

**Entwurf eines Aufsteckmoduls für ein STM32 Nucleo  
Mikrocontroller Board mit einem 3,3V und 1,2V CAN-Transceiver**

Design of a plug-on module for a STM32 Nucleo microcontroller board with a 3.3V  
and 1.2V CAN-Transceiver

**Bachelorarbeit**

Zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Engineering  
im Bachelorstudiengang Elektrotechnik  
(Automatisierungs- und Antriebssysteme)

vorgelegt von

**Ihssen Boukhriss**

Juli 2023

an der Fachhochschule Dortmund

Erstprüfer: **Prof. Dr.-Ing Michael Karagounis**

Zweitprüfer: **M.A. Alexander Walsemann**



## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird eine Leiterplatte als Aufsteckmodul für ein STM32 Nucleo Mikrocontroller Board mit einem 3,3V und 1,2V CAN-Transceiver entworfen.

Der 1,2V CAN-Transceiver sowie der 3,3V CAN-Transceiver bilden eine Schnittstelle zwischen dem STM32-Mikrocontroller und dem CAN-Bus, indem sie die vom Mikrocontroller erzeugten elektrischen Signale in eine für die Übertragung über den CAN-Bus geeignete Form umwandeln und umgekehrt.

Mit Hilfe der Design-Software „Altium Designer“ wird dieses Aufsteckmodul entworfen und danach in Betrieb genommen und getestet.

## Abstract

In this bachelor thesis, a Printed Circuit Boards (PCB) is designed as a plug-on module for an STM32 Nucleo microcontroller board with a 3.3V and 1.2V CAN transceiver.

The 1.2V CAN transceiver as well as the 3.3V CAN transceiver form an interface between the STM32 microcontroller and the CAN-Bus by converting the electrical signals generated by the microcontroller into a form suitable for transmission via the CAN-Bus and vice versa.

Using the design software "Altium Designer", this plug-on module is designed and then put into operation and tested.

## Vorwort und Danksagung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Durchführung eines Projekts an der Fachhochschule Dortmund zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Engineering“ im Bachelorstudiengang Elektrotechnik (mit der Studienrichtung „Automatisierungs- und Antriebssysteme“).

Das Projekt wurde im Labor für integrierten Schaltungsentwurf („IC-Lab“) der Fachhochschule Dortmund bearbeitet, wo ich wertvolle Unterstützung erhalten und alle für das Projekt benötigte Labormaterialien zur Verfügung gestellt bekommen habe.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Michael Karagounis, Herrn Dipl.-Ing Rolf Paulus, Herrn M.A. Alexander Walsemann und dem gesamten Team des IC-Labors, welches mir bei jeder Fragestellung mit Erfahrungswerten und Anweisungen sehr behilflich war.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>- 10 -</b>
<b>2</b>	<b>Controller Area Network</b> .....	<b>- 11 -</b>
2.1	Einführung in das CAN-Protokoll .....	- 11 -
2.2	Organisation des Datenverkehrs in CAN-Netzwerken.....	- 12 -
2.3	Aufbau einer CAN-Nachricht.....	- 13 -
2.3.1	Datenrahmen .....	- 13 -
2.3.2	Das Remote-Frame .....	- 15 -
2.3.3	Das Error-Frame.....	- 15 -
2.3.4	Das Overload-Frame .....	- 16 -
2.4	CAN-Bit-Timing .....	- 16 -
<b>3</b>	<b>Schaltung des zu entwerfenden Aufsteckmoduls</b> .....	<b>- 18 -</b>
3.1	Allgemeine Vorstellung eines CAN-Transceivers.....	- 18 -
3.2	Vorstellung der für das Aufsteckmodul entworfene Schaltung und deren Beschreibung .....	- 18 -
3.2.1	Schaltung für den 3,3V CAN-Transceiver .....	- 19 -
3.2.2	Schaltung für den 1,2V CAN-Transceiver.....	- 22 -
3.2.3	Darstellung der finalen Schaltung des Aufsteckmoduls.....	- 26 -
<b>4</b>	<b>Entwurf des Aufsteckmoduls mit Altium Designer</b> .....	<b>- 29 -</b>
4.1	Einführung in Altium Designer.....	- 29 -
4.2	Schritte zur Projekterstellung in Altium Designer .....	- 29 -
4.2.1	Erstellung eines neuen PCB-Projekts .....	- 29 -
4.2.2	Einen neuen Schaltplan sowie ein PCB-Dokument zum Projekt hinzufügen - 30 -	
4.2.3	Erfassung des Schaltplans.....	- 31 -
4.2.4	PCB-Editor .....	- 35 -
4.2.5	Erstellung von Projekt-Produktionsdaten (Project-Outputs) .....	- 39 -
4.2.6	Bestellung der Bauelemente und Kostenübersicht für die Produktion der Leiterplatte .....	- 41 -
4.3	Bestückung der Platine .....	- 44 -
4.3.1	Handlötung .....	- 44 -
4.3.2	Löten mit einem Lötöfen.....	- 45 -
<b>5</b>	<b>Inbetriebnahme und Test des Aufsteckmoduls</b> .....	<b>- 47 -</b>
5.1	Verwendete Geräte zum Testen des Austeckmoduls.....	- 47 -

5.1.1	Das RTB2004 Digitaloszilloskop .....	- 47 -
5.1.2	Das HCM8043 Labornetzgerät .....	- 47 -
5.1.3	Das HMF2525 Arbiträr Generator .....	- 48 -
5.2	Durchführung der Messungen und Beschreibung der Ergebnisse.....	- 49 -
5.2.1	Verkabelung des Aufsteckmoduls mit den verwendeten Testgeräten ...	- 49 -
5.2.2	Darstellung und Beschreibung der Messergebnisse .....	- 51 -
6	Fazit .....	- 57 -
7	Literaturverzeichnis .....	- 58 -

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Controller Area Network (CAN) Bustopologie [1].....	- 11 -
Abbildung 2: Pegeln der CAN-High und CAN-Low Signale [2].....	- 12 -
Abbildung 3: Aufbau einer CAN-Nachricht [3].....	- 13 -
Abbildung 4: Zusammenfassende Übersicht der Kennfelder bei Basis- und Extended Datenrahmen [4].....	- 15 -
Abbildung 5: Remote-Frame [5].....	- 15 -
Abbildung 6: Fehlerrahmen [6] .....	- 16 -
Abbildung 7: Darstellung einer nominalen Bitzeit [7].....	- 17 -
Abbildung 8: Top-View der Pins des SN65HVD232 CAN-Transceivers [8].....	- 20 -
Abbildung 9: Für das Austeckmodul entworfene Transceiver Schaltung mit 3.3V Pegeln	- 21 -
Abbildung 10: Vorstudie einer 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung aus dem Jahr 2018 [9]	- 22 -
Abbildung 11: Neuentworfene 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung .....	- 23 -
Abbildung 12: Schaltung zum 1,2 V MIC5317-1.2YMT Spannungsregler (LDO1).....	- 24 -
Abbildung 13: Schematische Darstellung des 1V2_Transceiver D-Sub Steckers .....	- 26 -
Abbildung 14: Pinout-View des Mikrokontrollers aus der Pin-Konfigurationsansicht in STM32CubeMX.....	- 26 -
Abbildung 15: CN10 Konnektor des Mikrokontrollers [12].....	- 27 -
Abbildung 16: Darstellung der Pins für die Versorgungsspannungen, die GND's und die TX-CAN und RX-CAN .....	- 27 -
Abbildung 17: Komplette Schaltung zum entworfenen Aufsteckmodul.....	- 28 -
Abbildung 18: Erstellung eines neuen PCB-Projekts .....	- 30 -
Abbildung 19: Abbildung zur Erstellung eines neuen Schaltplanblatts (Schematic) zum Projekt .....	- 30 -
Abbildung 20: Neues PCB-Dokument zum Projekt hinzufügen.....	- 31 -

