Anhand der Tabelle ist klar ersichtlich, dass das Konzept C am besten geeignet ist und somit für den Bau des Prüfgerätes als Vorlage verwendet wird. Das Gehäuse ist so ausgelegt, dass ein ganzer *Wafer* der zuvor in Kapitel 6.2 beschriebenen Platinen Variante eingelegt werden kann. Ein *Wafer* trägt insgesamt neun Platinen, welche in einer quadratischen Drei-mal-drei-Ausrichtung angeordnet sind. Im Zuge dieser Arbeit wird jedoch nur ein Lösungsweg erarbeitet, welcher es ermöglicht, eine einzelne Platine zu testen, und nicht den gesamten *Wafer*.

6.3.1 Betrachtung des ESD-Verhaltens

Um die Platine nicht durch eine ESD zu beschädigen, wird in Kapitel 6.3.1 das Konzept hinsichtlich des ESD-Verhaltens betrachtet.

Elektrostatische Aufladung tritt auf, wenn, wie etwa im Rahmen von Konzept C, zwei Kunststoffplatten aneinanderreiben. Dies wäre bei diesem genannten Konzept der Fall, nämlich beim Einlegen der Druckplatte. Somit könnte sich nach mehrfachem Einlegen und Entnehmen der Druckplatte die gesamte Konstruktion aufladen und sich im Anschluss wiederum auf einer Leiterplatte entladen sowie diese beschädigen. Somit ist klar, dass hier eine geeignete Lösung gefunden werden muss. Es stehen grundsätzlich zwei Lösungswege zur Verfügung:

Lösungsweg A

Es wird ein geeigneter ESD-fähiger Kunststoff für den Bau des Prüfgerätes verwendet. Ein Kunststoff gilt als ESD-fähig, wenn sein Oberflächenwiderstand im Bereich von 1 G Ω liegt. Ist der Oberflächenwiderstand zu hoch, also ein sehr stark isolierendes Material vorliegend, lädt sich dieses zu stark auf: In der Folge können keine Ladungen abfließen. Demgegenüber darf das Material auch nicht zu niederohmig sein, da sich sonst die Ladungen zu schnell entladen und Stromspitzen auftreten. ESD-Kunststoff besitzt einen sehr hohen Materialwert im Vergleich zu herkömmlichem PVC.

Lösungsweg B

Die Konstruktion darf nur auf einer ESD-Unterlage aufgestellt werden. Somit wird sichergestellt, dass sich das Prüfgerät, sollte es aufgeladen sein, über die ESD-Unterlage entlädt und sich nicht erneut aufladen kann. Da eine ESD-Unterlage eine Erdungsanschluss benötigt, muss dieser vorhanden sein.

Auswahl

Anhand einer genauen Betrachtung der Vor- und Nachteile wird entschieden, dass Lösungsweg B angewandt wird, da die Kosten von Lösungsweg A nicht in Relation zu dem damit einhergehenden Nutzen stehen.

7 FEDERKONTAKTE

Da die elektrische Verbindung zwischen der Adapterplatine und der zur prüfenden Platine mittels Federkontakten hergestellt wird, werden diese in Kapitel 7 analysiert und auf ihre Eignung hin überprüft. Sämtliche für einen reibungslosen Ablauf erforderlichen Aspekte werden untersucht.

7.1 Aufbau und Eigenschaften von Federkontaktstiften

Ein Federkontaktstift besteht aus einem Kolben, einem Mantel und einer Feder.

- **Kolben:** Kolben gibt es in vielen verschiedenen Ausführungen. Die Kopfform des Kolbens bestimmt sein Anwendungsgebiet.
- **Mantel:** Der Mantel eines Federkontaktstiftes besteht meistens aus Messing oder Neusilber. Die Mäntel von Kontaktstiften werden entweder gedreht oder tiefgezogen. Da diese als Führung für den Kolben dienen, müssen sie sehr genau gefertigt werden und eine hohe Belastbarkeit aufweisen.
- **Feder:** Das Kernelement eines Kontaktstiftes ist die Feder. Es werden meist Federn in zylindrischer Form eingesetzt, um eine lineare Kraft-Weg-Kennlinie zu erzielen. Als Material kommt Federstahl oder rostfreier Stahl zum Einsatz, für Sonderfälle dagegen nichtmagnetische Materialien.
- **Federkraft:** Die Federkraft eines Kontaktstiftes sollte immer passend für die Anwendung gewählt sein. Es ist zu beachten, dass immer ausreichend Kraft aufgebracht wird, da sich die Federkräfte mit der Anzahl der Kontaktstifte multiplizieren.

In Abb. 24 ist ein ICT-Standardstift abgebildet:



Abb. 24 Darstellung diverser Federkontaktstifte, Quelle: Datenblatt Feinmetall *Contact Technologies* (2015)

Die Lebensdauer der Kontaktstifte ist stark von der realen Belastung abhängig. Querkräfte haben ebenso einen starken Einfluss auf die Lebensdauer wie Schmutz oder Beschädigungen durch Korrosion. Ein weiterer Faktor, der bei Kontaktstiften beachtet werden muss, ist die Treffgenauigkeit. Die Treffgenauigkeit ist abhängig von den Fertigungstoleranzen sowie der Kolbenlänge. Je länger der Kolben des Kontaktstiftes ist, desto weiter kann der Kolbenkopf im ausgefahrenen Zustand vom Mittelpunkt abweichen. Die Abweichung des Kolbenkopfes zur Mittelposition nennt man auch „Täumelstellung“. Es werden viele

verschiedene Arten von Kontaktstiften angeboten. Die bekanntesten Modelle sind der Kurzhubstift, der ICT-Standardstift, der Schraubstift und Schaltstift. Es gibt aber auch Sondermodelle wie Hochstromstifte, Hochfrequenzstifte oder Kugelstifte, die bspw. bei der Kontaktierung von an der Seite liegenden Flächen eingesetzt werden.¹⁰

7.2 Auswahl des Federkontaktstiftes

Die Kopfform des Kolbens muss so bestimmt werden, dass dieser zur Anwendung passt. Die am Campus02 produzierten Platinen besitzen eine Durchkontaktierung aller Kontaktstellen. Um durchkontaktierte Öffnungen dieser Art mittels Federkontaktstiften zu kontaktieren, eignen sich nadelförmige oder Vierkantköpfe am besten. Im Zuge dieser Arbeit werden für die Herstellung der ersten Adapterplatine Kontaktstifte mit Vierkantkopf verwendet. Denn diese bieten im Vergleich zu Nadelköpfen den Vorteil, dass sich die scharfen Flanken des Vierkantkopfes durch eventuell vorkommende Verschmutzungen, wie Lötstopplacke, hindurchschneiden. Des Weiteren werden Federkontaktstifte mit einer Kopfform eingesetzt, welche einen Innenkonus besitzen. Diese Kopfform eignet sich, um *Wire-Wrap*-Pfeifen zu kontaktieren, da diese auch schief verlötete Spitzen einfängt. In Abb. 25 sind die Kopfform „Vierkant“ und „Innenkonus“ dargestellt:

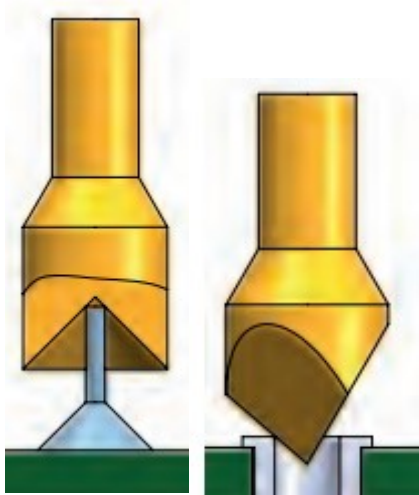


Abb. 25: Links: Kopfform „Innenkonus“; rechts: Kopfform „Dreikant“, Quelle: Datenblatt FKS-102 PMG-Prüftechnik (2018)

¹⁰ Technologies (2018), Online-Quelle [1.9.2018]

7.3 Messungen mit Federkontaktstiften

In Kapitel 7.3 werden zwei Punkte in Bezug auf Messaufbauten mit Federkontaktstiften untersucht und Aussagen über deren Einwirkung getroffen.

Thermoelektrische Spannung:

Ein Thermoelement entsteht durch die Verbindung zweier unterschiedlicher metallischer Materialien. Als Beispiel hierfür sei ein Thermoelement Type-K erwähnt. Dieses setzt sich aus zwei Leitungen zusammen. Ein Draht besteht hierbei aus einer Nickel-Chrom-Legierung, der zweite aus reinem Nickel. Werden diese zwei Drähte miteinander verbunden, liefern diese eine temperaturabhängige Spannung im Mikrovolt-Bereich. Die abgreifbare Spannung ist umso größer, je größer die Temperaturdifferenz der beiden Leiter ist. Da die Temperaturdifferenz zwischen dem Kolben und dem jeweils kontaktierten Material sehr gering ist, kann die auftretende thermoelektrische Spannung vernachlässigt werden.

Widerstand und Verlustspannung:

Bedingt durch die Materialeigenschaften und den mechanischen Aufbau eines Federkontaktstiftes besitzt dieser einen elektrischen Widerstand. Des Weiteren tritt ein Übergangswiderstand bei der Kontaktierung mit Federkontaktstiften auf. Der Gesamtwiderstand einer Kontaktierung ergibt sich also aus dem Bauteilwiderstand, addiert mit dem Übergangswiderstand. Da die Versorgungsspannung über zwei Federkontaktstifte, je ein Federkontaktstift pro Polarität, eingespeist wird, muss der errechnete Gesamtwiderstand bei der Berechnung der auftretenden Verlustspannung mit einem Faktor von Zwei multipliziert werden. Der Bauteilwiderstand wird aus dem Datenblatt ermittelt, der Übergangswiderstand spiegelt einen gemessenen Wert wider. Anhand der Formeln 7.1 und 7.2 werden der Gesamtwiderstand und, da der Nennstrom von 30 Milliampere bekannt ist, die auftretende Verlustspannung errechnet.

$$R_{ges} = R_B + R_{\dot{U}} \quad (7.1)$$

R_B = Bauteilwiderstand
 $R_{\dot{U}}$ = Übergangswiderstand
 R_{ges} = Gesamtwiderstand

$$R_{ges} = 20 * 10^{-3} \Omega + 5 * 10^{-3} \Omega$$

$$R_{ges} = 25 * 10^{-3} \Omega$$

$$U_{ver} = I_N * 2R_{ges} \quad (7.2)$$

U_{ver} = Verlustspannung
 I_N = Nennstrom

$$U_{ver} = 30 * 10^{-3} A * 2 * 25 * 10^{-3} \Omega$$

$$U_{ver} = 1,5 * 10^{-3} V$$

Die Berechnung der auftretenden Verlustspannung hat einen Wert von $1,5 * 10^{-3} V$ ergeben. Da der Wert derart gering ist – er beträgt nur 0,03 % der anliegenden Gesamtspannung – hat dieser keinen Einfluss auf das Prüfgerät und wird somit nicht weiter berücksichtigt.

8 ELEKTRISCHER AUFBAU

In Kapitel 8 wird der gesamte elektronische Aufbau erarbeitet. Es wird dabei festgelegt, wo die Strom- und Spannungsmessungen durchgeführt werden. In weiterer Folge werden die einzelnen Schnittstellen und Verbindungen definiert. Es werden zwei Konzepte für den elektrischen Aufbau ausgearbeitet. Kapitel 8 dient als Basis für alle weiterführenden elektronischen Aspekte des Prüfgerätes.

8.1 Konzeptfindung

8.1.1 Konzept 1: Adapterplatine

Um die geforderten Funktionen einer Adapterplatine zu erarbeiten, wird ein schematischer Aufbau gefertigt, welcher als Basis für die weitere Ausarbeitung der Adapterplatine dienen soll. Des Weiteren werden die geforderten Anschlüsse, unter Berücksichtigung der schematischen Darstellung und der ausgearbeiteten Kernfunktionen, abgeleitet.

8.1.1.1 Schematische Darstellung des Aufbaus

In Kapitel 8.1.1.1 wird ein schematischer Aufbau gefertigt, welcher als Basis für die weitere Ausarbeitung der Adapterplatine dienen soll.

Die Adapterplatine muss über Anschlüsse für eine Strom- und Spannungsmessung verfügen. Des Weiteren gilt es, einen Anschluss für eine Status-LED einzuplanen. Um die Adapterplatine zu versorgen und mit dieser kommunizieren zu können, wird eine USB-Versorgung vom PC genutzt. Die Kontaktierung für die Versorgung, Datenübertragung und für das Booten der Prüfplatine erfolgt über Federkontaktstifte.

In Abb. 26 ist ein schematischer Aufbau der Adapterplatine wiedergegeben:

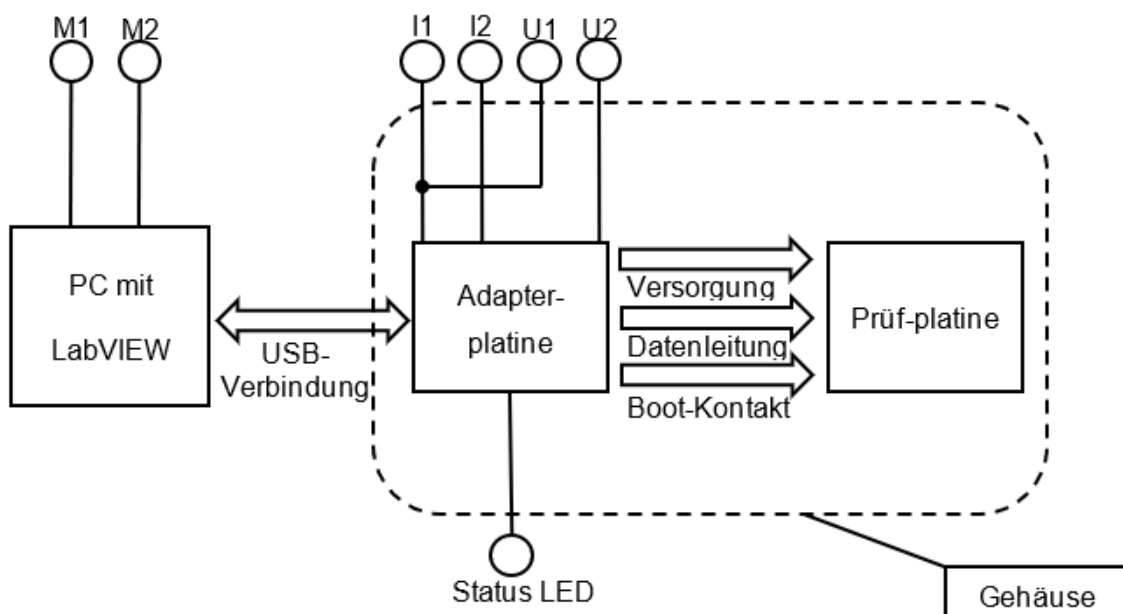


Abb. 26: Schematischer Aufbau der Adapterplatine, Quelle: Eigene Darstellung

8.1.1.2 Ausarbeitung von Kernelementen

In Kapitel 8.1.1.2 wird das in Kapitel 8.1.1.1 dargestellte Schema ausgearbeitet, sodass im Anschluss daran die Funktionen der Adapterplatine bekannt sind und diese gefertigt werden können.

Schnittstellen:

Aus Abb. 26 ist erkennbar, dass mehrere verschiedene Schnittstellen von der Adapterplatine zu anderen Elementen des Prüfgerätes führen. Um die USB-Verbindung zwischen PC und Prüfgerät herzustellen, wird eine Anschlussbuchse im Gehäuse des Prüfgerätes verbaut. Somit kann die Verbindung vom PC zum Prüfgerät und vom Prüfgerät zur Adapterplatine mit je einem USB-Kabel realisiert werden. Die Leitungen, welche für die Strom- und Spannungsmessung verwendet werden, und jene der Status LED werden mit einem Stecker-Buchsen-System realisiert, denn es muss möglich sein, die Adapterplatine aus dem Prüfgerät wieder zu entfernen. Da für die Strom- und Spannungsmessung sowie für die Status-LED insgesamt sieben Leitungen benötigt werden, muss ein Stecker mit einer gleichen oder höheren Pol-Zahl verwendet werden. Die Verbindung zwischen der Adapterplatine und der Prüfplatine wird mit Federkontaktstiften realisiert.

Spannungsversorgung:

Für die Spannungsversorgung der Adapterplatine werden die 5V der USB-Verbindung vom PC genutzt. Die Prüfplatine wird über Federkontakte von der Adapterplatine versorgt.