Abbildung 21: Beispiel zur Komponentensuche mit dem "Manufacturer Part Search" Panel ..	32 -
Abbildung 22: Beispiel zum Download eines Schaltsymbols sowie eines PCB-Footprints-	33 -
Abbildung 23: Beispiel der Eigenschaften eines Bauelements im „Properties“ Panel .....	33 -
Abbildung 24: Darstellung von elektrischen Objekten in der Schnellzugriffleiste.....	33 -
Abbildung 25: Update PCB-Dokument .....	34 -
Abbildung 26: PCB-Rules importieren .....	35 -
Abbildung 27: Setzen des relativen Koordinatenursprungs.....	36 -
Abbildung 28: PCB-Dokument des verwendeten STM32 Nucleo Boards.....	37 -
Abbildung 29: Anpassung der PCB-Form.....	38 -
Abbildung 30: Beispiel zum Einsatz eines Vias um vom Top- zum Bottom-Layer zu wechseln .....	38 -
Abbildung 31: Menüeintrag zur Generierung der Massefläche über „Polygon Pour“.....	39 -
Abbildung 32: Menüeintrag für den Design Rule Check.....	39 -
Abbildung 33: Erstellung eines Output Job Files.....	40 -
Abbildung 34: Erstellung des Bill Of Materials als PDF-Datei .....	40 -
Abbildung 35: Generierung von Gerberdaten .....	41 -
Abbildung 36: Erstellung einer PDF-Datei für das Schaltplanblatt.....	41 -
Abbildung 37: Arbeitsplatz für das Handlöten .....	44 -
Abbildung 38: Abbildung des verwendeten Lötovens .....	45 -
Abbildung 39: Abbildung des bestückten Aufsteckmoduls .....	46 -
Abbildung 40: Abbildung des RTB2004 Digitaloszilloskops [18] .....	47 -
Abbildung 41: Abbildung zum HCM8043 Basisnetzgerät [20] .....	48 -
Abbildung 42: Abbildung zum HMF2525 Pulsgenerator [21].....	48 -



Abbildung 43: Komplette Beschaltung der Laborgeräte mit dem entworfenen Aufsteckmodul	- 49 -
Abbildung 44: Verbindung mit dem Basisnetzgerät .....	- 50 -
Abbildung 45: Verbindung mit dem Pulsgenerator.....	- 50 -
Abbildung 46: CAN-Bus-Zustände [8].....	- 52 -
Abbildung 47: CAN-Bus-Zustände des 3,3 V CAN-Transceivers - CANH: Grün; CANL: Gelb; 100 kHz-TX-Signal: Blau.....	- 52 -
Abbildung 48: CAN-Bus-Zustände des 3,3 V CAN-Transceivers - CANH: Grün; CANL: Gelb; 20 kHz-TX-Signal: Blau;.....	- 53 -
Abbildung 49: CAN-Bus-Zustände des 1,2 V CAN-Transceivers - CANH: Grün; CANL: Gelb; 20 kHz-TX-Signal: Blau;.....	- 55 -
Abbildung 50: CAN-Bus-Zustände des 1,2 V CAN-Transceivers - CANH: Grün; CANL: Gelb; 100 kHz TX-Signal: Blau;.....	- 56 -

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Pin-Konfiguration und Beschreibung des SN65HVD232 CAN-Transceivers [8]-	20 -
Tabelle 2: Eingänge und Ausgänge der 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung.....	- 23 -
Tabelle 3: PIN-Beschreibung des MIC5317-1,2YMT Spannungsreglers [10].....	- 24 -
Tabelle 4: Wichtige elektrische Objekte aus der Schnellzugriffleiste [15].....	- 34 -
Tabelle 5: Kostenübersicht der bestellten Bauelemente für eine einzige Leiterplatte .....	- 43 -

## Abkürzungen

CAN	Controller Area Network
USA	United States of America
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
OPV	Operationsverstärker
CPU	Central Processing Unit
STM	STMicroelectronics
BOM	Bill of Materials
MCU	Mikrocontroller
SW4STM32	System Workbench for STM32
USB	Universal Serial Bus
IDE	Integrated Development Environment
CANH	CAN-High
CANL	CAN-Low
PC	Personal Computer
ISO	International Standards Organisation
CMRR	Common Mode Rejection Ratio
ID	Identifier
NRZ	Non-Return to Zero
CRC	Cyclic Redundancy Check
ACK	Acknowledgment
RTR	Remote Transmission Request
T <sub>q</sub>	Time Quantum
SJW	Synchronization Jump Width

Prop_Seg	Propagation Segment
IDE	Integrated Development Environment
HAL	Hardware Abstraction Layer
API	Application Programming Interface
IC	Integrated Circuit
NC	Not Connected
PCB	Printed Circuit Boards
LDO	Low Drop Out

# 1 Einleitung

Für die Kommunikation zwischen Steuereinheiten in verteilten Systemen werden Protokolle benötigt. Controller Area Network (CAN) ist einer der meistverwendeten Protokolle dieser Art.

Controller Area Network ist ein Multi-Drop-Bus-Protokoll und unterstützt viele kommunizierende Knoten. Es wird sowohl in Europa als auch in den USA in der Automobilindustrie intensiv eingesetzt.

Um eine bestimmte Steuereinheit bzw. ein System mit einem CAN-Bus-Netzwerk zu verbinden, wird ein sogenannter CAN-Transceiver benötigt, welcher als Schnittstelle zwischen dem Controller oder Mikrocontroller und dem physikalischen Bus dient, um Daten in Form von Signalen übertragen zu können, die dem CAN-Standard entsprechen.

Im Rahmen des beschriebenen Projekts, wird ein Aufsteckmodul für ein STM32 Nucleo Mikrocontroller Board mit Hilfe von Altium Designer entworfen, das aus einem 3,3 V CAN-Transceiver und einem 1,2 V CAN-Transceiver besteht, um Daten über den CAN-Bus-Netzwerk bei diesen zwei verschiedenen Spannungspegeln austauschen zu können.

Zu Beginn wird eine Einführung in das CAN-Protokoll gegeben. Danach wird die entworfene Schaltung für die gewünschte Leiterplatte vorgestellt und erklärt. In einem weiteren Kapitel werden die Schritte zur Erstellung und Bearbeitung des Projekts mit der Design-Software dargestellt und beschrieben.

Anschließend wird das nach der Produktion und dem Zusammenbau fertige Aufsteckmodul mit einem Oszilloskop getestet und aufgenommene Messbilder dargestellt und diskutiert.

## 2 Controller Area Network

### 2.1 Einführung in das CAN-Protokoll

Um miteinander zu kommunizieren, benötigen Systeme oder Geräte Protokolle, welche die Kommunikation regeln. Controller Area Network (CAN), welches durch den ISO 11898-Standard definiert ist, ist eines der meistgebrauchten Protokolle dieser Art. Dieses Protokoll wurde im Jahr 1983 bei der Robert Bosch GmbH für den Einsatz in Automobilen entwickelt und im Jahr 1986 veröffentlicht. Es handelt sich um ein nachrichtenbasiertes Protokoll, das ursprünglich für die elektrische Multiplex-Verkabelung in der Automobilindustrie entwickelt wurde, aber aufgrund der hohen Geschwindigkeit, der geringen Kosten und der hohen Störsicherheit auch als Feldbus in Automatisierungsumgebungen eingesetzt wird. Das Controller Area Network verbindet mehrere gleichberechtigte Komponenten bzw. Knoten (Nodes) auf einem Zwei-Draht Bus (siehe Abbildung 1)

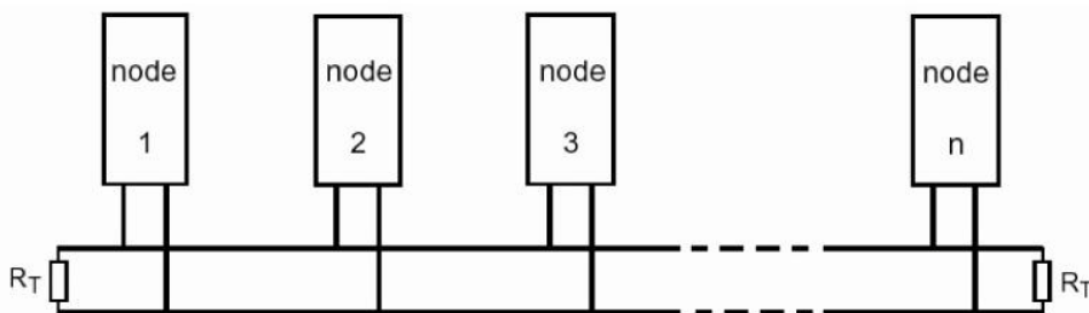


Abbildung 1: Controller Area Network (CAN) Bustopologie [1]

Für die Kommunikation sind zwei oder mehr Knoten im CAN-Netzwerk erforderlich. Diese Knoten können sowohl durch Geräte mit einfacher digitaler Logik wie zum Beispiel einem programmierbaren Logikgerät als auch durch einen Laptop über einen mit USB angeschlossenen CAN-Adapter realisiert werden, was dem Ziel dieses Projektes entspricht.

Wie in Abbildung 1 dargestellt, sind im CAN-Netzwerk alle Knoten über einen konventionellen Zweidrahtbus miteinander verbunden. Bei den Drähten handelt es sich um ein verdrehtes Paar mit einer charakteristischen nominalen Impedanz von  $120 \Omega$ , wobei auch eine Impedanz von  $108\Omega$  bis  $132\Omega$  zulässig ist. Die physikalische CAN-Übertragung wird in den Standards ISO 11898-2 (auch High-Speed-CAN genannt) und in ISO 11898-3 (Low-Speed oder Fault-Tolerant CAN genannt) geregelt.

Um eine hohe elektrische Störsicherheit zu erreichen, wird ein differentielles Signal verwendet, sodass ein Bit auf zwei Leitungen gleichzeitig mit einer gegensinnigen Potentialänderung abgebildet wird. Auf einer zweiten Leitung wird also eine invertierte Übertragung des logischen

Signals vorgenommen. Die in die Leitung eingekoppelten Störungen wirken auf beide Leitungen in gleicher Richtung. Die Differenz der Pegel bleibt aber bei diesen Störungen erhalten, da die beiden differentiellen Leitungen immer gegensinnige Pegel haben. In dieser Situation handelt es sich um eine Gleichtaktunterdrückung CMRR (engl. Common Mode Rejection Ratio), wobei die Leitungen CAN-High und CAN-Low das invertierte und das nicht invertierte serielle Datensignal darstellen (siehe Abbildung 2).

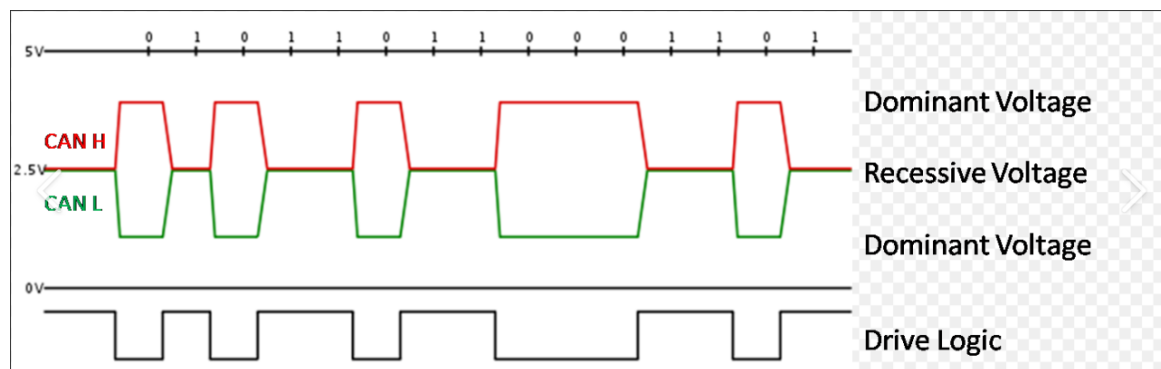


Abbildung 2: Pegel der CAN-High und CAN-Low Signale [2]

Der Zustand mit zwei verschiedenen Pegeln an CAN H und CAN L wird als dominanter Zustand und mit gleichen Pegeln als rezessiver Zustand bezeichnet, wobei die Pegeldifferenz beim dominanten Zustand nominal 2 Volt und beim rezessiven 0 Volt beträgt. Der dominante Zustand entspricht einer logischen Null. Dementsprechend überschreibt ein Knoten durch eine logische Null eine eventuell vorhandene logische Eins, die ein anderer Knoten auf dem Bus angelegt hat.

Zur Erhöhung der Störsicherheit steht die NRZ-Kodierung mit „Bit-Stuffing“ zur Verfügung (engl. Non-Return to Zero). Das Motiv hinter dieser Maßnahme besteht darin, dass die CAN-Netzwerk Teilnehmer die Synchronisation zum Sender nicht verlieren sollen, in dem vom Sender nach 5 Bits gleicher Polarität d.h. rezessiv oder dominant ein Bit der jeweils anderen Polarität eingefügt wird. Diese Stuff-Bits werden dann automatisch vom Empfänger entfernt, damit die gesendete Bit-Sequenz und die zum Host-Controller weitergeleitete Sequenz identisch bleibt.

## 2.2 Organisation des Datenverkehrs in CAN-Netzwerken

Der CAN-Bus ist ein Broadcast-Bustyp, das heißt, dass alle Knoten alle Übertragungen hören können und dadurch den gesamten Datenverkehr aufnehmen. Deswegen wird bei der Daten-Übertragung kein Knoten adressiert, sondern der Inhalt einer Nachricht durch einen eindeutigen Identifier (ID) identifiziert. Gleichzeitig wird durch die gewählte ID die Priorität jeder Nachricht festgelegt. Durch Lesen des Identifiers stellt jeder Teilnehmer im CAN-Netzwerk fest, ob diese Nachricht für ihn relevant ist oder nicht.

## 2.3 Aufbau einer CAN-Nachricht

Eine CAN-Nachricht muss eine bestimmte Form besitzen, die als Rahmen (engl. Frame) bezeichnet wird.

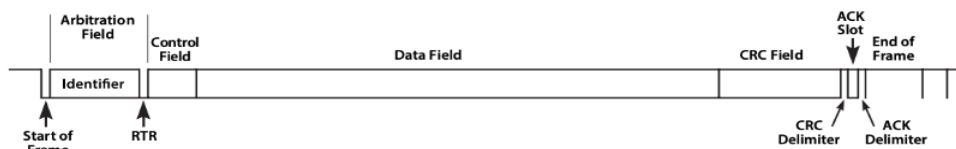
Es wird zwischen 4 Rahmentypen unterschieden:

- Data-Frame ist das eigentliche Frame für die Daten-Übertragung.
- Remote Frame ist ein Frame, welches die Übertragung einer bestimmten Kennung anfordert.
- Error-Frame wird bei Feststellung eines Übertragungsfehlers gesendet.
- Overload-Frame dient zum Einfügen von Verzögerungen zwischen Daten und Remote Frames.