Strom- und Spannungsmessung:

Die Adapterplatine besitzt drei Ausgänge, welche zum Messen der aufgenommenen Strom- und Spannungswerte der Prüfplatine dienen. Als Messgerät wird je ein externes Amperemeter und ein Voltmeter genutzt, welche über an der Seite des Gehäuses angebrachte Buchsen angeschlossen werden. Die Messgeräte werden über eine USB-Verbindung mit LabVIEW verbunden und können somit mit dem PC ausgelesen werden. Die Kontakte I1 und I2 dienen zur Strommessung, die Kontakte U1 und U2 bezwecken die Spannungsmessung. Es ist zu beachten, dass, wenn kein Amperemeter angeschlossen sein sollte, der Strompfad unterbrochen ist und an Stelle des Messgerätes ein Bügel zwischen den Kontakten I1 und I2 gesetzt werden muss.

Programmierung:

Die Programmierung erfolgt von der Adapterplatine zur Prüfplatine mit einem SWD-Interface. Die dafür benötigten Verbindungen werden mit Federkontaktstiften realisiert.

Boot-Kontakt:

Um die Adapterplatine zu programmieren, müssen zwei Boot-Kontakte miteinander verbunden werden und während des Programmiervorganges auch bleiben. Damit die Platine mit dem eingespielten Programm wieder funktioniert, wird die Verbindung der zwei Boot-Kontakte geöffnet und die Spannung der Prüfplatine einmal für eine Sekunde unterbrochen. Danach läuft die Prüfplatine mit dem eingespielten Programm, und die Prüfung kann fortgesetzt werden.

Status-LED:

Die Status-LED dient zur visuellen Unterstützung des Bedieners. Es kommt eine RGB-LED – eine LED, welche die drei Farben Rot, Grün und Blau erzeugen kann – zum Einsatz. Die LED wird sichtbar an der Außenseite des Gehäuses angebracht. Die LED soll grün leuchten, wenn die Prüfplatine mit 5V versorgt ist, rot, wenn eine zu geringe oder keine Spannung anliegt, und blau blinken, wenn gerade eine Strom- oder Spannungsmessung durchgeführt wird.

8.1.1.3 Adapterplatine

Nachdem in Kapitel 8.1.1.2 alle Schnittstellen definiert wurden, wird in Kapitel 8.1.1.3 die Adapterplatine entworfen. Anhand der in Kapitel 8.1.1.3 ausgearbeiteten Punkte wird die erste Adapterplatine gefertigt.

Anschlüsse:

Die Platine muss über einen Mini-USB-Anschluss verfügen. Dieser Anschluss versorgt die Platine mit der benötigten Spannung. Für die Strom- und Spannungsmessung sind insgesamt drei Anschlüsse nötig, zwei für die Messung des zur Prüfplatine fließenden Stromes und ein Anschluss, über den die anliegende Spannung abgegriffen wird. Für die Versorgung und das Programmieren der Prüfplatine müssen vier weitere Anschlüsse hinzugefügt werden. Für den Bootkontakt und die Status-LED müssen weitere sechs Anschlüsse bereitgestellt werden: zwei für die Boot-Kontakte und vier für die Status-LED. In Tab. 5 sind die Anschlüsse der Adapterplatine aufgelistet:

Bezeichnung	Bezeichnung auf Platine	Zweck	Art des Anschlusses	Anzahl [Stk.]
I1; I2	I1; I2	Strommessung	Durchkontaktierte Öffnung	2
U2	U2	Spannungsmessung	Durchkontaktierte Öffnung	1
Status-LED	R; G; B; GND1	Anzeige	Durchkontaktierte Öffnung	4
Versorgung der Prüfplatine	+5; GND2	Spannungsversorgung Prüfplatine	Durchkontaktierte Öffnung	2
Datenleitung	SWD; SWDCK	Programmierung der Adapterplatine	Durchkontaktierte Öffnung	2
Boot-Kontakt	B1; B2	Programmierung der Adapterplatine	Durchkontaktierte Öffnung	2
USB-Anschluss	VBUS; D-; D+; ID; GND	Spannungsversorgung PC-Verbindung	Löt-Pad für Buchse	5

Tab. 5: Anschlüsse der Adapterplatine, Quelle: Eigene Darstellung

8.1.2 Konzept 2: Softwaregesteuerte Relaisschaltung

In Kapitel 8.1.2 zur softwaregesteuerten Relaisschaltung wird ein weiterer Lösungsweg erarbeitet. Der Grundgedanke hinter dem zweiten Konzept ist, dass für die gesamte Bedienung des Prüfgerätes LabVIEW verwendet wird. Dies hätte den Vorteil, dass keine Adapterplatine benötigt wird und die Anwendung nicht an eine definierte Hardware gebunden ist. Somit würde sich der Grad an Flexibilität weiter erhöhen.

8.1.2.1 Konzeptausarbeitung

Es müssen dieselben Aufgaben wie in Kapitel 8.1.1.2 beschrieben und umgesetzt werden, jedoch wird dafür nur LabVIEW verwendet.

Spannungsversorgung:

Für die Spannungsversorgung der Prüfplatine werden die 5V der USB-Verbindung vom PC genutzt. Die gesamte USB-Leitung, exklusive der Schirmleitung, wird über eine Relaisschaltung mit der Prüfplatine verbunden. Die USB-Leitung kann dadurch, über einen Mausklick, spannungsfrei oder spannungsführend geschaltet werden. Das An- und Abschalten der USB-Leitung wird für die Programmierung der Prüf-PCB benötigt. Die elektrische Verbindung hin zur Prüfplatine wird über Federkontaktstifte realisiert.

Strom- und Spannungsmessung:

Um die Strom- und Spannungsmessung durchzuführen, werden die benötigten Leitungen aus der Relaisschaltung der Spannungsversorgung ausgeführt und an der Seite des Gehäuses angebrachte Buchsen angeschlossen. Als Messgerät wird ein mit LabVIEW verbundenes digitales Multimeter verwendet. Dieses DMM bietet den Vorteil, dass es direkt von LabVIEW ausgelesen und am PC dargestellt werden kann. Es ist zu beachten, dass, sollte das DMM nicht angeschlossen sein, der Strompfad unterbrochen ist und anstelle des Messgerätes ein Bügel zwischen den Strommessungskontakten gesetzt werden muss.

Programmierung:

Die Programmierung erfolgt über die USB-Verbindung vom PC zur Prüfplatine. Denn der Microchip wird am PC wie ein USB-Stick angezeigt, wenn der Bootkontakt geschlossen ist. Um das Programm auf den Microchip zu installieren, muss nur das passende Programm auf der als USB-Stick angezeigten Platine platziert werden.

Boot-Kontakt:

Um die Prüfplatine zu programmieren, müssen, bevor die Versorgungsspannung angelegt wird, zwei Boot-Kontakte mit auf der Platine miteinander verbunden werden und während des Programmiervorganges auch bleiben. Ist der Programmiervorgang beendet, gilt es, die Versorgungsspannung abzuschalten und die Verbindung der Boot-Kontakte wieder zu öffnen. Das Öffnen und Schließen der Verbindung zwischen den Boot-Kontakten kann mit einer von LabVIEW gesteuerten Relaisschaltung realisiert werden.

Status-LED:

Status-LEDs dienen auf der Benutzeroberfläche der visuellen Unterstützung des Bedieners. Es kommen einfarbige LEDs zum Einsatz. In Tab. 6 sind die Anwendungen gelistet, welche durch die Darstellung der LEDs unterstützend angezeigt werden:

Anwendung	LED-Zustand: Eingeschaltet	LED-Zustand: Ausgeschaltet
Spannungsversorgung	Eingeschaltet	Abgeschaltet
Amperemeter angeschlossen	Ja	Nein
Boot-Kontakt	Verbindung geschlossen	Verbindung geöffnet

Tab. 6: Auflistung der durch LEDs angezeigten Zustände, Quelle: Eigene Darstellung

Relaisschaltung:

Wie bereits in den vorhergehenden Punkten erläutert, wird eine Relaisschaltung benötigt. Über die von LabVIEW gesteuerten digitalen Ausgänge können keine Relais geschaltet werden, da diese nicht genug Leistung aufbringen können, um die Relais zu schalten. Damit deren Schaltung dennoch erfolgen kann, wird eine Transistorschaltung vorgeschaltet. Somit ist es möglich, mit den digitalen Ausgängen die Relais zu bedienen.

8.1.2.2 Berechnung der Transistorschaltung

Im folgenden Kapitel wird die Berechnung des Transistors durchgeführt. Da der Transistor als reiner Schalter verwendet wird, wird das Vierfache des eigentlich benötigten Basisstroms verwendet. Dies garantiert ein schnelles und sicheres Durchschalten des Transistors. In Tab. 7 sind alle bekannten Variablen, welche für die Berechnung der Transistorschaltung benötigt werden, wiedergegeben:

Bezeichnung	Wert	Einheit
Basis-Emitter-Spannung	1,2	V
Kollektor-Emitter-Spannung im gesättigten Zustand	0,7	V
Minimaler Verstärkungsfaktor	100	---
Überbestromungsfaktor	4	---
Bauart des Transistors	NPN	---
Versorgungsspannung	5	V
Maximal zulässiger Kollektorstrom	0,8	A

Tab. 7: Kennwerte des Transistors BC337-16, Quelle: Eigene Darstellung

Mit der Formel 8.1 wird R_{Lmin} wird also der minimale Lastwiderstand berechnet. „Minimaler Lastwiderstand“ bedeutet, dass gerade noch der benötigte Schaltstrom des Relais I_{Cmin} in der Höhe von $50 \cdot 10^{-3}$ A fließt. Es ist zu beachten, dass die Spule des zu schaltenden Relais bereits einen Ohm'schen Widerstand von 56Ω besitzt. Dieser Betrag muss anschließend von R_{Lmin} abgezogen werden, um den Widerstand des Bauteils R_I zu erhalten:

$$I_{Cmin} = \frac{(V_{CC} - V_{cesat})}{R_{Lmin}} \quad (8.1) \quad \begin{aligned} I_{Cmin} &= \text{Kollektorstrom} \\ V_{CC} &= \text{Versorgungsspannung} \\ V_{cesat} &= \text{Kollektor-Emitter-Spannung} \\ R_{Lmin} &= \text{Minimaler Lastwiderstand} \end{aligned}$$

$$R_{Lmin} = \frac{(V_{CC} - V_{cesat})}{I_{Cmin}}$$

$$R_{Lmin} = \frac{(5 \text{ V} - 0,7 \text{ V})}{5 \cdot 10^{-3} \text{ A}}$$

$$R_{Lmin} = 86 \Omega$$

Im nächsten Schritt kann mit Formel 8.2 der benötigte Basisstrom I_{Bmin} berechnet werden. Es wird der minimale, im Datenblatt angegebene Verstärkungsfaktor B_{min} von 100 für die Berechnung verwendet. Da der Transistor als reiner Schalter agieren soll, wird ein Überstromungsfaktor \ddot{u} von 4 benutzt. Der verwendete Verstärkungsfaktor in Kombination mit der Überbestromung sorgt dafür, dass der Transistor zuverlässig und schnell reagiert:

$$I_{Bmin} = \frac{I_{Cmin}}{B_{min}} \cdot \ddot{u} \quad (8.2) \quad \begin{aligned} \ddot{u} &= \text{Überbestromungsfaktor} \\ B_{min} &= \text{Minimaler Verstärkungsfaktor} \\ I_{Bmin} &= \text{Minimaler Basisstrom} \end{aligned}$$

$$I_{Bmin} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{100} \cdot 4$$

$$I_{Bmin} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Um den in Formel 7.2 errechneten I_{Bmin} zu erreichen, muss der Vorwiderstand passend ausgelegt werden. Die Berechnung des Vorwiderstandes erfolgt mit Formel 8.3.:

$$R_{Vmin} = \frac{(V_{DO} - V_{BEon})}{I_{Bmin}} \quad (8.3) \quad \begin{aligned} R_{Vmin} &= \text{Minimaler Vorwiderstand} \\ V_{DO} &= \text{Einschaltspannung} \\ V_{BEon} &= \text{Basis-Emitter-Spannung} \end{aligned}$$

$$R_{Vmin} = \frac{(3,3 \text{ V} - 1,2 \text{ V})}{0,125 \cdot 10^{-3} \text{ A}}$$

$$R_{Vmin} = 1,05 \cdot 10^3 \Omega$$

Anhand der ersten Testversuche der Schaltung wurde erkannt, dass nicht alle Relais zuverlässig schalten. Als Ursache wurde hierfür der zu genau dimensionierte Schaltstrom von $50 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ festgestellt. Um den Schaltstrom zu erhöhen, muss der Lastwiderstand verringert werden. Es wird eine weitere Berechnung durchgeführt, in welcher der Ohm'sche Widerstand der Relaispule als Vorwiderstand dient, also eine Reduktion des Vorwiderstandes um 30Ω erfolgt:

$$I_C = \frac{(V_{CC} - V_{cesat})}{R_L} \quad (8.1) \quad \begin{aligned} I_C &= \text{Erhöhter Kollektorstrom} \\ V_{CC} &= \text{Versorgungsspannung} \\ V_{cesat} &= \text{Kollektor-Emitter-Spannung} \\ R_L &= \text{Lastwiderstand bzw. Relaispulenwiderstand} \end{aligned}$$

$$I_C = \frac{(5 \text{ V} - 0,7 \text{ V})}{56 \Omega}$$

$$I_C = 69 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Im nächsten Schritt kann mit Formel 8.2 erneut der benötigte Basisstrom berechnet werden. Es werden weiterhin der minimale, im Datenblatt angegebene Verstärkungsfaktor von 100 und ein Überstromungsfaktor von 4 für die Berechnung herangezogen:

$$I_B = \frac{I_C}{B_{min}} \cdot \ddot{u} \quad (8.2) \quad \begin{aligned} \ddot{u} &= \text{Überbestromungsfaktor} \\ B_{min} &= \text{Minimaler Verstärkungsfaktor} \\ I_B &= \text{Basisstrom} \end{aligned}$$

$$I_B = \frac{69 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{100} \cdot 4$$

$$I_B = 2,76 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Um den in Formel 8.2 errechneten I_B zu erreichen, muss erneut der Vorwiderstand passend ausgelegt werden. Die Berechnung des Vorwiderstandes erfolgt mit Formel 8.3.:

$$R_V = \frac{(V_{DO} - V_{BEon})}{I_B} \quad (8.3) \quad \begin{aligned} R_V &= \text{Vorwiderstand} \\ V_{DO} &= \text{Einschalt-Spannung} \\ V_{BEon} &= \text{Basis-Emitter-Spannung} \end{aligned}$$

$$R_V = \frac{(3,3 \text{ V} - 1,2 \text{ V})}{2,76 \cdot 10^{-3} \text{ A}}$$

$$R_V = 760,86 \Omega$$

Die Schaltung wurde auf die erneut berechneten Werte umgebaut und abermals getestet. Durch die Erhöhung des Schaltstromes, welcher durch die Spule des Relais fließt, schalten diese nun zuverlässig. Es wurde bei der Berechnung darauf geachtet, dass die Grenzwerte des Transistors und des Relais nicht überschritten werden.