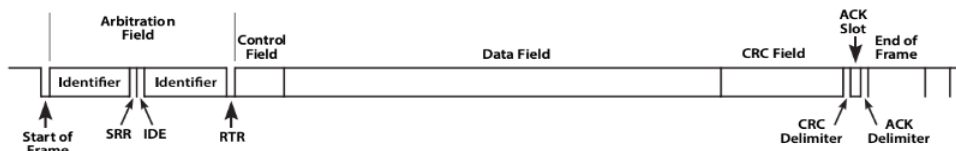
### 2.3.1 Datenrahmen

Der Datenrahmen kann zwei unterschiedliche Formate annehmen (siehe Abbildung 3):

- Ein Basisrahmenformat mit 11-Bit-Identifizier, welches nach ISO 11898-1 oder durch CAN 2.0 A und CAN 2.0 B beschrieben wird.
- Ein erweitertes Rahmenformat mit 29-Bit-Identifizier, welches nach ISO 11898-1 und durch CAN 2.0 B beschrieben wird.



*Ein CAN 2.0A ("Standard CAN") Datenrahmen.*



*Ein CAN 2.0B ("extended CAN") Datenrahmen.*

*Abbildung 3: Aufbau einer CAN-Nachricht [3]*

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, besteht der Datenrahmen aus sieben Feldern:

- Startfeld SOF (Start of Frame)

Dieses Feld dient zum Start der Rahmenübertragung und steht als dominantes Bit „0“ fest. Das SOF dient auch zur Synchronisation der empfangenden Teilnehmer des Busses mit den sendenden Teilnehmern.

- Arbitrationsfeld

Dieses Feld besteht bei CAN 2.0 A aus einem 11-Bit-Identifizier und dem RTR-Bit (Remote Transmission Request-Bit), das bei Datenrahmen dominant gesetzt wird. Bei CAN 2.0 B besteht dieses Feld aus einem 29-Bit-Identifizier und dem RTR-Bit. Das Arbitrationsfeld bestimmt die Priorität der Nachricht, wenn zwei oder mehr Knoten um den Bus konkurrieren. Dabei hat die Nachricht mit dem niedrigsten numerischen Wert im Identifizier-Feld die höchste Priorität.

Bei einem Datenrahmen wird das RTR-Bit auf dominant „0“ und bei einem Remote-Frame auf rezessiv „1“ gesetzt und das sowohl bei einem Basis- als auch Erweiterten Rahmenformat.

- Control Feld

Das Control Feld besteht aus einem Identifizier Extension-Bit (IDE-Bit), ein dominantes reserviertes Bit „r0“ und den vier „DLC“ Bits, die den Datenlängencode enthalten.

Das IDE-Bit wird bei einem 11-Bit Identifizier auf dominant „0“ und bei einem 29-Bit Identifizier auf rezessiv „1“ gesetzt.

- Datenfeld

Dieses Feld kann bis zu 8 Bytes an zu übertragenden Daten enthalten.

- CRC-Feld

CRC steht für „Cyclic Redundancy Check“. Dieses Feld enthält eine 15-Bit-Prüfsumme sowie ein Bit für die Endemarkierung „CRC Delimiter“. Die 15-Bit-Prüfsumme wird für die meisten Teile der Nachricht berechnet und zur Fehlererkennung verwendet.

- Acknowledge-Feld

Wird auch ACK-Slot genannt und besteht aus 2 Bits. Jeder empfangende CAN-Bus Teilnehmer schickt am Ende der Übertragung eine Rückmeldung in der Form eines Bits, um zu signalisieren, ob der Daten-Empfang korrekt war oder nicht. Das Acknowledge-Bit ist bei einem erfolgreichen Daten-Empfang dominant „0“. Mit anderen Worten enthält das ACK-Feld eine Bestätigung von anderen Teilnehmern bei einem korrekten Empfang der Nachricht.



- Ende Feld EOF (End-of-Frame)

Dieses Feld besteht aus sieben rezessiven Bits und kennzeichnet das Ende des Datenrahmens. Die folgende Abbildung bietet eine erweiterte Übersicht auf die Felder eines Basis- und eines erweiterten Datenrahmens.

Basis-Frame nach ISO 11898-1 (früher auch als CAN 2.0A bezeichnet):

Start	Identifizier	RTR	IDE	r0	DLC	DATA	CRC	ACK	EOF+IFS
1 Bit	11 Bit	1 Bit	1 Bit	1 Bit	4 Bit	0...8 Byte	16 Bit	2 Bit	10 Bit

Extended-Frame nach ISO 11898-1 (früher auch als CAN2.0B bezeichnet):

Start	Identifizier	SRR	IDE	Identifizier	RTR	r1	r0	DLC	DATA	CRC	ACK	EOF+IFS
1 Bit	11 Bit	1 Bit	1 Bit	18 Bit	1 Bit	1 Bit	1 Bit	4 Bit	0...8 Byte	16 Bit	2 Bit	10 Bit

Abbildung 4: Zusammenfassende Übersicht der Kennfelder bei Basis- und Extended Datenrahmen [4]

### 2.3.2 Das Remote-Frame

Das Remote-Frame ist bis auf zwei wesentliche Unterschiede zu einem Datenrahmen identisch:

- Das RTR-Bit beim Remote-Frame ist rezessiv „1“.
- Das Remote-Frame enthält kein Datenfeld.

Beim Remote Transmission Request (RTR) Frame, wird eine Nachricht angefordert, sodass der Empfänger mit dem angeforderten Identifizier, den diesem Identifizier gehörenden Datenrahmen liefert. In der Praxis wird das Remote-Frame wenig genutzt und oft nur für die Implementierung eines Anforderungs-Antwort-Typs für das Busverkehrsmanagement verwendet. In der folgenden Abbildung ist ein Beispiel zu einem Remote-Frame dargestellt.

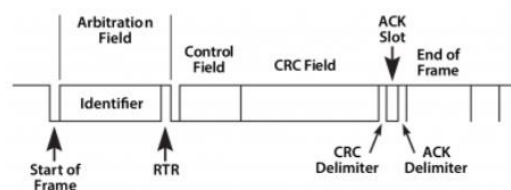


Abbildung 5: Remote-Frame [5]

### 2.3.3 Das Error-Frame

Ein Fehlerahmen wird dann übertragen, wenn ein Knoten einen Fehler erkennt. Durch den Error-Frame macht er alle anderen Knoten auf den Fehler aufmerksam und sie erkennen ebenfalls einen Fehler und senden auch Fehler-Frames. Je nach Konfiguration versucht der Sender automatisch die Nachricht erneut zu übertragen. Ein Fehler-Frame besteht aus einem

Error-Flag mit 6 Bits der gleichen Polarität. Die genaue Polarität hängt vom Fehlerzustand der CAN-Einheit ab. Im Bus-Active Zustand sind diese Bits alle dominant, während sie im Bus-Passive Zustand rezessiv sind. Nach dem Error-Flag folgt der Error-Delimiter, der immer aus 8 rezessiven Bits besteht. Der Error-Delimiter bietet den anderen Knoten die Möglichkeit, ihre Fehlerflags auf dem Bus zu senden, wenn sie das erste Fehlerflag erkennen.

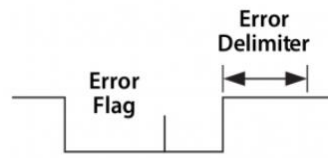


Abbildung 6: Fehlerrahmen [6]

### 2.3.4 Das Overload-Frame

Das Overload-Frame ist dem Error-Frame sehr ähnlich und wird von einem Knoten übertragen, der zu beschäftigt ist, um neue Daten zu verarbeiten. Der Overload-Frame besteht aus einem Overload-Flag mit 6 dominanten Bits und einem Overload-Delimiter mit 8 rezessiven Bits.

## 2.4 CAN-Bit-Timing

Das CAN-Bit-Timing spielt eine wesentliche Rolle bei der Kommunikation innerhalb des CAN-Busses, damit alle Knoten synchron arbeiten können. Um diese Synchronisation im CAN-Netzwerk zu erreichen, arbeiten alle Teilnehmer in diesem Netzwerk mit derselben nominalen Bitzeit (Nominal Bit Time), da kein separates Taktsignal verwendet wird.

Da ein Knoten sowohl die eigenen übertragenen Daten als auch die Daten anderer Knoten gleichzeitig erkennen muss, ist es erforderlich, dass sich diese Knoten, während der Arbitrierung synchronisieren können. Die Synchronisierung ist notwendig auf Grund von Variationen in der Frequenz der internen Oszillatoren der Knoten, die ohne Synchronisation zu Fehlern führen würde.

Während der Übertragung des Startbits, wird eine harte Synchronisation auf den ersten rezessiv zu dominant Übergang durchgeführt. Darüber hinaus erfolgt eine Resynchronisation bei jedem Übergang von rezessiv zu dominant, in dem die Bitzeit je nach Bedarf verlängert oder verkürzt wird. Dieser Übergang sollte bei einem Vielfachen der nominalen Bitzeit erfolgen. Wenn dies aber nicht der Fall ist und die Erwartung des CAN-Controllers nicht bestätigt wird, passt der CAN-Controller die nominale Bit-Zeit entsprechend an. Eine nominelle Bit-Zeit wird in der folgenden Abbildung 7 dargestellt.

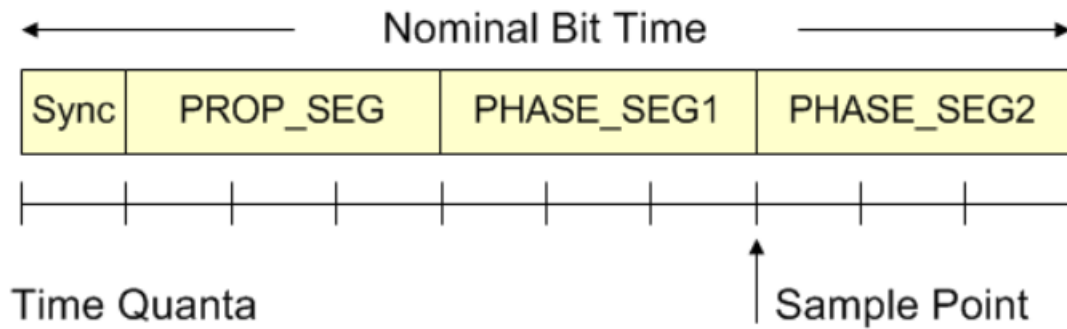


Abbildung 7: Darstellung einer nominalen Bitzeit [7]

Um die Anpassung der Bit-Zeit zu ermöglichen, wird jedes Bit in Zeitscheiben unterteilt, die als Zeit-Quanten  $T_q$  (Time-Quantum) bezeichnet werden, diese Zeit-Quanten werden in Segmente: Synchronisationssegment, Phase Buffer Segment 1 und Phase Buffer Segment 2 gruppiert. Dabei variiert die Anzahl der Quanten in jedem Segment je nach Bitrate, Netzwerkbedingungen und Controller.

Das Synchronisationssegment, das immer ein Quantum lang ist, wird für die Synchronisation der Knoten im CAN-Bus verwendet. Das Ausbreitungssegment wird benötigt, um die Verspätung der Übertragung in den Busleitungen auszugleichen. Wenn sich ein Übergang verspätet oder verzögert, wird die Buseinheit veranlasst, die Zeitdifferenz zu kompensieren, indem sie das Phasensegment 1 verlängert oder das Phasensegment 2 verkürzt. Diese Resynchronisation wird kontinuierlich bei jedem rezessiven zu dominantem Übergang durchgeführt, um sicherzustellen, dass der Sender und Empfänger synchron bleiben.

Zur Bestimmung der Zeit-Quanten-Anzahl, um welche die Phasensegmente 1 und 2 maximal verlängert oder verkürzt werden, wird die sogenannte Synchronisationssprungweite (engl. Synchronization Jump Width, SJW) konfiguriert, die einen Wert von 1 bis 4 Zeit-Quanten annehmen kann.

Wenn ein Bit-Übergang nach dem Synchronisationssegment auftritt, wird dies als positiver Phasenfehler bezeichnet. Und wenn dieser Phasenfehler kleiner als das SJW ist, wird er kompensiert, indem das Phase Buffer Segment 1 um den Phasenfehler verlängert wird. Wenn der Phasenfehler jedoch größer als die SJW ist, wird er kompensiert, indem das Phase Buffer Segment 1 um den SJW-Wert verlängert wird, da die SJW die maximale mögliche Bitzeitänderung ist.

Wenn ein Bit-Übergang vor dem Synchronisationssegment auftritt, wird dies als negativer Phasenfehler bezeichnet. Und wenn dieser Phasenfehler kleiner als das SJW ist, wird er kompensiert, indem das Phase Buffer Segment 2 um diesen Phasenfehler verkürzt wird.

Wenn dieser Phasenfehler größer als die SJW ist, wird er kompensiert, indem das Phase Buffer Segment 2 um den SJW-Wert verkürzt wird, da die SJW die maximale mögliche Bitzeitänderung ist.

### 3 Schaltung des zu entwerfenden Aufsteckmoduls

#### 3.1 Allgemeine Vorstellung eines CAN-Transceivers

Ein CAN-Transceiver ist ein Bauteil, das in der Automobilindustrie und in industriellen Anwendungen zur Kommunikation zwischen Teilnehmern eines Netzwerks bzw. eines CAN-Bus verwendet wird, in dem es das Senden und Empfangen von Daten nach den elektrischen Spezifikationen des CAN-Standards ermöglicht.

Der CAN-Transceiver dient als Schnittstelle zwischen dem physikalischen Bus und dem CAN-Controller oder Mikrocontroller. Seine Hauptfunktion besteht darin, die vom Steuergerät generierten digitalen Signale in die entsprechenden elektrischen Signale für die Übertragung über den Bus umzuwandeln (CAN-H und CAN-L) und die elektrischen Signale vom Bus zu empfangen und in digitale Signale umzuwandeln, die das Steuergerät verstehen kann.

Bei der Übertragung von Daten wandelt der Transceiver die digitalen Signale des Steuergeräts in eine Differenzspannung auf dem CAN-Bus um. Die Differenzspannung repräsentiert die zu übertragenden Bits. Ein dominantes Bit wird durch eine Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen CAN-H (High) und CAN-L (Low) dargestellt, während ein rezessives Bit im idealen Fall durch eine Spannungsdifferenz von 0V repräsentiert wird, wobei in der Praxis eine sehr geringe Spannungsdifferenz auch möglich ist und das rezessive Bit erkannt wird.

In der Industrie verfügen viele elektronische Steuergeräte in der einen oder anderen Form über einen CAN-Transceiver.

#### 3.2 Vorstellung der für das Aufsteckmodul entworfene Schaltung und deren Beschreibung

Das in dieser Bachelorarbeit zu gestaltende Platinen-Modul muss sowohl mit 3,3 V als auch mit 1,2 V betrieben werden und kommunizieren können. Aus diesem Grund wird das Austeckmodul hauptsächlich aus einer Schaltung für einen 3,3 V CAN-Transceiver sowie einer Schaltung für einen 1,2 V CAN-Transceiver bestehen. Diese beiden Schaltungen werden zunächst detailliert betrachtet und einzeln beschrieben und danach in Kombination miteinander für die finale Schaltung dargestellt.