8.1.2.3 Stromlaufplan der Relaisschaltung

Als Basis für die Fertigung der Relaisschaltung dient ein Stromlaufplan. Die mit Abb. 27 dargestellte Schaltung zeigt einen Teilausschnitt der kompletten Schaltung. Konkret handelt es sich hierbei um die Schaltung der Plusleitung, in Abb. 27 „VUSB-RED“ genannt, der schaltbaren USB-Verbindung. Als Besonderheit ist hier das SPDT-Relay zu erwähnen, denn wenn das Relais „Relay_VUSB-RED“ angezogen ist und das SPDT-Relais nicht, fließt der Strom von Kontakt C des SPDT-Relais zu Kontakt B. Der Kontakt B ist direkt mit der Eingangsbuchse der Strommessung, in Abb. 27 „X11“ genannt, verbunden. Wird jedoch der Transistor mit dem digitalen Ausgang DO2 geschaltet, zieht das SPDT-Relais an, und der Strom fließt von Kontakt C zu Kontakt A. Kontakt A geht direkt auf die Ausgangsbuchse der Strommessung. Die Ausgangsbuchse der Strommessung ist dann unmittelbar mit dem Pin 1 verbunden. Aufgrund der Schaltweise des SPTD-Relais ist es möglich, das Prüfgerät zu betreiben, ohne dass ein Amperemeter angeschlossen ist. Ohne diese Schaltung müsste, sollte kein Amperemeter angeschlossen sein, ein Bügel zwischen den beiden Messbuchsen gesetzt werden:

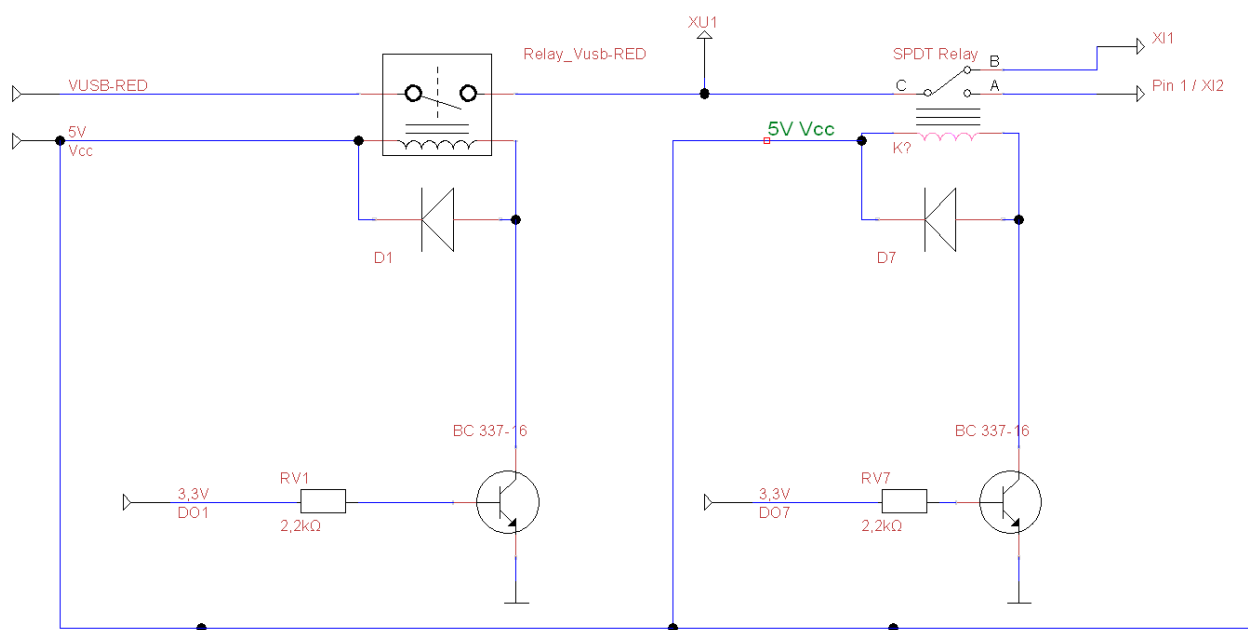


Abb. 27: Relaisschaltung von VUSB-RED, Quelle: eigene Darstellung

Die Freilaufdioden sind, da sonst die Transistoren aufgrund der hohen Spannungsspitzen der Relaisspulen Schaden nehmen würde, notwendig. Der Ohm'sche Widerstand der Relaisspule begrenzt den durch das Relais und den Transistor laufenden Strom auf $69 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

Die Abb. 28 zeigt, wie die Boot-Kontakte geschaltet werden. Hierfür wird am Eingang des Relais der erste Boot-Kontakt angeschlossen und am Ausgang der zweite Bootkontakt, in der Abb. 28 „Boot1“ und „Boot2“ genannt. Wird der Transistor nun über den digitalen Ausgang DO6 geschaltet, zieht das Relais an, und es entsteht eine leitende Verbindung zwischen den beiden Bootkontakten.

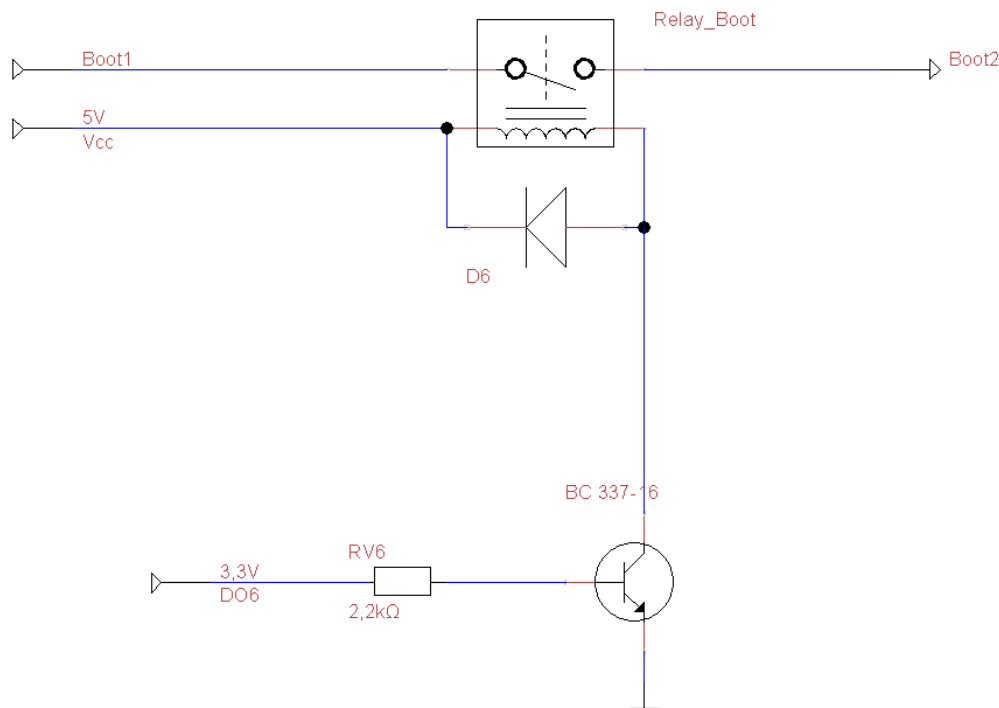


Abb. 28: Relaischaltung der BOOT-Kontakte, Quelle: Eigene Darstellung

8.1.2.4 Verwendete Hardware von *National Instruments*

Um die in Kapitel 8.1.2.1 angeführten Aufgaben zu realisieren, wird ein *myDAQ* von *National Instruments* eingesetzt. Dieses Datenerfassungsgerät beinhaltet acht Messgeräte, welche von LabVIEW bedient werden können. Es enthält ein Digitalmultimeter, ein Oszilloskop und einen Funktionsgenerator. Des Weiteren verfügt *myDAQ* über programmierbare analoge und digitale Ein- und Ausgänge.¹¹

Das Digitalmultimeter des *myDAQ*-Datenerfassungsgerätes wird für die Strom und Spannungsmessung verwendet. Die digitalen Ausgänge werden eingesetzt, um die Transistoren der Relaischaltung zu bedienen.

¹¹ NXP Semiconductors (2017), Online-Quelle [1.September.2018]

In Abb. 29 ist ein *myDAQ* von National Instruments dargestellt:



Abb. 29: *NI myDAQ*, Online-Quelle: www.ni.com [25.9.2018]

8.2 Konzeptauswahl

In Kapitel 8.2 werden die zwei ausgearbeiteten Konzepte nach einer Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile bewertet, wonach das passende Konzept ausgewählt wird.

Konzept 1: Adapterplatine

Vorteil: Der Vorteil der Verwendung einer Adapterplatine liegt darin, dass der Softwareanteil sehr gering und keine weitere Bedienung des Gerätes notwendig ist. Es muss lediglich die Platine eingelegt und die mechanisch schaltbare Spannungsversorgung an- und abgeschaltet werden. Das Programmieren der Prüfplatine beginnt nach dem Anlegen der Versorgungsspannung automatisch. Dies bietet vor allem den Vorteil, dass auch Personen ohne Hintergrundwissen nach einer kurzen Instruktion das Prüfgerät bedienen können.

Nachteile: Die Nachteile bei der Verwendung einer Adapterplatine liegen darin, dass nur sehr schwer auf spätere Änderungen eingegangen werden kann. Als Beispiel hierfür sei eine Änderung der einzuspielenden Software angeführt. Des Weiteren ist auch der Fertigungsaufwand im Vergleich zu Konzept 2 um ein Vielfaches höher.

Konzept 2: Softwaregesteuerte Relaisschaltung

Vorteile: Die Vorteile bei einer softwaregesteuerten Relaisschaltung liegen darin, dass keine aufwändige Adapterplatine gefertigt werden muss. Die gesamte Logik stammt aus dem Softwareprogramm. Des Weiteren ist das Software-Programm, sollte sich das Anwendungsbeispiel ändern, einfach anzupassen. Somit ist ein hoher Grad an Flexibilität, welcher in einem R&D Labor benötigt wird, gegeben.

Nachteile:

Die Relaisschaltung kann nicht über dem 5 V Ausgang des *myDAQ* versorgt werden, da dieser nicht genügend Leistung aufbringen könnte, um alle Relais gleichzeitig zu schalten. Es muss also ein externes 5 V Netzteil verwendet werden.

8.2.1 Auswahl eines der erarbeiteten Konzepte

In Kapitel 8.2.1 wird eines der zwei ausgearbeiteten Konzepte für die Verwendung im Prüfgerät ausgewählt. Als Basis für die Auswahl des Kapitels werden die in Kapitel 8.2 erläuterten Punkte betrachtet.

Es wurde aufgrund der immensen Vorteile, welche dieses Konzept bietet, der Entschluss für die Verwendung einer softwaregesteuerten Relaisschaltung gefasst. In den weiterfolgenden Kapiteln wird nur noch das Konzept 2 betrachtet.

9 SOFTWARE

Das Kapitel 9 Software ist in zwei Schwerpunkte aufgeteilt. Im ersten Teil werden alle Aspekte hinsichtlich der verwendeten Software LabVIEW betrachtet. Diese beinhalten eine genaue Analyse des Aufbaus und der mittels LabVIEW durchgeführten Funktionen.

9.1 LabVIEW

Software wird unter der Berücksichtigung von diversen Aspekten geschaffen – zwei der bekanntesten Schlagwörter hierfür sind „strukturierte“ und „objektorientierte Programmierung“. Aufgrund der immer komplexeren Technik spielt aber auch die Prozessvisualisierung eine immer größer werdende Rolle, denn diese verlangt eine zunehmend bessere Darstellung des laufenden Prozesses, sodass der Überblick behalten werden kann. Man beschränkt sich nicht mehr auf rein konventionelle Anzeigeelemente, sondern stellt den gesamten technischen Prozessablauf graphisch auf einem Anzeigeelement oder einem PC-Bildschirm dar. Die Füllstandanzeige eines Behälters wird dabei nicht mehr nur durch ein auf dem Bildschirm angezeigtes analoges Messgerät dargestellt, sondern auch der Behälter und dessen Inhalt. Aufgrund der graphischen Darstellung ist es auch dem Laien möglich, den Zustand des Prozesses, in diesem Falle die Füllstandmenge, zu erahnen.¹²

Das Software-Paket LabVIEW von National Instruments ist genau für die Visualisierung solcher Prozesse gemacht. Die grafische Programmierung gestaltet sich durch die Verwendung von Funktionsbibliotheken für die Ein- und Ausgabe von Daten auch ohne Kenntnisse über den genauen Datenfluss als einfach. Somit ist eine einfache Programmierung von komplexen Aufgabenstellungen möglich.

9.1.1 Aufgabenstellung

In den in Kapitel 9.1.1 aufgelisteten Unterkapiteln sind die Aufgabenstellungen, welche mittels LabVIEW realisiert werden, festgehalten und weiter definiert.

Die zu erwartenden elektrischen Werte und deren geforderte Auflösung sind in Tab 8 aufgelistet:

Bezeichnung	Nennwert	Maximalwert	Geforderte Auflösung
Strom	$30 \cdot 10^{-3} \text{ A}$	$700 \cdot 10^{-3} \text{ A}$	$1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$
Spannung	5 V	10 V	$10 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

Tab. 8: Auflistung der erwarteten elektrischen Werte und deren geforderte Auflösung, Quelle: Eigene Darstellung

9.1.1.1 Aufnahme und Ausgabe des aufgenommenen Stroms der Prüfplatine

In Kapitel 9.1.1.1 soll geklärt werden, welche Methoden für eine Aufnahme des vorherrschenden Stromes zur Prüfplatine es von LabVIEW gibt und welche sich für die Anwendung beim Prüfgerät eignen. Es stehen grundsätzlich zwei Methoden von LabVIEW zur Durchführung einer Strommessung zur Verfügung.

¹² Georgi (2014), S.19

Methode A bedient sich der Verwendung eines Präzisionswiderstands. Dieser wird in die Schaltung eingebaut, wobei die daran abfallende Spannung gemessen wird. Die Spannung kann über den Analog-Digital-Wandler des „*National Instruments myDaq*“ aufgenommen werden. Durch die Verwendung des Ohm'schen Gesetzes kann, da die gemessene Spannung und der Widerstandswert des Präzisionswiderstandes bekannt sind, der vorherrschende Strom mit dem Programm errechnet werden. Der berechnete Stromwert lässt sich kontinuierlich in einem Anzeigefenster ausgeben.

In Methode B wird der Messwertaufnehmer *myDaQ* wie ein herkömmliches Amperemeter in den Stromkreis geschaltet. Das Messgerät besitzt einen internen Präzisionswiderstand und rechnet den daran abfallenden Spannungswert automatisch in einen Stromwert um. Dies bietet einen großen Vorteil, da kein zusätzlicher externer Präzisionswiderstand benötigt wird. Der vom Messgerät ausgegebene Messwert kann, wie bei Methode A, direkt am Bildschirm ausgegeben werden.

Nach genauer Betrachtung der zwei vorliegenden Methoden und zum Zwecke des Ausnutzens der Ressourcen des Messwertaufnehmers *myDAQ* wird Methode B für das Prüfgerät verwendet.

9.1.1.2 Aufnahme der an der Prüfplatine anliegenden Spannung

Es wird die Spannung der USB-Verbindung, welche die Prüfplatine versorgt, gemessen. Hierfür wird eine Verbindung mit Federkontaktstiften hergestellt. Durch die Überprüfung des Spannungswertes und der in Kapitel 9.1.1.1 beschriebenen Strommessung kann auf die fehlerlose Funktion der Hardware rückgeschlossen werden.

9.1.1.3 Booten der Prüfplatine

Das Schließen der zwei Bootkontakte wird, wie in Kapitel 8.1.2.1 Konzept 2 beschrieben, mit einer Relaisschaltung realisiert. Zur Bedienung werden hierfür Taster an der Benutzeroberfläche angezeigt. Zur visuellen Unterstützung werden LEDs, welche simultan den Zustand des Tasters wiedergeben, an der Benutzerfläche angezeigt. Die Farbe Rot steht hierbei für den geöffneten Zustand, die Farbe Grün beschreibt den geschlossenen Zustand. Somit ist es möglich, die zu prüfende Platine über einen Tastendruck in den Boot-Modus zu bringen, damit diese programmiert werden kann.

9.1.1.4 Schalten der Spannungsversorgung

Um die Prüfplatine zu programmieren, muss diese in den Boot-Modus versetzt werden. Hierfür gilt es, im spannungslosen Zustand den Boot-Kontakt zu schließen. Anschließend muss die Spannung wieder angelegt werden. Das Zu- und Abschalten der Spannung erfolgt über eine Relaisschaltung, welche über LabVIEW gesteuert wird. Zur Steuerung werden an der Benutzeroberfläche angezeigte Schalter verwendet. Der jeweilige Spannungszustand wird über Status-LEDs angezeigt. Die Farbe Rot steht hierbei für einen spannungslosen Zustand, die Farbe Grün beschreibt einen spannungsführenden Zustand.

9.1.2 Programm

In Kapitel 9.1.2 wird das Programm für die Bedienung des Prüfgerätes geschrieben. Das Programm wird unter Berücksichtigung aller definierten Faktoren erstellt. In weiterer Folge werden das Frontpanel und das Blockdiagramm dargestellt.

9.1.2.1 Frontpanel

Das Frontpanel wird so gestaltet, dass dieses übersichtlich und somit einfach zu bedienen ist. Die einzelnen Komponenten sind im Folgenden aufgelistet und beschrieben.