### 3.2.1 Schaltung für den 3,3V CAN-Transceiver

In diesem Teil des Berichts wird die Schaltung des 3,3 V Transceivers betrachtet und beschrieben. Davor wird aber der für den Entwurf dieser Schaltung ausgesuchte und verwendete Transceiver-IC (integrierter Schaltkreis) vorgestellt und einige seiner Eigenschaften aus dem entsprechenden Datenblatt gelistet.

Nach einer Marktrecherche, die sich nach Verfügbarkeit und elektrischen Eigenschaften des gesuchten Bauteils gerichtet hat, wurde der SN65HVD232D Transceiver-IC ausgesucht, der von Texas Instruments hergestellt wird. Er wurde speziell für den Einsatz in Anwendungen entwickelt, welche die Übertragung und den Empfang von Daten unter Verwendung eines symmetrischen Signalisierungsschemas erfordern.

- **Beschreibung des SN65HVD232 CAN-Transceivers**

Der SN65HVD232 CAN-Transceiver ist kompatibel mit den Spezifikationen des ISO 11898-2 High Speed CAN Physical Layer-Standards. Dieses Gerät ist für Datenraten von bis zu 1 Megabit pro Sekunde (Mbps) ausgelegt und verfügt über zahlreiche Schutzfunktionen, welche die Robustheit des Geräts und des CAN-Netzwerks gewährleisten. Das Gerät ist für den Einsatz in Anwendungen vorgesehen, die den seriellen CAN-Kommunikations-Physical-Layer gemäß der Norm ISO 11898 verwenden.

- **Einige Eigenschaften des SN65HVD232 CAN-Transceivers**

- Elektrische Eigenschaften: kann mit einer 3,3 V Spannung versorgt werden und hat einen geringen Stromverbrauch.
- Kompatibel mit dem ISO 11898-2-Standard auch High-Speed-CAN genannt.
- Hochgeschwindigkeits-Kommunikation: Der SN65HVD232 CAN-Transceiver unterstützt Kommunikationsraten von bis zu 1 Mbps, wodurch eine schnelle und effiziente Datenübertragung ermöglicht wird.
- Schutzfunktionen für einen robusten Betrieb: Überspannungsschutz, Unterspannungs-Lockout, störungsfreier Schutz beim Ein- und Ausschalten und Kurzschlussschutz.
- Hohe Eingangsimpedanz ermöglicht bis zu 120 Knoten an einem Bus

- **Einige Anwendungsbereiche des SN65HVD232 CAN-Transceivers**

- Industrielle Automatisierung, Steuerung, Sensoren und Antriebssysteme
- Motor- und Robotersteuerung

- Pin-Konfiguration und -Funktionen des SN65HVD232 CAN-Transceivers

In der folgenden Abbildung wird eine schematische Draufsicht des ausgewählten CAN-Transceivers aus dessen Datenblatt präsentiert.

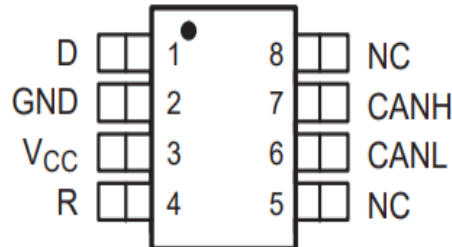


Abbildung 8: Top-View der Pins des SN65HVD232 CAN-Transceivers [8]

Die Funktion der Pins wird in Tabelle 1 zusammengefasst und beschrieben.

PIN		Type	Beschreibung
Name	Nummer		
D	1	Input	CAN-Transmit-Data-Input. Wird auch als TXD bezeichnet.
GND	2	Masse	Masseverbindung
Vcc	3	Versorgung	Versorgungsspannung (3,3 V)
R	4	Output	CAN-Receive-Data-Output. Wird auch als RXD bezeichnet.
NC	5,8		Keine Verbindung
CANL	6	Input/Output	Low-Level-CAN-Busleitung
CANH	7	Input/Output	High-Level-CAN-Busleitung

Tabelle 1: Pin-Konfiguration und Beschreibung des SN65HVD232 CAN-Transceivers [8]

- Darstellung der mit dem SN65HVD232 CAN-Transceiver entworfenen Schaltung

In diesem Abschnitt wird die entworfene Schaltung, in welcher der ausgewählte 3,3 V CAN-Transceiver eingesetzt wird, vorgestellt und beschrieben.

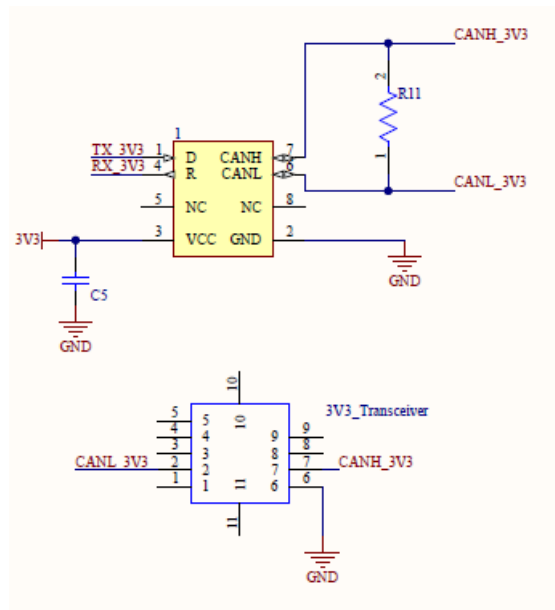


Abbildung 9: Für das Austeckmodul entworfene Transceiver Schaltung mit 3.3V Pegeln

Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, besteht die in diesem Projekt für den 3,3V CAN-Transceiver entworfene Schaltung hauptsächlich aus dem bereits vorgestellten SN65HVD232 CAN-Transceiver in Verbindung mit anderen Bauelementen, die auf Basis der Empfehlungen im Datenblatt des Bausteins verwendet werden.

Die entworfene Schaltung zu dem 3,3 V CAN-Transceiver besteht aus den folgenden Bauteilen:

- SN65HVD232 CAN-Transceiver.
- Kondensator C5: ist ein Keramik 100nF Kondensator und soll möglichst nah am Vcc Versorgungsspannung-Pin und am Massenanschluss des Transceivers liegen. Der Kondensator dient bei hochfrequenten Lastvariationen als Energiereserve.
- 120 Ohm Abschlusswiderstand R11: ist in einem CAN-Netzwerk erforderlich, um die Signalintegrität zu gewährleisten und Reflexionen zu verhindern, welche die ordnungsgemäße Übertragung von Daten beeinträchtigen können. Dieser Abschlusswiderstand wird in der Regel an beiden Enden des CAN-Busses zwischen CANH und CANL platziert.
- 3V3\_Transceiver: ist ein 9-poliger D-SUB-Stecker und verbindet die 3,3 V CAN-Transceiver Schaltung, die in diesem Projekt entworfen wird, mit dem CAN-Bus-Netzwerk.

Die Verbindungen der Pins des SN65HVD232 CAN-Transceivers können wie folgt zusammengefasst werden:

- Pin-1 (D) wird mit dem Tx-Pin des STM32 Nucleo Mikrokontroller Boards verbunden.

- Pin-4 (R) wird mit dem Rx-Pin des STM32 Nucleo Microkontroller Boards verbunden.
- Pin-5 und Pin-8 bleiben ohne Verbindung
- Pin-6 (CANL) wird mit dem Pin-2 des D-Sub-Steckers verbunden.
- Pin-7 (CANH) wird mit dem Pin-7 des D-Sub-Steckers verbunden.
- Pin-2 (GND) wird mit dem GND-Pin des STM32 Nucleo Microkontroller Boards verbunden.
- Pin-3 (Vcc) wird mit dem 3V3-Pin des STM32 Nucleo Microkontroller Boards verbunden.

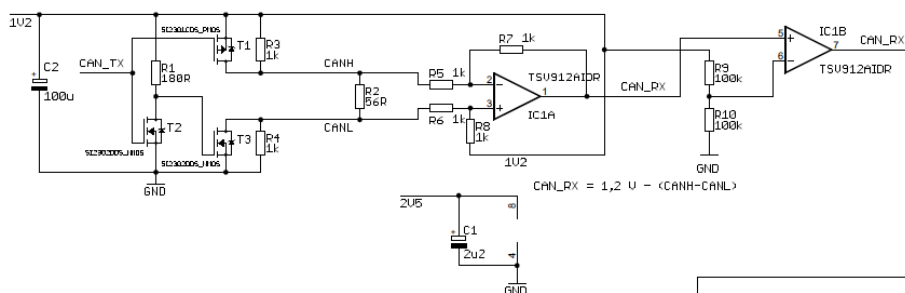
Eine umfassendere Beschreibung der Verbindungen zum STM32 Nucleo Microkontroller Board wird im Abschnitt 3.2.3 gegeben, in dem die komplette Schaltung dargestellt wird.

### 3.2.2 Schaltung für den 1,2V CAN-Transceiver

In diesem Teil des Berichts wird die Schaltung des 1,2 V Transceivers betrachtet und beschrieben.

Die Gestaltung eines 1,2 V CAN-Transceivers ist eine komplexe Aufgabe, die eine sorgfältige Planung und Durchführung erfordert. Durch die Verwendung von hochwertigen Komponenten und eine sorgfältige Layout-Gestaltung kann jedoch ein zuverlässiger und effektiver Transceiver realisiert werden, der den Anforderungen in den verschiedenen Einsatzbereichen gerecht wird.

Die in diesem Projekt entworfene 1,2V CAN-Transceiver Schaltung basiert auf einer Schaltung, die aus einer Vorstudie der Universität Wuppertal aus dem Jahr 2018 stammt (siehe Abbildung 10).



TITLE: CAN_transceiver_1V2	
Document Number:	REV:
Date: 08.05.2019 13:47:47	Sheet: 1/1

Abbildung 10: Vorstudie einer 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung aus dem Jahr 2018 [9]



Basierend auf der vorherigen Schaltung wurde eine projektkonforme Version der 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung entworfen. Diese Schaltung soll mit einer 1,2 V Versorgungsspannung betrieben werden und eine Datenübertragung mit entsprechenden Pegeln gewährleisten können. Die entworfene Schaltung ist in Abbildung 11 dargestellt.

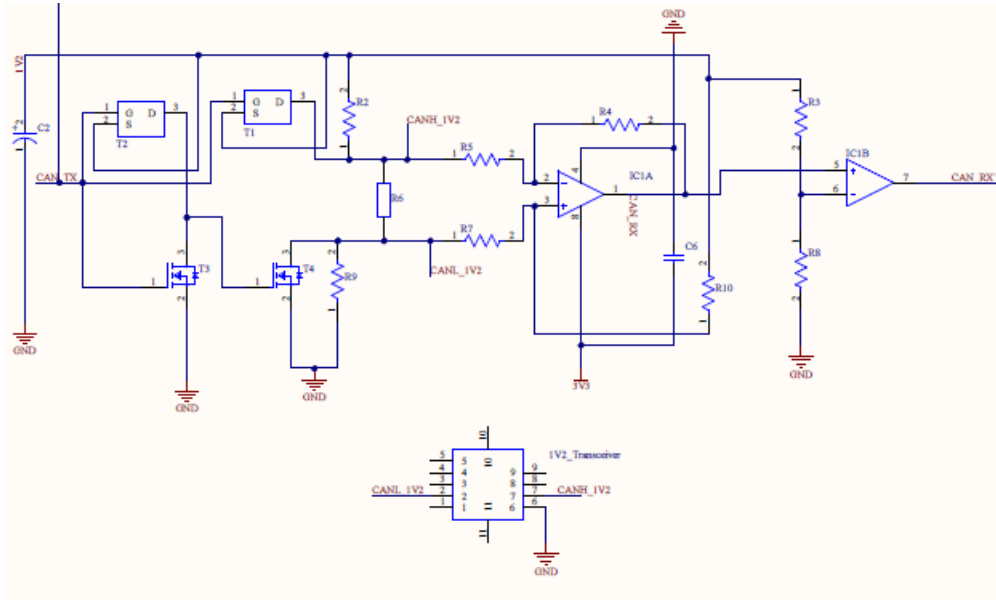


Abbildung 11: Neuentworfene 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung

Die in Abbildung 11 dargestellte Schaltung ähnelt in ihrer Aufgabe bzw. Funktionsweise jedem anderen kommerziellen CAN-Transceiver, der auf dem Markt erhältlich ist. Dies wird z.B. durch die vorhandenen Ein- und Ausgänge deutlich, wie sie in der folgenden Tabelle aufgelistet sind.

Name	Type	Beschreibung
CAN_TX	Input	CAN-Transmit-Data-Input. Wird auch als TXD bezeichnet.
GND	Masse	Masseverbindung
1V2	Versorgung	Versorgungsspannung (1,2 V)
CAN_RX'	Output	CAN-Receive-Data-Output. Wird auch als RXD bezeichnet.
CANL_1V2	Input/Output	Low-Level-CAN-Busleitung
CANH_1V2	Input/Output	High-Level-CAN-Busleitung

Tabelle 2: Eingänge und Ausgänge der 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung

Da der CAN-Transceiver die Versorgungsspannung des Microkontrollers nutzen soll, welche eine Spannung von 5V besitzt, ist es notwendig diese Versorgungsspannung auf 1,2V herunterzuregulieren. Zu diesem Zweck wird der MIC5317-1.2YMT Spannungsregler (High Performance Single 150 mA LDO) eingesetzt.

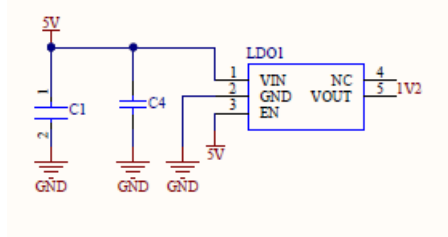


Abbildung 12: Schaltung zum 1,2 V MIC5317-1.2YMT Spannungsregler (LDO1)

Der MIC5317 ist ein hochleistungsfähiger Low-Dropout-Regler, der einen maximalen Laststrom von 150mA liefern kann. Es handelt sich um einen linearen Spannungsregler, der aus einer Eingangsspannung von 2,5V bis 6V eine Ausgangsspannung von 1V bis 3,6V erzeugen kann (siehe Tabelle 3).

Pin	Name	Beschreibung
1	VIN	Eingangsspannung
2	GND	Massenverbindung
3	EN	Enable Input: Active-High. High = ON; Low = OFF (laut Datasheet könnte auch mit der Versorgungsspannung verbunden werden).
4	NC	Keine Verbindung
5	VOUT	Ausgangsspannung

Tabelle 3: PIN-Beschreibung des MIC5317-1,2YMT Spannungsreglers [10]

Bei der Vernetzung des Spannungsreglers sind die Keramik Kondensatoren C1 und C4 mit einer Kapazität von 1uF und 0,1uF zu verwenden, um die Stabilität der Schaltung aufrechtzuerhalten.

Im Folgenden soll nun die Funktion der 1,2V CAN-Transceiver Schaltung und die Aufgabe der einzelnen Komponenten aufgeklärt werden.