Bedienungselemente und LEDs

Es werden zur Bedienung des Prüfgerätes drei Schalter benötigt. Die eingesetzten Schalter besitzen eine kleine integrierte LED, welche anzeigt, ob der Schalter betätigt ist oder sich im unbestätigten Zustand befindet. Alle drei Schalter, USB-POWER, BOOT und Strom-Messung, sind zum Start des Programms nicht betätigt, um zu gewährleisten, dass keine Relais geschaltet sind und sich kein unkontrollierter Zustand an den Ausgängen einstellt. LEDs beschreiben jeweils einen für die Programmierung der Platine wichtigen Aspekt. Die erste LED, USB-Power-LED, zeigt den Zustand der USB-Spannung an den Federkontaktstiften, also auch der eingespannten Platine, an. LED Zwei „BOOT-Kontakt geschlossen“ spiegelt den Zustand der Bootkontakte wider. Sind die Bootkontakte geschlossen, leuchtet die LED, sind die Bootkontakte geöffnet, dagegen nicht. Eine weitere LED, mit der Bezeichnung „Amperemeter angeschlossen“, wurde hinzugefügt, um dem Benutzer zu signalisieren, in welchem Zustand sich die Anschlüsse der Strommessung befinden. Leuchtet die LED, so kann ein Amperemeter angeschlossen werden, leuchtet die LED nicht, sind die Kontakte miteinander verbunden. In diesem Zustand darf kein Amperemeter angeschlossen werden. Die Schalter und LEDs sind in Abb. 30 ersichtlich:

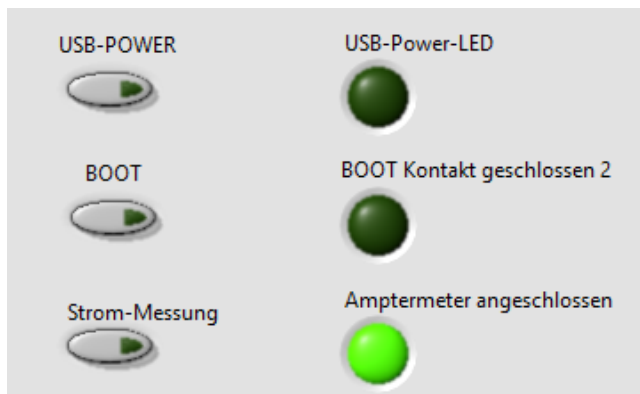


Abb. 30: Verwendete Schalter und LEDs am Frontpanel, Quelle: Eigene Darstellung

Stopp-Taster

Um das Programm zu beenden, wurde ein Stoptaster eingefügt. Des Weiteren wird bei Betätigung des Stoptasters noch die USB-Verbindung zum Prüfgerät spannungsfrei geschaltet. Somit ist gegeben, dass nach Beendigung des Programmes keine Spannung an den Federkontakten anliegt. Der Stoptaster ist am Frontpanel wie in Abb. 31 eingeblendet.

Strom- und Spannungsverlauf

Der Strom- und Spannungsverlauf werden je in einem eigenen Graphen angezeigt. Der mit dem Messgerät aufgenommene Messwert wird auf der Y-Achse aufgetragen. Die blaue Kennlinie stellt den Spannungsverlauf, die rote Kennlinie den Stromverlauf dar. Die Graphen werden mit einer Frequenz von 1 Hz aktualisiert. Des Weiteren werden der aktuell gemessene Strom und die Spannungswerte in einem separat hinzugefügtem Anzeigefenster nummerisch dargestellt. Somit ist der Verlauf von Strom und Spannung und der je aktuell gemessene Wert gut zu erkennen. In Abb. 31 ist der Graph für die Spannungsmessung und der Graph der Strommessung dargestellt.

Frontpanel

Das Frontpanel beinhaltet alle zuvor beschriebenen Komponenten und sieht nach der Zusammenfügung wie in „Abb. 31: Frontpanel, Quelle: Eigene Darstellung“ dargestellt aus. Im oberen linken Bereich befinden sich alle Bedienelemente und Status-LEDs. Der Stopp-Taster ist im oberen mittigen Bereich eingeblendet. Die Graphen, welche den Verlauf der Messwerte anzeigen, befinden sich mittig. Der linke Graph stellt den Spannungsverlauf, der rechte Graph den Stromverlauf dar:

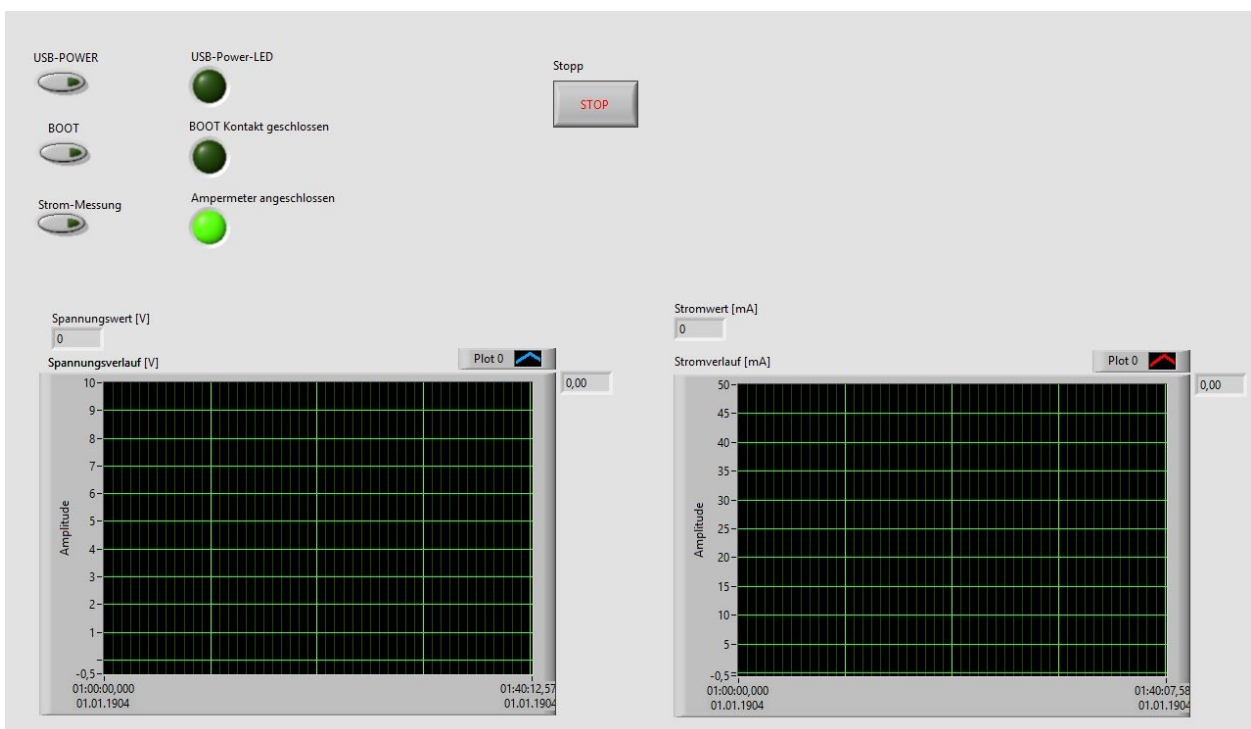


Abb. 31: Frontpanel, Quelle: Eigene Darstellung

9.1.2.2 Blockdiagramm

Im Blockdiagramm sind alle im Frontpanel eingefügten Komponenten wie Taster, Schalter und Anzeigeelemente ebenfalls als logische Bausteine generiert. Diese Bausteine müssen miteinander verknüpft werden, sodass deren wechselseitiges Kommunizieren erfolgen kann. Damit ein Programm in LabVIEW kontinuierlich ausgeführt wird, muss eine Schleife, in diesem Fall eine „*While*-Schleife“, dauerhaft ausgeführt werden. Das gesamte weitere Programm befindet sich in der Schleife und wird immer wieder abgespult. Die *While*-Schleife wird solange ausgeführt, bis die Abbruchbedingung, in diesem Falle ein „*TRUE*“ vom Stoptaster, erfüllt ist. Das sich in der *While*-Schleife befindende Programm ist, wie in Abb. 32 illustriert, in drei Sequenzen aufgeteilt:

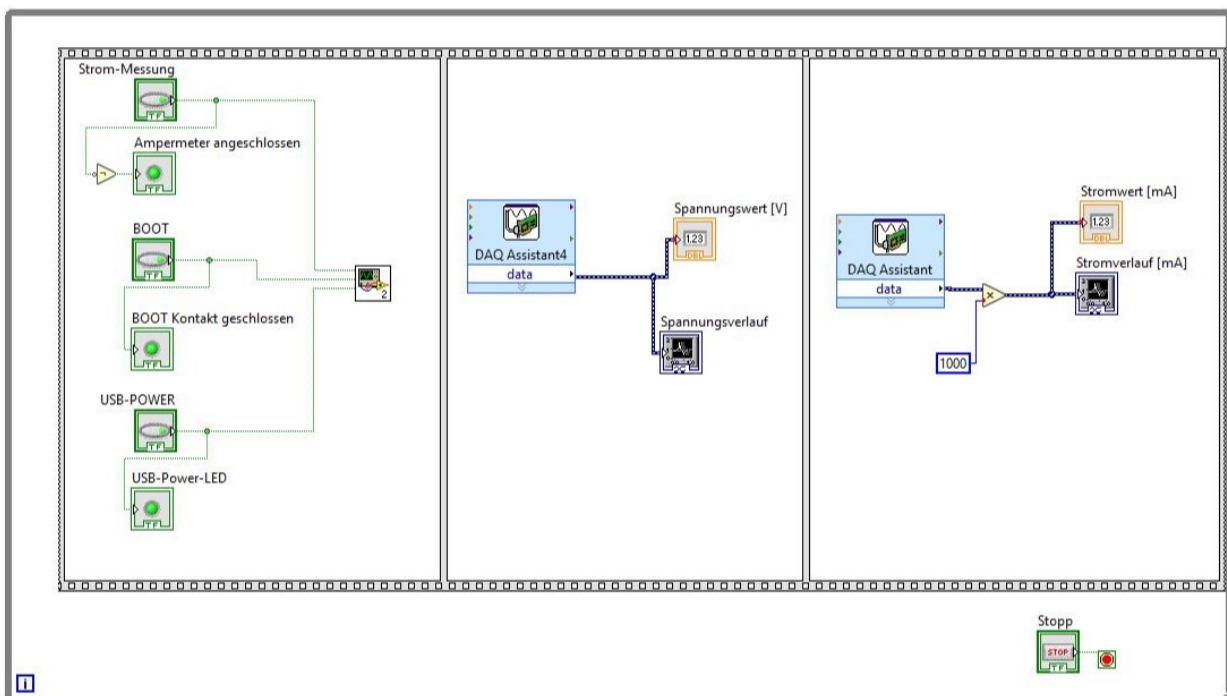


Abb. 32: Blockdiagramm, Quelle: Eigene Darstellung

Die einzelnen Zugriffe auf den *myDAQ* werden in Sequenzen aufgeteilt, um ein strukturiertes und dadurch nachvollziehbares Programm zu erhalten. In weiterer Folge werden die einzelnen Sequenzen erläutert und die Vorgehensweise beschrieben.

Sequenz 1

In Sequenz Eins werden alle Schalter eingelesen und der jeweilige Status an die Anzeige-LEDs weitergegeben. In Abb. 33 sind das Blockdiagramm von Sequenz Eins und die Verknüpfungen der Schalter mit dem SUB-VI dargestellt:

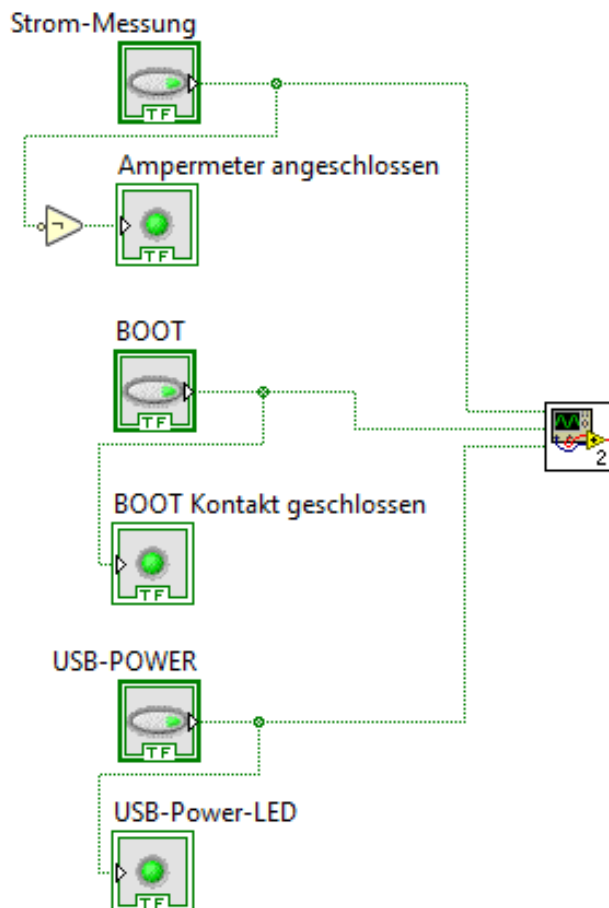


Abb. 33: Blockdiagramm Sequenz 1 mit SUB-VI, Quelle: Eigene Darstellung

Der Schalter Strom-Messung ist negiert mit der LED „Amperemeter angeschlossen“ verbunden. Somit stellt diese den in Kapitel 9.1.2.1 „Bedienungselemente und LEDs“ beschriebenen Zustand dar. Der Kontakt BOOT liefert ein direktes Signal an die „LED BOOT Kontakt geschlossen“. Der Taster USB-Power ist mit demselben Prinzip mit der USB-Power-LED verbunden. Alle drei Schalter werden, wie in Abb. 33 ebenfalls dargestellt, zusätzlich von einem SUB-VI, also einem Unterprogramm, eingelesen. Das SUB-VI wertet die Eingänge, in diesem Fall die drei Schalter, aus und reagiert auf die Zustandsänderungen.

In Abb. 34 ist das Blockschaltbild des Unterprogramms dargestellt:

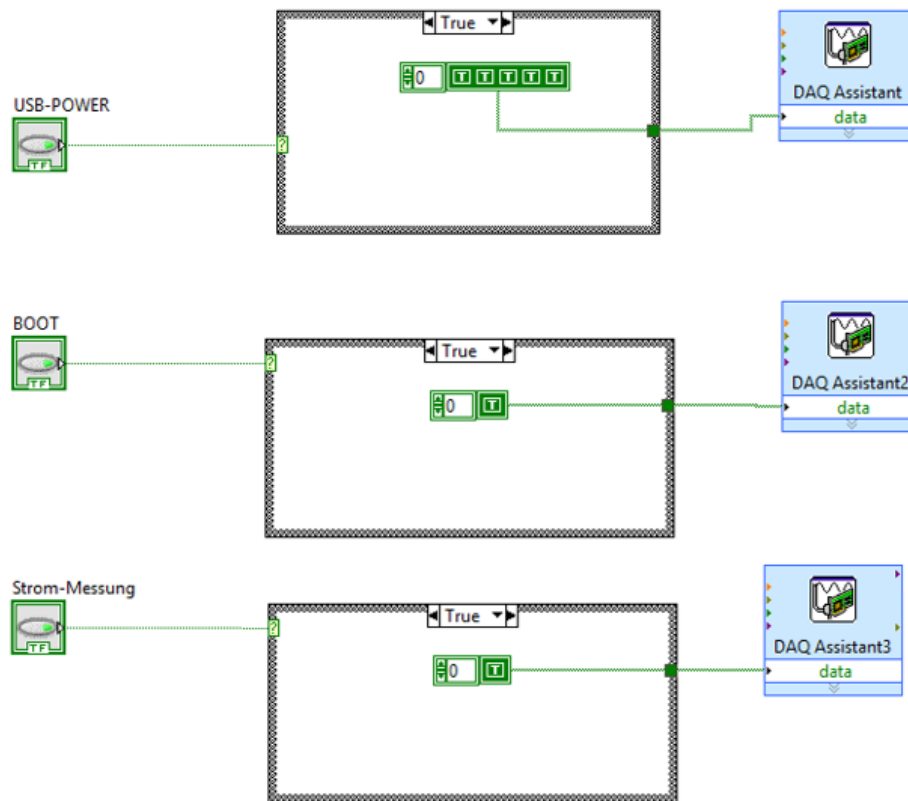


Abb. 34: Blockdiagramm des SUB-VIs mit Schalterauswertung, Quelle: Eigene Darstellung

Das Blockschaltbild zeigt drei „CASE“-Funktionen, welche je einen Taster auswerten. Die CASE-Funktion erwartet am Eingang einen Boole'schen Wert, also „HIGH“ oder „LOW“. Liefert der eingelesene Schalter ein HIGH, so schickt die CASE-Funktion ein Array an den „DAQ Assistant“, um die benötigten digitalen Ausgänge zu schalten. Um die USB-Versorgung zu schalten, wird die erste CASE-Funktion genutzt, welche den Schalter USB-POWER auswertet. Liefert dieser nun ein HIGH-Signal, schickt die CASE-Funktion ein Array an den DAQ Assistant, um die in Abb. 35 definierten digitalen Ausgänge zu setzen. Die digitalen Ausgänge werden im Programm als „line“ und mit einer fortlaufenden Nummer gekennzeichnet:

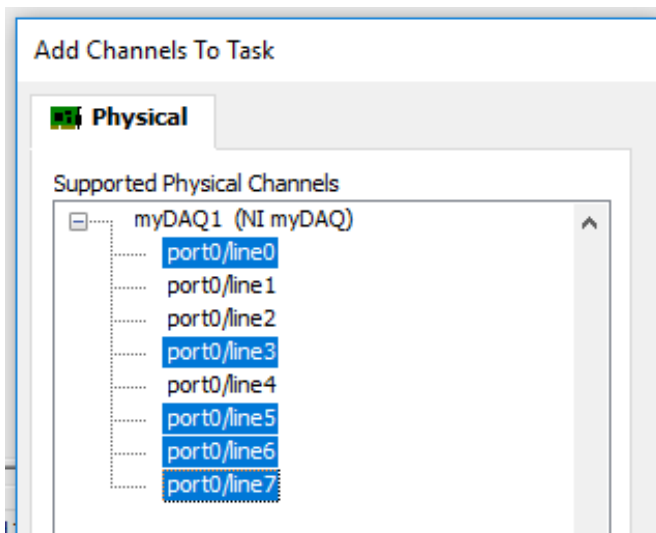


Abb. 35: Definition der digitalen Ausgänge des myDAQ zum Schalten der USB-Verbindung, Quelle: Eigene Darstellung

Liefert der Taster nach erneuter Betätigung ein *LOW*-Signal, schickt die *CASE*-Funktion wie in Abb. 36 ein *Array* aus, welches die zuvor angesteuerten Ausgänge wieder zurücksetzt:

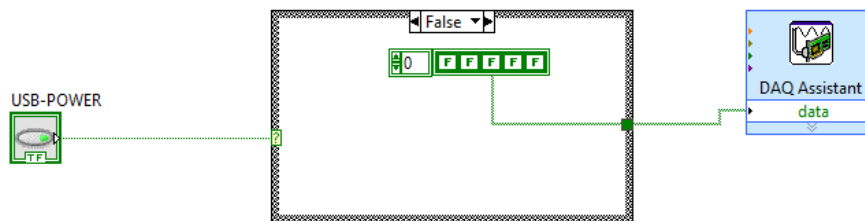


Abb. 36: *CASE*-Funktion beim Anliegen eines *LOW*-Signals des *USB-POWER*-Schalters, Quelle: Eigene Darstellung

Alle weiteren digitalen Ausgänge werden mit derselben Vorgehensweise angesteuert.

Sequenz 2

In Sequenz Zwei wird die Spannungsmessung durchgeführt. Hierfür wird die *USB*-Spannung, welche zu den Federkontakten führt, abgegriffen und an den *ADC*-Eingang des *myDAQ* angeschlossen. Um die Werte auszulesen, wird ein *DAQ-Assistent* kreiert, welcher den *myDAQ* ausliest und die gespeicherten Daten ausgibt. Die Daten werden dann in den am Frontpanel erstellten Graphen und numerischen Anzeigeelement eingespielet. In Abb. 37 ist die logische Schaltung des Blockschaltbildes dargestellt:

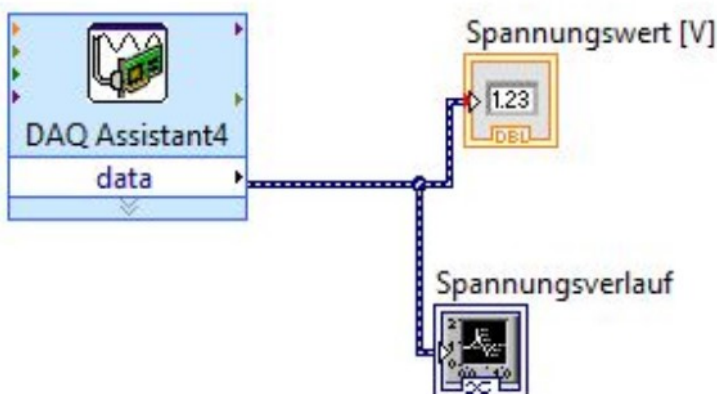


Abb. 37: Blockdiagramm von Sequenz 2, Auslesen und Anzeigen des Spannungswertes, Quelle: Eigene Darstellung

Sequenz 3

In Sequenz Drei wird die Strommessung durchgeführt. Hierfür wird der Strom des Pluspols der USB-Spannung, welche zu den Federkontakten führt, gemessen. Zur Strommessung werden die an der Anschlussbox verwendeten Ausgänge mit den Messbuchsen des *myDAQ* verbunden. Um die Werte auszulesen, wird, wie in Sequenz Zwei, ein *DAQ Assistant* kreiert, welcher den *myDAQ* ausliest und die gespeicherten Daten ausgibt. Die Daten werden, da diese in Form von Ampere vorliegen, mit einem konstanten Faktor von 1.000 multipliziert, um diese in Milliampere umzurechnen. Anschließend werden die Daten dann in den am Frontpanel erstellten Graphen und numerischen Anzeigeelement eingespielt. In Abb. 38 ist die Schaltung zum Ermitteln des Stromwertes dargestellt:

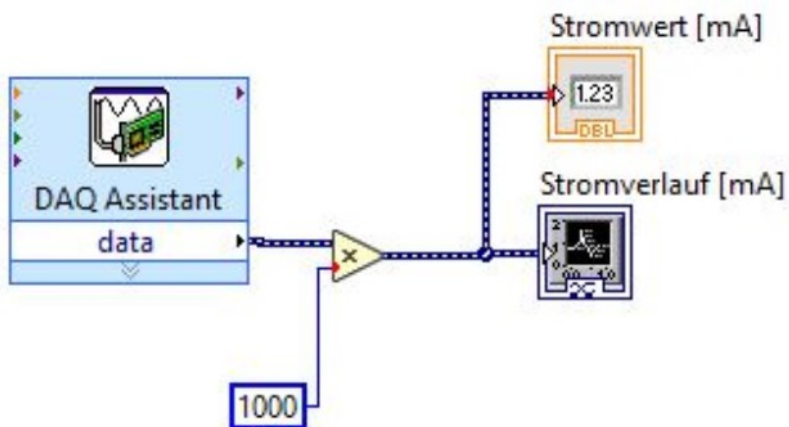


Abb. 38: Blockdiagramm von Sequenz 3, Auslesen und Anzeigen des Stromwertes, Quelle: Eigene Darstellung

Wurde Sequenz Drei abgearbeitet, wird die *While*-Schleife erneut durchlaufen und abermals Sequenz Eins bis Drei abgearbeitet.

10 ZUSAMMENBAU

In Kapitel 10 wird der Verlauf des Zusammenbaus dargestellt. Dies beinhaltet die gesamte Fertigung der einzelnen Bauteile sowie die Auflistung der zugekauften Komponenten.

10.1 Fertigung der einzelnen Konstruktionsbauteile

Anhand des in Kapitel 6.2.3 „Konzept C“ erarbeiteten Konzeptes werden die einzelnen Platten gefertigt. Alle mechanischen Bearbeitungsschritte werden mit einer Fräsmaschine CNC-gesteuert durchgeführt. Dadurch ist ein hoher Grad an Genauigkeit gegeben und somit eine passgenaue Funktion gewährleistet. In Tabelle 9 sind alle gefertigten Platten aufgelistet:

Bezeichnung	Material	Länge	Breite	Höhe	Anzahl
Einheit	---	mm	mm	mm	Stück
Seitenteil A	PVC	220	100	10	2
Seitenteil B	PVC	240	100	10	2
Grundplatte	PVC	300	300	10	1
Druckplatte	PVC	220	220	10	1
Adapterplatte	PVC	220	200	19	1
Griffstück A	PVC	100	10	10	2
Griffstück B	PVC	40	10	10	4

Tab. 9: Abmessungen der Kunststoffplatten, Quelle: Eigene Darstellung

10.2 Beschaffung der eingekauften Komponenten

In Kapitel 10.2 sind alle Zukaufteile, welche für den Zusammenbau der einzelnen Konstruktionsbauteile benötigt wurden, aufgelistet.

10.2.1 Mechanische Bauteile

In Kapitel 10.2.1 sind alle mechanischen Bauteile und deren Verwendung dargestellt.

10.2.1.1 Federkontaktstifte & Montagehülsen

Zur Herstellung der elektrischen Verbindung werden, wie in Kapitel 7 ausgearbeitet, Federkontaktstifte eingesetzt. Um die in Kapitel 7 erarbeitete Verbindung zu realisieren, wurden die Federkontaktstifte von der Firma „PMG Prüftechnik“ bezogen. Es handelt sich um den Federkontaktstift FKS-102 mit vergoldetem Kolben und Gehäuse. Aufgrund der in Kapitel 7.2 „Auswahl des Federkontaktstiftes“ angeführten Kriterien wurden zwei Kopfformen ausgewählt. Die Kopfform Eins besitzt einen Vierkant und ist somit für die Kontaktierung von durchkontaktierten Öffnungen geeignet, Kopfform Zwei besitzt einen Innenkonus und eignet sich für die Kontaktierung von *Wire-Wrap*-Pfosten. Um die Federkontaktstifte in der Adapterplatte zu befestigen, wurden passende Montagehülsen bestellt. Die Montagehülsen bieten zwei Vorteile, denn

sollte der Federkontaktstift beschädigt sein, kann dieser ausgetauscht werden. Die Montagehülse hat zudem eine vorgesehene Öffnung, um eine Verbindungsleitung mittels einer Lötverbindung dauerhaft zu befestigen. In Tabelle 10 ist eine Auflistung aller Kenndaten der Federkontaktstifte wiedergegeben:

Modellbezeichnung	FKS-102-17-B130G225	FKS-102-01-B119G200
Nenn-Hub	$4,3 * 10^{-3} \text{ m}$	$4,3 * 10^{-3} \text{ m}$
Max. Hub	$6,4 * 10^{-3} \text{ m}$	$6,4 * 10^{-3} \text{ m}$
Federkraft	2 N	2 N
Treffgenauigkeit	$\pm 0,09 * 10^{-3} \text{ m}$	$\pm 0,09 * 10^{-3} \text{ m}$
Kopfform	Vierkant	Innenkonus
Widerstand	$20 * 10^{-3} \Omega$	$20 * 10^{-3} \Omega$

Tab. 10: Kenndaten der Federkontaktstifte: Quelle: Eigene Darstellung

In Abb. 39 sind die ausgewählten Federkontaktstifte dargestellt:

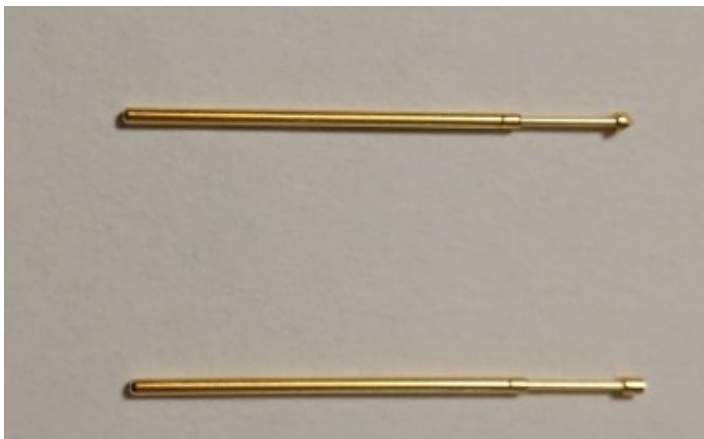


Abb. 39: Oben: Federkontaktstift FKS-102-17-B130G225; unten: Federkontaktstift FKS-102-01-B119G200, Quelle: Eigene Darstellung

10.2.1.2 Kniehebel

Um die in Kapitel 6.2.3 „Konzept C“ gezeigte Spannvorrichtung zu realisieren, wurde ein Kniehebel der Firma „KIPP GmbH“ bestellt. Es handelt sich hierbei um einen Kniehebel, welcher vertikal verbaut wird und einen Öffnungswinkel von 160° besitzt. Durch den großen Öffnungswinkel kann die Druckplatte des Prüfgerätes leicht entnommen und die zu prüfende Platine gewechselt werden. Zudem liefert der Kipphebel eine Spannkraft von 1.150 N, was bedeutet, dass die Druckplatte mit 2.300 N nach unten gedrückt wird. In Tabelle 11 sind die Nenndaten des verwendeten Kniehebels nochmals aufgelistet:

Modellbezeichnung	Öffnungswinkel / °	Max. Haltekraft / N	Spannkraft / N	Anzahl / Stück
K00063.0300	160	3000	1150	2

Tab. 11: Kenndaten des Kniehebels, Quelle: Eigene Darstellung

In Abb. 40 ist der ausgewählte Kniehebel im montierten Zustand abgebildet:



Abb. 40: Kniehebel Modell: K00063.0300 Quelle: Eigene Darstellung

10.2.1.3 Anschlussbuchsen

Die Anschlussbuchsen werden an der Anschlussbox montiert und zum Verbinden der Anschlussbox und des *myDAQ* genutzt. Es wird der zur Prüfplatine fließende Strom gemessen. Die in Abb. 41 dargestellten Buchsen können über die Messleitung mit dem Amperemeter des *myDAQ* verbunden werden.



Abb. 41: Anschlussbuchsen zur Strommessung, Online-Quelle: www.conrad.at [20.10.2018]

10.2.1.4 D-Sub-Steckverbinder

Die D-Sub-Steckverbinder werden am Eingang sowie Ausgang der Anschlussbox verwendet. Aufgrund der hohen Pol-Zahl und der hervorragenden Schirmungseigenschaften eignet sich der D-Sub für die Anwendung in der Anschlussbox. Die verwendeten D-Sub-Steckverbinder sind in Abb. 42 dargestellt:



Abb. 42: D-SUB Steckverbinder, Online-Quelle: www.conrad.at [20.10.2018]

10.2.2 Elektronische Bauteile

In Kapitel 10.2.2 sind alle Bauteile angeführt und deren Verwendung beschrieben.

10.2.2.1 Relais-Transistor

Das in Abb. 43 dargestellte Printrelais dient als Schalter und wird über den in Abb. 44 dargestellten Transistor gesteuert. Da sieben Relais gleichzeitig geschaltet werden, dient ein externes 5-V-Netzteil als Spannungsquelle:



Abb. 43: Printrelais-Modell: FRS1B-S-DC05, Online-Quelle: www.conrad.at [20.10.2018]

Wie in Kapitel 8.1.2.3 beschrieben, wird der Transistor über einen digitalen Ausgang angesteuert. Der Transistor besitzt einen I_C von 0,8 A und kann somit zum Schalten des Relais eingesetzt werden.

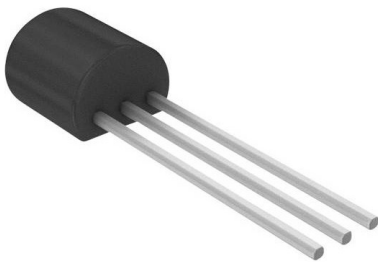


Abb. 44: Transistor-Modell: BC337-16, Online-Quelle: www.conrad.at [20.10.2018]

10.3 Zusammenbau & Test der Mechanik

Um das in Kapitel 6.2.3 erarbeitete Konzept zu realisieren, wird dieses leicht abgeändert. In Abb. 45 ist nochmals das erarbeitete 3D-Modell dargestellt:

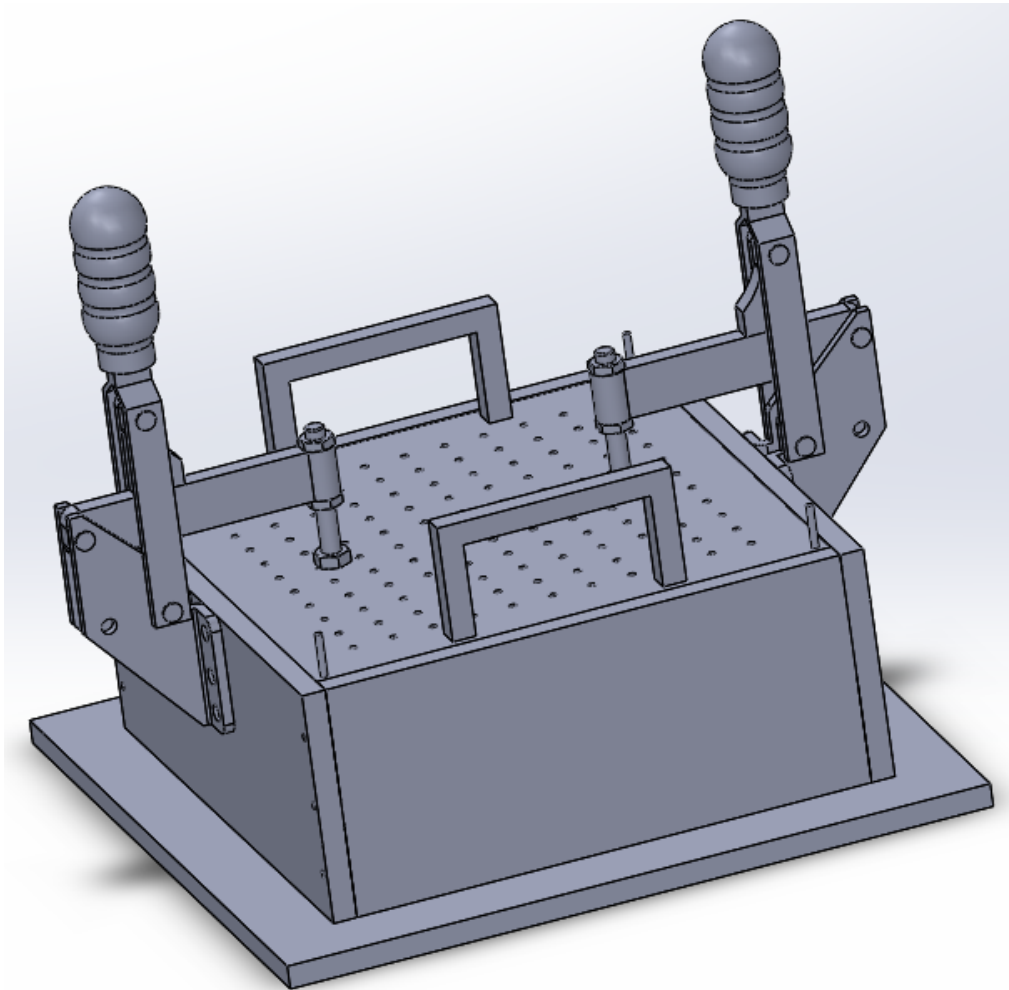


Abb. 45: Konstruktion von Konzept C, Quelle: Eigene Darstellung

Wie bei der Konzeptfindung beschrieben und in Abb. 45 dargestellt, wird die Druckplatte und die sich im Inneren befindende Adapterplatte auf vier Führungsstangen geführt. Die Adapterplatte wird dabei von einem innen umliegenden Steg gehalten. Es wird auf den umliegenden Steg verzichtet, die Führungsstangen werden durch Gewindestangen ersetzt. Die Adapterplatte wird über eine Kontermutter auf einer davorliegenden Metallscheibe gehalten. Durch die Änderung von Führungsstangen auf Gewindestangen ergab sich der Vorteil, dass die Adapterplatte in ihrer Höhe verstellbar ist. Somit kann diese auf sich ändernden Höhenanforderungen eingestellt werden.

In Abb. 46 ist die Adapterplatte auf montierten Gewindestangen illustriert:

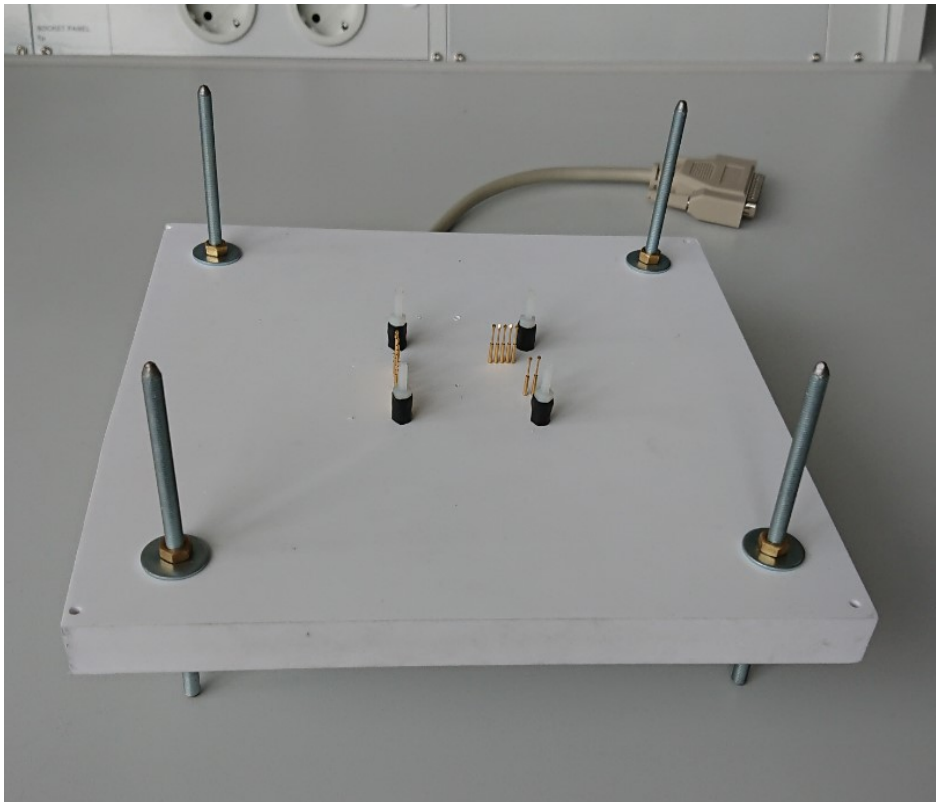


Abb. 46: Adapterplatte auf Gewindestangen montiert, Quelle: Eigene Darstellung

Des Weiteren muss eine Öffnung, für die vom Inneren des Prüfgerätes nach außen führende D-SUB-Leitung, ergänzt werden. Aufgrund der ergänzten Öffnung für die D-SUB-Leitung ist es nun möglich, die außenliegende Adapterplatte mit der innenliegenden zu verbinden. In Abb. 47 ist die Öffnung mit einer D-SUB-Leitung dargestellt:



Abb. 47: Verbindung von Prüfgerät und Anschlussbox über D-SUB-Leitung, Quelle: Eigene Darstellung

Im Zuge der Realisierung wird die gefertigte Relaisschaltung in eine PVC-Box, in weiterer Folge „Anschlussbox“ genannt, außerhalb der Prüfvorrichtung montiert. Dies bietet den Vorteil, dass die Elektronikbauteile vor Beschädigungen geschützt sind. Des Weiteren werden an der Außenseite der Anschlussbox die benötigten Buchsen der Strommessung montiert. Als Ein- und Ausgangsstecker wird je eine D-SUB-Stiftleiste und eine D-SUB-Buchsenleiste verwendet. Als Eingangsstecker in die Anschlussbox wurde die D-Sub-Stiftleiste, als Ausgangsstecker die D-SUB-Buchsenleiste eingesetzt. Dies bietet den Vorteil, dass im Fehlerfall keine Spannung am Ausgang der Anschlussbox abgegriffen werden kann. In Abb. 48 ist die Anschlussbox abgebildet:



Abb. 48: Anschlussbox, Quelle: Eigene Darstellung

11 PRÜFVORGANG

In Kapitel 11 wird der erste, mit dem Prüfgerät durchgeführte Prüfvorgang dargestellt und erklärend beschrieben. Die einzelnen Tätigungsschritte werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

11.1 Aufbau des Prüfgerätes

Um ein sicheres Arbeiten mit dem entworfenen Prüfgerät zu garantieren, muss dieses auf einer nicht rutschenden, ebenen Fläche aufgestellt werden. Des Weiteren muss, um die ESD-Bedingungen zu gewährleisten, das Prüfgerät auf einer ESD-Matte aufgestellt werden. Nur aufgrund der Verwendung einer ESD-Matte ist die Gewährleistung gegeben, dass das Prüfgerät sich nicht aufladen kann und die zu prüfende Platine durch Spannungsspitzen nicht beschädigt wird. Wurde das Prüfgerät aufgestellt, kann die passende Adapterplatte eingelegt werden. Beim Einlegen der Adapterplatte ist darauf zu achten, dass die D-SUB-Steckverbindung fest geschlossen ist und die D-SUB-Leitung nicht zwischen das Gehäuse und die Adapterplatte geklemmt wird. In weiterer Folge kann nun die Anschlussbox montiert werden. Die Anschlussbox ist mit den Beschriftungen „IN“ und „OUT“ gekennzeichnet. Der *OUT*-Anschluss muss mit der aus dem Prüfgerät führenden D-SUB-Leitung verbunden werden. Es ist nicht möglich, den *IN*- und *OUT*-Anschluss zu vertauschen, da die Steckverbindung so ausgewählt wurde, dass im Fehlerfall immer Buchse auf Buchse oder Stecker auf Stecker zeigen und so eine Montage nicht möglich ist. Am *OUT*-Anschluss muss die modifizierte *D-SUB*-Leitung angeschlossen werden. Die offenen Enden der Leitungen müssen, der Beschriftung entsprechend, an den *myDAQ* und die aus der *D-SUB*-Leitung führende USB-Verbindung an den entsprechenden Rechner angeschlossen werden. In weiterer Folge ist es notwendig, die Messleitungen für die Strom- und Spannungsmessung anzuschließen. Hierfür werden die Anschlussbuchsen des *myDAQ* und der Anschlussbox verwendet und passend ihrer Beschriftungen angeschlossen. Nun muss nur noch der *myDAQ* über seine USB-Verbindung mit dem PC verbunden und Antenne Eins bis Drei passend der Beschriftung angeschlossen werden. In Abb. 49 ist der gesamte Prüfaufbau abgebildet:

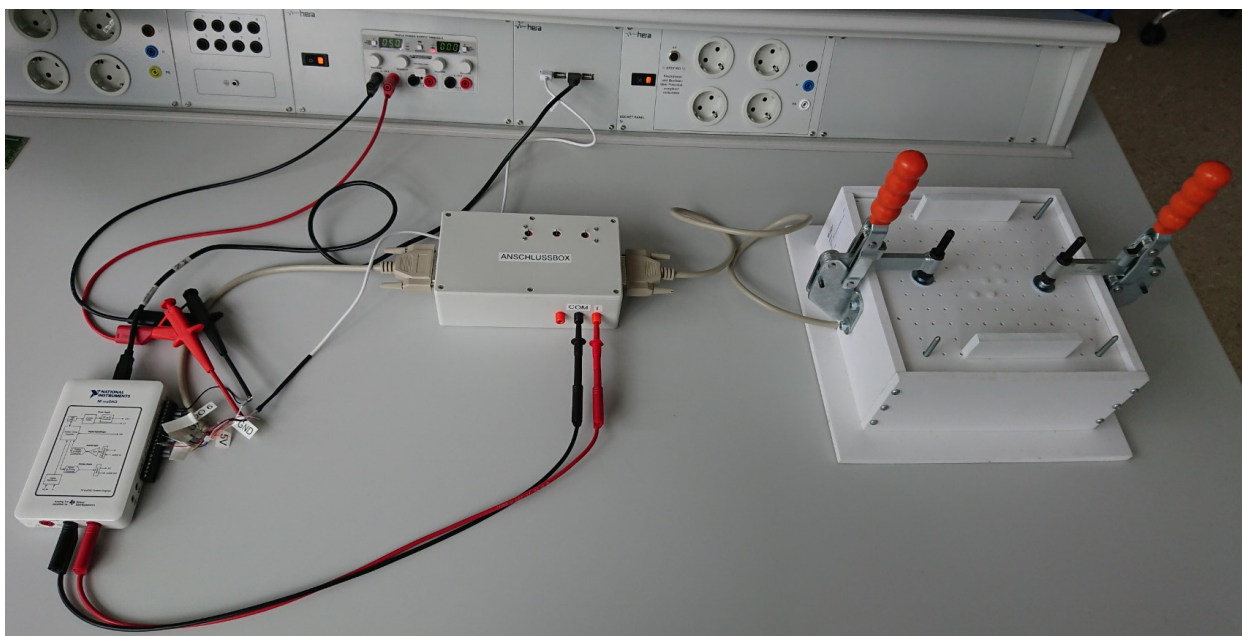


Abb. 49: Prüfaufbau, Quelle: Eigene Darstellung

11.2 Inbetriebnahme

Nachdem in Kapitel 11.1 der Aufbau des Prüfgerätes beschrieben wurde, wird mit Kapitel 11.2 die Inbetriebnahme des Prüfgerätes dargestellt. Die Überprüfung teilt sich in einen mechanischen, einen elektrischen und einen Software-Teil auf.

11.2.1 Mechanik

Hierbei wird überprüft, ob alle Steckverbindungen richtig durchgeführt wurden. Des Weiteren soll eine Überprüfung der Federkontaktstifte vorgenommen werden. Für die Überprüfung der Federkontaktstifte sind zwei Schritte einzuleiten. In Schritt Eins werden die Federkontaktstifte visuell auf offensichtliche Beschädigungen hin geprüft. Im zweiten Schritt wird jeder Federkontakt einmal um 75% der maximalen Federlänge eingedrückt. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Federkontakt ruckfrei arbeitet und nicht blockiert. Sollte eine Beschädigung festgestellt werden, muss der Federkontakt entfernt und durch einen baugleichen ersetzt werden. Im Anschluss an die Federkontaktprüfung muss der Kiphebel hinsichtlich seiner Funktion überprüft werden. Hierfür ist ein wiederholtes Öffnen und Schließen des Kiphebels ausreichend.

11.2.2 Elektrik und Software

In Kapitel 11.2.2 zur Elektrik und Software soll die Funktion der Elektrik und der Software überprüft werden. Hierfür werden ein Gut-Test und ein Schlecht-Test vorgenommen. Diese Überprüfung ist notwendig, um sicherzustellen, dass das Prüfgerät fehlerfrei funktioniert.

11.2.2.1 Gut-Test

Vor Beginn der Gut-Test-Prüfung muss sichergestellt werden, dass kein Taster betätigt ist und somit keine digitalen Ausgänge geschaltet sind. Für die Gut-Test-Prüfung wird eine Platine verwendet, von der bekannt ist, dass diese keine Fehler aufweist. Diese wird auf dem Prüfgerät eingespannt. Anschließend wird auf dem Programm der Taster mit der Bezeichnung „*BOOT*“ gedrückt. Diese Betätigung schließt die Verbindung zwischen den beiden Boot-Kontakten. Anschließend wird die USB-Verbindung zugeschaltet. Dies erfolgt über die Betätigung des Tasters „*USB-Power*“. Direkt nach dem Zuschalten der USB-Spannung sollte das Voltmeter eine Spannung von fünf Volt und das Amperemeter einen Strom von ca. $30 * 10^{-3} A$ anzeigen. Weichen diese Werte stark ab, kann von einem Defekt der Hardware ausgegangen werden. Passen jedoch die Strom- und Spannungswerte, wird die Platine wie ein USB-Stick am PC dargestellt. Zur Programmierung wird das passende Programm auf der am PC angezeigten Platine im Verzeichnis platziert. Nun werden die Taster in umgekehrter Reihenfolge betätigt, also zuerst *USB-Power*, dann *BOOT*. Die Platine ist nach diesen Schritten vollständig programmiert. Durch erneutes Betätigen des Tasters „*USB-Power*“ läuft die Gut-Test-Platine im Normalbetrieb, und die drei Antennen können überprüft werden. Der Gut-Test ist nach der Überprüfung der drei Antennen abgeschlossen.

11.2.2.2 Schlecht-Test

Wie bei Beginn des Gut-Tests muss auch vor Beginn des Schlecht-Testes sichergestellt werden, dass alle Taster nicht betätigt und somit keine digitalen Ausgänge geschaltet sind. Für den Schlecht-Test werden zwei Platinen benötigt. Die Platine mit der Kennzeichnung „SA-PCB“ besitzt einen Kurzschluss an der USB-Einspeisung. Platine „SB-PCB“ hat einen Defekt in der Hardware, wodurch Antenne Drei nicht funktioniert. Zu Beginn wird die Platine mit der Bezeichnung „SA-PCB“ eingespannt. Es werden dieselben Schritte wie bei einer normalen Überprüfung durchgeführt. Als Erstes wird der Boot-Kontakt mit dem Taster „BOOT“ geschlossen, danach die USB-Versorgung mit dem Taster USB-Power zugeschaltet. Nach dem Zuschalten der USB-Versorgung zeigt das Amperemeter einen maximalen Strom von $700 * 10^{-3} A$ und eine Spannung, die gegen Null geht, an. Daran ist zu erkennen, dass die Software noch richtig misst und Kurzschlüsse erkannt werden. Im Anschluss wird die Platine mit der Bezeichnung „SA-PCB“ eingesetzt. Diese wird auf normale Weise, wie schon in Kapitel 10.2.2.1, programmiert. Während des anschließenden Testverlaufs sollte das Amperemeter aber einen geringen Strom bei der Überprüfung von Antenne Drei anzeigen. Durch die zu geringe Stromaufnahme während der Überprüfung von Antenne Drei kann auf eine fehlerhafte Funktion dieser Antenne rückgeschlossen werden.

11.3 Start der ersten Überprüfung

In Kapitel 11.3 wird der erste Testdurchlauf durchgeführt. Die in Kapitel 11.1 und 11.2 angeführten Bedingungen und Maßnahmen wurden zuvor umgesetzt. Der Testvorgang ist in drei Teile gegliedert: Teil Eins befasst sich mit der Programmierung der Platine. In Teil Zwei werden die Funktion der Antennenausgänge und die Einhaltung der Strom- und Spannungswerte überprüft. In der dritten Phase werden die dokumentierten Strom- und Spannungswerte ausgewertet und Erkenntnisse aus der ersten Messung festgehalten.

11.3.1 Programmierung der ersten Platine

Vor Beginn der Programmierung werden alle Taster in den nicht geschalteten Zustand gebracht, somit sind keine digitalen Ausgänge geschaltet und es liegt keine Spannung an den Federkontakten an. Für den Test wird eine Platine verwendet, welche zuvor im R&D-Labor gefertigt wurde. Diese wird auf dem Prüfgerät eingespannt. Anschließend wird auf dem Programm der Taster mit der Bezeichnung „BOOT“ gedrückt. Diese Betätigung schließt die Verbindung zwischen den beiden Boot-Kontakten. Anschließend wird, über die Betätigung des Tasters „USB-Power“, die USB-Verbindung zugeschaltet. Direkt nach dem Zuschalten der USB-Spannung zeigt die Software, wie in Abb. 50 und Abb. 51 dargestellt, eine Spannung von 5,03 V und einen Strom von fast $28,24 * 10^{-3} A$ an:

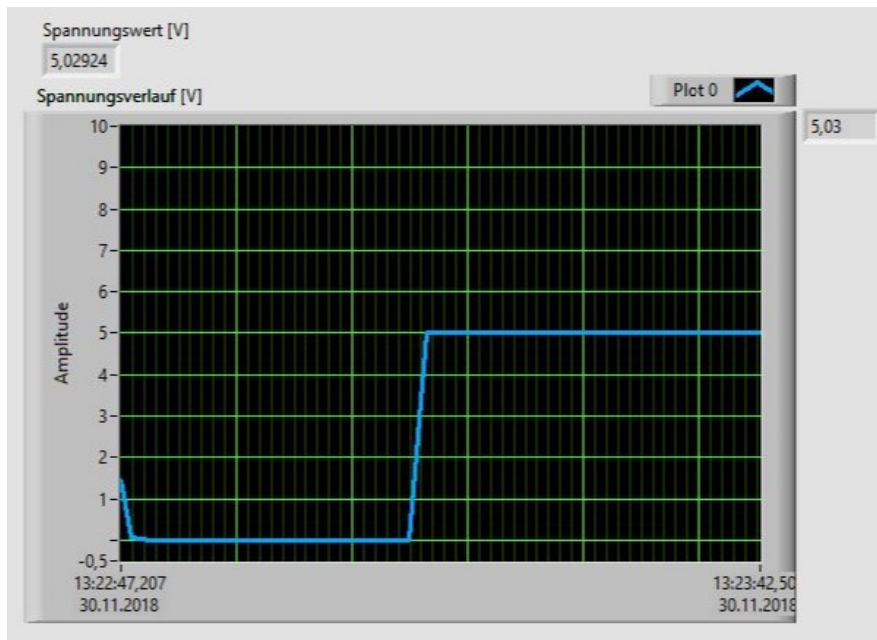


Abb. 50: Strom- und Spannungsmesswerte der Prüfplatine, Quelle: Eigene Darstellung

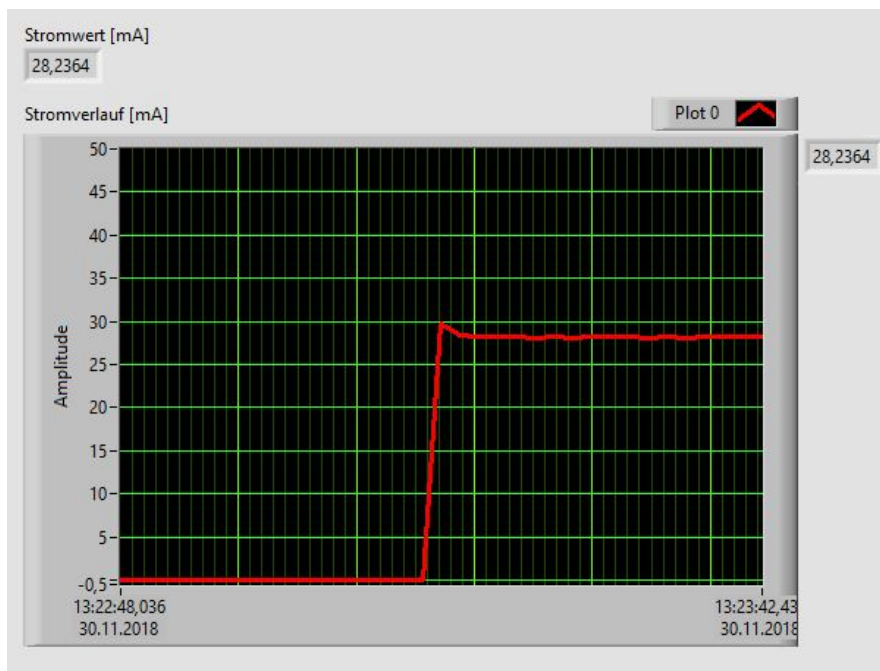


Abb. 51: Strommesswert der Prüfplatine, Quelle: Eigene Darstellung

Prüfvorgang

Diese Werte werden, um ihre Richtigkeit zu überprüfen, mit je einem kalibrierten DMM nachgemessen. In Abb. 52 sind die DMM während der laufenden Messung abgebildet:

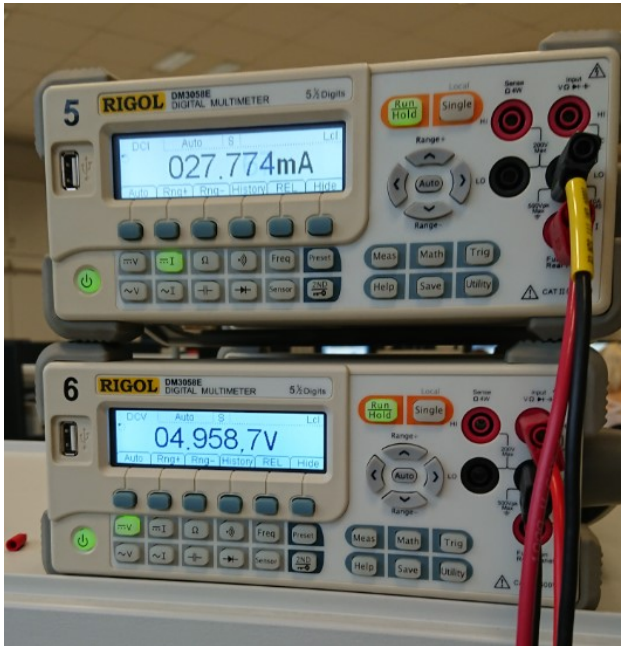


Abb. 52: Strom- und Spannungsmesswerte der Prüfplatine, gemessen mit DMM, Quelle: Eigene Darstellung

In Tab. 12 sind die angezeigten sowie die erneut gemessenen Werte und deren Differenz aufgelistet:

Bezeichnung	LabVIEW	Kalibriertes DDM	Differenz
Strom	$28,24 \cdot 10^{-3} \text{A}$	$27,77 \cdot 10^{-3} \text{A}$	$0,47 \cdot 10^{-3} \text{A}$
Spannung	5,03 V	4,96 V	0,07 V

Tab. 12: Vergleich der aufgenommenen Messwerte, Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund der geringen Abweichung der Strom- und Spannungswerte ist belegt, dass die Software richtig misst. Des Weiteren kann angesichts der Tatsache, dass sich die gemessenen Werte im Toleranzbereich befinden, von einer funktionierenden Hardware ausgegangen und der Programmiervorgang fortgesetzt werden.

Die Platine wird wie erwartet als USB-Stick am PC angezeigt. Zur Programmierung wird das passende Programm auf der Platine im Verzeichnis, wie in Abb. 53 dargestellt, abgelegt:

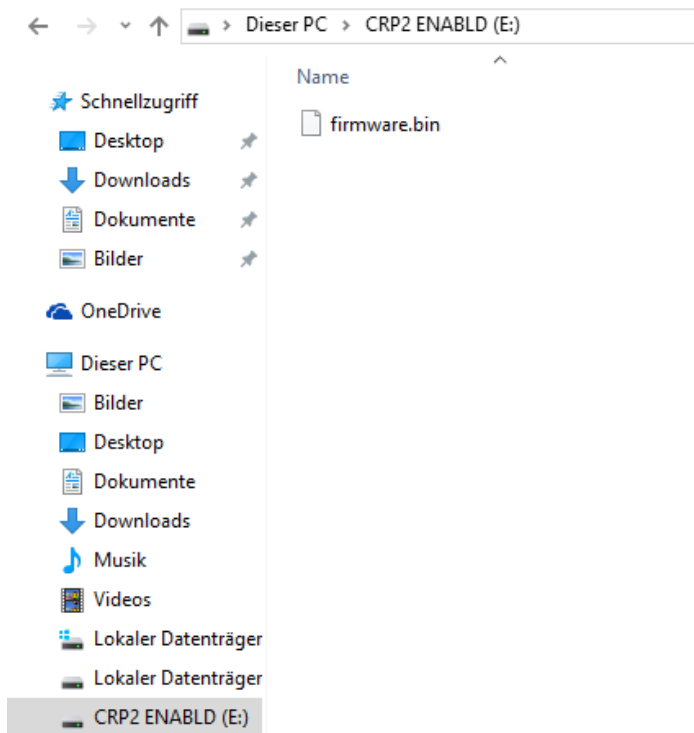


Abb. 53: Programmierung der Platine, Quelle: Eigene Darstellung

Um das Programmieren abzuschließen, werden die Taster in umgekehrter Reihenfolge betätigt, also zuerst „USB-Power“ dann „BOOT“. Es wird nun, um zu überprüfen, ob es zu einem Fehler bei der Abspeicherung des Programmes auf der Platine gekommen ist, erneut die Platine so angesteuert, dass wie zuvor auf das Verzeichnis zugegriffen werden kann. In Abb. 54 ist ein Ausschnitt des Verzeichnisses dargestellt, welcher das zuvor eingespielte File anzeigt:

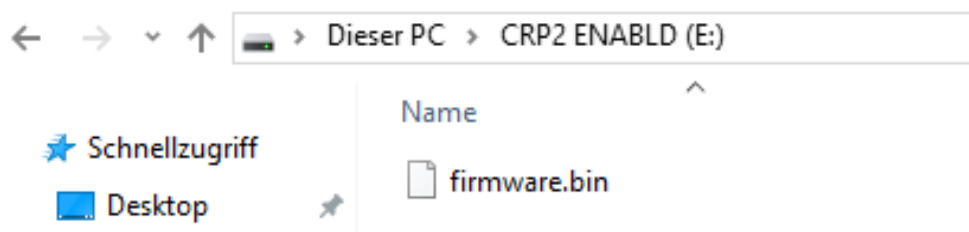


Abb. 54: Überprüfung der Programmierung, Quelle: Eigene Darstellung.

Somit ist sichergestellt, dass der Programmiervorgang erfolgreich durchgeführt wurde.

11.3.2 Funktion der Antennenausgänge der Platine

Um mit dem Überprüfen der Antennenausgänge zu beginnen, müssen die Boot-Kontakte der Platine geöffnet sein, der Taster-Boot darf somit nicht betätigt sein. Die Antennen müssen, wie in Abb. 55 dargestellt, an die Anschlussbox angeschlossen werden:



Abb. 55: Anschließen der Antennen, Quelle: Eigene Darstellung

Überprüft wird hierbei der aufgenommene Stromwert der Platine, in dem Zeitraum, in dem die Antenne mit dem *Reader* in Verbindung steht. Wie bereits in Kapitel 4 RFID-Systeme beschrieben, versorgt der Sender – in diesem Anwendungsfall ist der Sender die zu testende Platine – den *Reader* mit Energie. Somit steigt der Strom bei der Verbindung von Sender und Empfänger an. Ändert sich der aufgenommene Stromwert nicht oder schlägt er zu hoch aus, kann darauf rückgeschlossen werden, dass die Platine am jeweiligen Antennenausgang einen Fehler aufweist. Es wird die zuvor in Kapitel 11.3.1 beschriebene programmierte Platine für den Test verwendet. Zudem wird die USB-Versorgung hinzugeschaltet. Die Platine arbeitet in ihrem vorgesehenen Betrieb und steuert alle drei Antennen an. Wird nun der Empfänger in einem definierten Abstand zur Antenne platziert, so findet dessen Erfassung statt. In Abb. 56 und Abb. 57 ist der Zeitpunkt abgebildet, zu dem die angeschlossene Antenne den Empfänger erfasst und die Stromerhöhung stattfindet. Es hat jeder der drei Antennenausgänge wie geplant funktioniert.

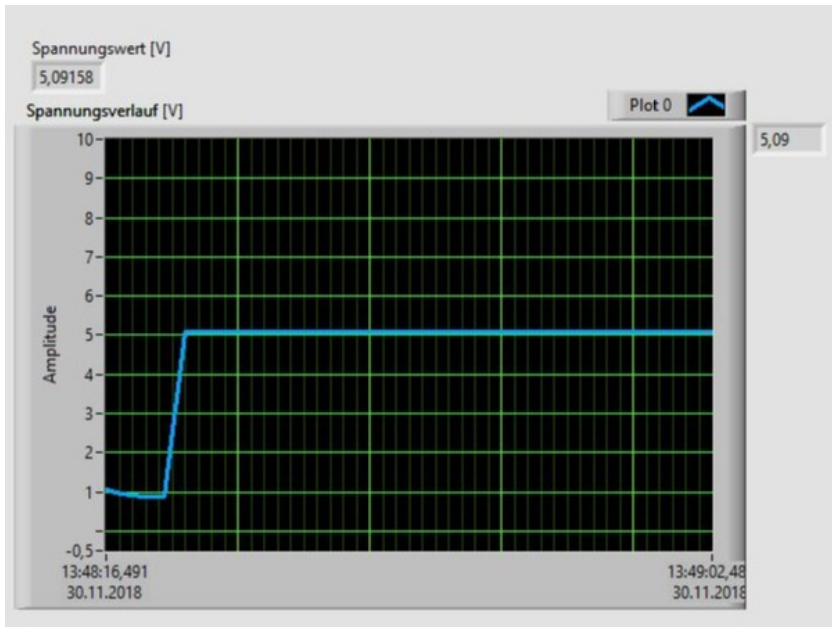


Abb. 56: Spannungsmesswert der Prüfplatine zum Zeitpunkt der Stromerhöhung, Quelle: Eigene Darstellung

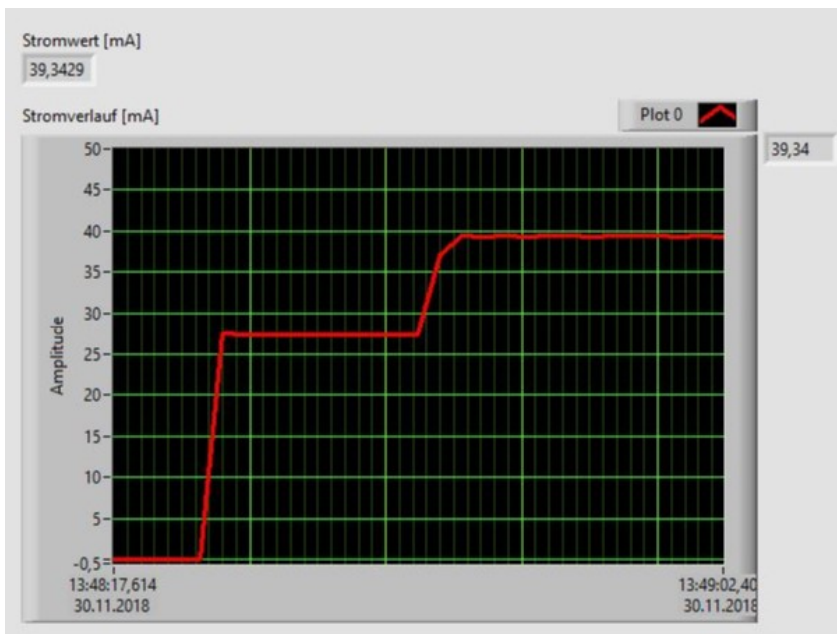


Abb. 57: Strommesswert der Prüfplatine zum Zeitpunkt der Stromerhöhung, Quelle: Eigene Darstellung

11.3.3 Auswertung und Erkenntnisse des ersten Tests

Auswertung

Mit Hilfe des in Tab. 12 dargestellten Vergleichs ist bestätigt, dass das Prüfgerät den exakten Strom- und Spannungswert ermittelt. Des Weiteren werden in Tab. 13 die aufgenommenen Strom- und Spannungswerte von Kapitel 11.3.1 und Kapitel 11.3.2 aufgelistet, um diese anhand der jeweiligen Grenzwerte zu beurteilen.

Bezeichnung	Messung 1	Messung 2	Grenzwert	
	ohne Antenne	mit Antenne	Min.	Max.
Strom	$28,24 * 10^{-3}A$	$39,34 * 10^{-3}A$	$25 * 10^{-3}A$	$50 * 10^{-3}A$
Spannung	5,03 V	5,09 V	4,5 V	5,5 V

Tab. 13: Strom und Spannungswerte von Messung 1 und Messung 2, Quelle: Eigene Darstellung

Aus Tab. 13 geht hervor, dass sich die Strom- und Spannungswerte im erlaubten Bereich, also zwischen den definierten Grenzwerten, befinden. Aufgrund der aus Tab. 13 gewonnenen Erkenntnis, welche in der Tatsache besteht, dass die Programmierung funktionierte und alle drei Antennen den Empfänger erkannt haben, kann der Schluss gezogen werden, dass die Platine keinen Fehler aufweist und funktionstüchtig ist. Des Weiteren geht aus dem ersten Test hervor, dass die entworfene Mechanik und die geschriebene Software funktionieren.

Erkenntnisse aus dem ersten Test

Die ersten Messungen mit dem Prüfgerät haben ergeben, dass das erarbeitete Konzept funktioniert und ein schnelles Programmieren und Messen der Platine ermöglicht. Zudem wurde festgestellt, dass auch die Software stabil läuft und keine Fehlfunktionen aufweist.

12 RESÜMEE

Aufgrund des konstruierten Prüfgerätes ist es nun möglich, die gefertigten Platinen kontrolliert zu programmieren und in weiterer Folge zu testen, sodass dies nicht weiter per Hand geschehen muss. Mittels der Verwendung von Federkontaktstiften konnte eine lösbare elektrische Verbindung hergestellt werden, welche wiederum ein schnelles Wechseln der zu prüfenden Platine ermöglicht. Mit dem erzeugten Programm lassen sich die einzelnen Funktionen des Prüfgerätes über einen Mausklick ausführen. Die Status-LEDs stellen den aktuellen Zustand des Prüfgerätes gut dar und bieten eine zusätzliche Unterstützung für den Benutzer. Über die kontinuierliche Darstellung der auftretenden Strom- und Spannungswerte kann gut erfasst werden, ob die eingelegte Platine einen Defekt aufweist oder alle Bauteile wie vorherbestimmt funktionieren. Durch die Anschluss- und Prüfmöglichkeit der Antennen ist es erstmals möglich, die Strom- und Spannungswerte während des Betriebes der Platine aufzunehmen und somit weitere Fehler zu erkennen. Da sowohl die Konstruktion als auch die Software auf Effizienz ausgerichtet sind, ist es nun möglich, mit dem Prüfgerät ein großes Auftragspensum in höherer Qualität und einem geringeren Zeitaufwand abzuarbeiten. Somit wird der kontinuierliche Einsatz des Prüfgerätes der R&D-Abteilung des Campus02 und damit dem gesamten Unternehmen dabei helfen, dem stetigen Wachstum und damit einhergehenden Auftragsvolumen zu begegnen und das Auftragspensum fristgerecht abzuarbeiten.

Ausblicke

Um die Effektivität des R&D-Labors, im Bereich der Platinen-Programmierung und –Überprüfung, weiter anzuheben, werden weitere Adapterplatten für andere in hohen Stückzahlen gefertigten Platinen konstruiert. Hierbei kann auf die Erkenntnisse und Erfahrungen der bereits bestehenden Adapterplatte zurückgegriffen werden. Anhand der Verwendung weiterer Adapterplatten steigert sich der erbrachte Nutzen des Prüfgerätes um ein Vielfaches. Darüber hinaus kann das Prüfgerät, aufgrund seiner Bauweise, stetig softwareseitig sowie mechanisch erweitert werden. Eine für das Prüfgerät nützliche Anwendung wäre eine mechanische, über die Software ansteuerbare Verriegelung des Deckels. Es müsste hierfür lediglich das bereits bestehende Programm um die Abfrage der Verriegelung erweitert werden. Die mechanische Verriegelung hätte bei dementsprechender Programmerweiterung den Vorteil, dass der Deckel nicht unbeabsichtigt geöffnet werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (5)

Anke (2017): *Elektromagnetische Verträglichkeit Grundlagen, Analysen, Maßnahme*, 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart 1992, Deutschland

Finkenzeller, Klaus (2012): *RFID-Handbuch Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*, 6. Auflage, Carl Hanser Verlag, Deutschland

Georgi, Wolfgang (2014): *Einführung in LabVIEW*, 4. Auflage, Carl Hanser Verlag München, Deutschland

Gräbner, Frank (2016): *EMV-gerechte Schirmung Magnetmaterialien für die Schirmung - Praxisbeispiele - Gerätedesign*, 3. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Deutschland

Kark, Klaus (2017): *Antennen und Strahlungsfelder Elektromagnetische Wellen auf Leitungen, im Freiraum und ihre Abstrahlung*, 6. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Deutschland

Online-Quellen (2)

NXP Semiconductors (2017): *NXP Semiconductors*
www.nxp.com [Stand: 1.September.2018]

Technologies, Feinmetall (2018): *Feinmetall Contact Technologies*
www.feinmetall.de [Stand: 1.9.2018]

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Darstellung der Frequenzbereiche, Quelle: Kark (2017).....	4
Abb. 2: Beispiel einer Schirmleitung auf einer Leiterplatte, Quelle: Anke (2017).....	6
Abb. 3: Leitungseinführung in das Schirmgehäuse, Quelle: Anke (2017)	7
Abb. 4: Darstellung von Transponder und Lesegerät, Quelle: Finkenzeller (2012)	8
Abb. 5: Darstellung der Koppellemente, Quelle: Finkenzeller (2012)	9
Abb. 6: Blockschaltbild des CLRC663-Moduls, Online-Quelle: <i>NXP Semiconductors</i> [1. September.2018]	11
Abb. 7: Blockschaltbild des LPC11U68JBD48 Mikrokontrollers	12
Abb. 8: Ausschnitt der Verschaltung des LPC11U68JBD48, Quelle: Campus 02	13
Abb. 9: Messsonden eines vollautomatisierten Prüfgerätes, Online-Quelle: Häusermann [14. August.2018]	15
Abb. 10: Vorrichtung mit eingelegter Prüfplatine, Online-Quelle: javelin-tech [14. August.2018]	15
Abb. 11: Adapterplatine, Online-Quelle: AndBosta [14. August.2018].....	16
Abb. 12 : Darstellung einer gelöteten Verbindung, Online-Quelle: Led-Shop [15. August.2018].....	16
Abb. 13: Musterplatine, Quelle: Campus 02	19
Abb. 14: Grundplatte mit Linearführungen, Quelle: Eigene Darstellung.	20
Abb. 15: Darstellung eines Führungsstiftes, Quelle: Eigene Darstellung.	21
Abb. 16: Spannvorrichtung mit Höhenverstellung, Quelle: Eigene Darstellung.	21
Abb. 17: Baugruppe Konzept A – Schienensystem, Quelle: Eigene Darstellung.	22
Abb. 18: Grundplatte mit Platinen-Halterung, Quelle: Eigene Darstellung.	23
Abb. 19: Baugruppe Konzept B – Nadelbett, Quelle: Eigene Darstellung.	23
Abb. 20: Grundplatte mit Seitenteilen und Führungsstangen, Eigene Darstellung.	24
Abb. 21: Druckplatte mit Griff, Eigene Darstellung.	25
Abb. 22: Spannvorrichtung Konzept C – Druckplatte, Eigene Darstellung.	26
Abb. 23: Baugruppe Konzept C – Druckplatte, Quelle: Eigene Darstellung.	26
Abb. 24 Darstellung diverser Federkontaktstifte, Quelle: Datenblatt Feinmetall <i>Contact Technologies</i> (2015).....	30
Abb. 25: Links: Kopfform „Innenkonus“; rechts: Kopfform „Dreikant“, Quelle: Datenblatt FKS-102 PMG- Prüftechnik (2018)	31
Abb. 26: Schematischer Aufbau der Adapterplatine, Quelle: Eigene Darstellung	33
Abb. 27: Relaischaltung von VUSB-RED, Quelle: eigene Darstellung	40

Abb. 28: Relaisschaltung der BOOT-Kontakte, Quelle: Eigene Darstellung.....	41
Abb. 29: <i>NI myDAQ</i> , Online-Quelle: www.ni.com [25.9.2018].....	42
Abb. 30: Verwendete Schalter und LEDs am Frontpanel, Quelle: Eigene Darstellung.....	46
Abb. 31: Frontpanel, Quelle: Eigene Darstellung	47
Abb. 32: Blockdiagramm, Quelle: Eigene Darstellung	48
Abb. 33: Blockdiagramm Sequenz 1 mit SUB-VI, Quelle: Eigene Darstellung	49
Abb. 34: Blockdiagramm des SUB-VIs mit Schalterauswertung, Quelle: Eigene Darstellung	50
Abb. 35: Definition der digitalen Ausgänge des <i>myDAQ</i> zum Schalten der USB-Verbindung, Quelle: Eigene Darstellung	50
Abb. 36: CASE-Funktion beim Anliegen eines <i>LOW</i> -Signals des USB-POWER-Schalters, Quelle: Eigene Darstellung	51
Abb. 37: Blockdiagramm von Sequenz 2, Auslesen und Anzeigen des Spannungswertes, Quelle: Eigene Darstellung	51
Abb. 38: Blockdiagramm von Sequenz 3, Auslesen und Anzeigen des Stromwertes, Quelle: Eigene Darstellung	52
Abb. 39: Oben: Federkontaktstift FKS-102-17-B130G225; unten: Federkontaktstift FKS-102-01- B119G200, Quelle: Eigene Darstellung.....	54
Abb. 40: Kniehebel Modell: K00063.0300 Quelle: Eigene Darstellung.....	55
Abb. 41: Anschlussbuchsen zur Strommessung, Online-Quelle: www.conrad.at [20.10.2018].....	56
Abb. 42: D-SUB Steckverbinder, Online-Quelle: www.conrad.at [20.10.2018].....	56
Abb. 43: Printrelais-Modell: FRS1B-S-DC05, Online-Quelle: www.conrad.at [20.10.2018].....	57
Abb. 44: Transistor-Modell: BC337-16, Online-Quelle: www.conrad.at [20.10.2018].....	57
Abb. 45: Konstruktion von Konzept C, Quelle: Eigene Darstellung	58
Abb. 46: Adapterplatte auf Gewindestangen montiert, Quelle: Eigene Darstellung.....	59
Abb. 47: Verbindung von Prüfgerät und Anschlussbox über D-SUB-Leitung, Quelle: Eigene Darstellung	59
Abb. 48: Anschlussbox, Quelle: Eigene Darstellung	60
Abb. 49: Prüfaufbau, Quelle: Eigene Darstellung	61
Abb. 50: Strom- und Spannungsmesswerte der Prüfplatine, Quelle: Eigene Darstellung	64
Abb. 51: Strommesswert der Prüfplatine, Quelle: Eigene Darstellung	64
Abb. 52: Strom- und Spannungsmesswerte der Prüfplatine, gemessen mit DMM, Quelle: Eigene Darstellung	65
Abb. 53: Programmierung der Platine, Quelle: Eigene Darstellung.....	66

Abb. 54: Überprüfung der Programmierung, Quelle: Eigene Darstellung66

Abb. 55: Anschließen der Antennen, Quelle: Eigene Darstellung67

Abb. 56: Spannungsmesswert der Prüfplatine zum Zeitpunkt der Stromerhöhung, Quelle: Eigene Darstellung68

Abb. 57: Strommesswert der Prüfplatine zum Zeitpunkt der Stromerhöhung, Quelle: Eigene Darstellung68

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Darstellung der Vor- und Nachteile von RFID-Systemen, Quelle: Eigene Darstellung.....	9
Tab. 2: Unterschiede von LF, HF und UHF im Vergleich, Quelle: Eigene Darstellung	10
Tab. 3: Bewertungsmatrix zur Auswahl des Kontaktierungsverfahrens, Quelle: Eigene Darstellung.	18
Tab. 4: Bewertungsmatrix der erarbeiteten Konzepte, Quelle: Eigene Darstellung.....	28
Tab. 5: Anschlüsse der Adapterplatine, Quelle: Eigene Darstellung	35
Tab. 6: Auflistung der durch LEDs angezeigten Zustände, Quelle: Eigene Darstellung.....	37
Tab. 7: Kennwerte des Transistors BC337-16, Quelle: Eigene Darstellung	37
Tab. 8: Auflistung der erwarteten elektrischen Werte und deren geforderte Auflösung, Quelle: Eigene Darstellung	44
Tab. 9: Abmessungen der Kunststoffplatten, Quelle: Eigene Darstellung	53
Tab. 10: Kenndaten der Federkontaktstifte: Quelle: Eigene Darstellung	54
Tab. 11: Kenndaten des Kniehebels, Quelle: Eigene Darstellung	55
Tab. 12: Vergleich der aufgenommenen Messwerte, Quelle: Eigene Darstellung.....	65
Tab. 13: Strom und Spannungswerte von Messung 1 und Messung 2, Quelle: Eigene Darstellung	69

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CNC	<i>Computerized Numerical Control</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DMM	<i>digitales Multimeter</i>
D-Sub	<i>D-Subminiature</i>
EEPROM	<i>electrically erasable programmable read-only memory</i>
EMV	<i>Elektromagnetische Verträglichkeit</i>
EN	<i>Europäische Norm</i>
ESD	<i>electrostatic discharge</i>
HF	<i>High Frequency</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
ICT	<i>In-Circuit-Test</i>
ID	<i>identity</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench</i>
LF	<i>Low Frequency</i>
PCB	<i>printed circuit board</i>
PVC	<i>Polyvinylchlorid</i>
R&D	<i>research and development</i>
<i>RFID</i>	<i>Radio-Frequency-Identification</i>
RGB	<i>Rot, Grün und Blau</i>
RS232	<i>Recommended Standard 232</i>
<i>SPI</i>	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	<i>Static random-access memory</i>
SSP	<i>Synchronous Serial Port</i>
SUB-VI	<i>Unterprogramm</i>
SWD	<i>Serial Wire Debug</i>
<i>UART</i>	<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>