In der 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung dienen ein P-Mosfet und ein N-Mosfet als Pull-up bzw. Pull-down Transistoren. Durch den Einsatz dieser Kombination erreicht der Transceiver die erforderliche Pegelverschiebung und Signalkonditionierung für die Verbindung mit dem CAN-Bus.

Beim CAN-Transceiver sind beide Transistoren T1 und T4 entweder gleichzeitig geöffnet oder gleichzeitig geschlossen. Geöffnet sind Sie bei einem logischen High TX-Signal. Dann pegeln sich CAN\_H und CAN\_L auf den gleichen Wert nämlich die Bus-Spannung ein (siehe Abbildung 2). Bei einem Low TX-Signal schließen beide Transistoren, dann wird CAN\_L über den NMOS T4 nach Masse und CAN\_H über den PMOS T1 nach 1.2V gezogen (siehe Abbildung 2). Damit der NMOS T4 bei einem High-Pegel des TX-Signals öffnet und bei einem Low-Pegel schließt, wird dem NMOS noch ein Inverter bestehend aus einem PMOS T2 und NMOS T3 Transistor vorgeschaltet, welches den Signal Pegel invertiert, d.h. von Low auf High bzw. von High auf Low wandelt. Mit diesem invertierten Signal wird dann der NMOS T4 Transistor angesteuert.

Um das differentielle CANH- und CANL- Signal in das massenbezogene CMOS Signal RX umzuwandeln, wird der TSV912AIDR-Operationsverstärker verwendet, der zu der Familie von stromsparenden Rail-to-Rail-Eingangs- und Ausgangs-Operationsverstärkern TSV91x-Serie gehört, wobei sowohl die Eingänge als auch die Ausgänge des Operationsverstärkers bis auf wenige mV an die Versorgungsspannung herankommen können [\[11\]](#) [\[22\]](#). Diese Bauelemente arbeiten von 2,5V bis 5,5V und sind einheitsverstärkungsstabil und für eine breite Palette von Allzweckanwendungen ausgelegt.

Der Keramik-Kondensator C6 mit der Kapazität von 100nF wird zwischen dem Versorgungspin (Pin8) und Masse (Pin4) angeschlossen, um Rauschen, das sich in analogen Schaltungen über die Stromversorgungsanschlüsse in der gesamten Schaltung des Operationsverstärkers ausbreiten kann, zu reduzieren [\[11\]](#).

Das CANH-Signal wird über einen 1k $\Omega$ -Widerstand R5 mit dem invertierenden Eingang (Pin2) des OPV verbunden und das CANL-Signal wird ebenfalls über einen 1k $\Omega$ -Widerstand R7 mit dem nichtinvertierenden Eingang (Pin3) des OPV verbunden. Zusätzlich wird die 1.2V Versorgungsspannung auch über einen 1k $\Omega$ -Widerstand R10 an den nichtinvertierenden Eingang angeschlossen. Zusammen mit dem Rückkoppelwiderstand R4 vom Ausgang des OPV auf den invertierenden Eingang ist der OPV als Substraktionsglied beschaltet.

Das Ausgangssignal am Pin 1 des OPV kann nicht direkt vom Mikrokontroller verarbeitet werden. Das Signal, das die Differenzspannung zwischen CANH und CANL darstellt, muss erst in CMOS-Pegel umgewandelt werden. Dies geschieht mit Hilfe eines zweiten OPVs, bei dem das Differenzsignal mit einer Referenzspannung verglichen wird. Die Referenzspannung wird mit Hilfe eines Spannungsteilers, der aus den Widerständen R3 und R8 mit jeweils 100k $\Omega$  besteht, erzeugt und beträgt 600 mV. Diese Referenzspannung wird mit dem invertierenden Eingang Pin 6 des OPV verbunden. Am Pin 5 dem nicht-invertierenden Eingang wird die Differenzspannung angeschlossen. Wenn die Referenzspannung höher als das

Eingangssignal ist, gibt der OPV 0V aus. Wenn die Referenzspannung niedriger als das Eingangssignal ist, gibt der OPV 1,2V aus. Der Ausgang des zweiten OPV entspricht dann dem RX-Signal, welches an den Mikrocontroller weitergeleitet werden kann.

Zur Verbindung des 1,2 V CAN-Transceiver Teils der Leiterplatte mit dem CAN-Bus-Netzwerk, steht der 9-polige D-SUB-Stecker „1V2\_Transceiver“ zur Verfügung (siehe die folgende Abbildung 13).

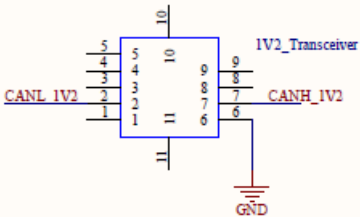


Abbildung 13: Schematische Darstellung des 1V2\_Transceiver D-Sub Steckers

### 3.2.3 Darstellung der finalen Schaltung des Aufsteckmoduls

Das zu entwerfende Aufsteckmodul muss genau passend auf das STM32 Nucleo Microkontroller Board eingesteckt werden können. Deswegen muss die Pin-Belegung des verwendeten Microkontrollers berücksichtigt werden, weswegen sie im Folgenden vorgestellt und beschrieben wird.

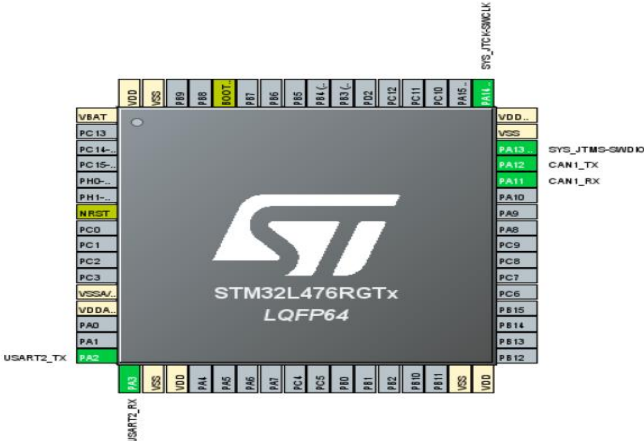


Abbildung 14: Pinout-View des Microkontrollers aus der Pin-Konfigurationsansicht in STM32CubeMX

Wie in Abbildung 14 zu sehen ist, kann die Pinbelegung des Microkontrollers konfiguriert werden. In diesem Projekt wurde insbesondere die folgende Konfiguration bezüglich der CAN-Signale gewählt:

- PA12: TXD-Signal-Pin (CAN1\_TX)
- PA11: RXD-Signal-Pin (CAN1\_RX)

Diese beiden Pins befinden sich im Bereich des CN10 Konnektors des verwendeten Nucleo Boards.

CN10	
1	PC8
2	PC6
3	PC5
4	USV
5	NC
6	NC
7	PA12
8	PA11
9	NC
10	NC
11	PA12
12	PA11
13	NC
14	NC
15	NC
16	NC
17	NC
18	NC
19	GND
20	GND
21	GND
22	NC
23	PB1
24	PB1
25	PB15
26	PB15
27	PB14
28	PB14
29	PB13
30	PB13
31	AGNE
32	PC4
33	PC4
34	NC
35	NC
36	NC
37	NC
38	NC

Abbildung 15: CN10 Konnektor des Microkontrollers [12]

Für die Versorgungsspannung bietet das STM32L476RG-Nucleo-Board zwei Möglichkeiten:

- Eine 5V Versorgungsspannung
- Eine 3.3V Versorgungsspannung

In Abbildung 16 werden die Pins für die beiden Versorgungsspannungen, zwei Pins für GND und die TXD und RXD CAN Signale dargestellt. Alle Pins befinden sich auf dem Konnektor CN6 des Microkontrollers.

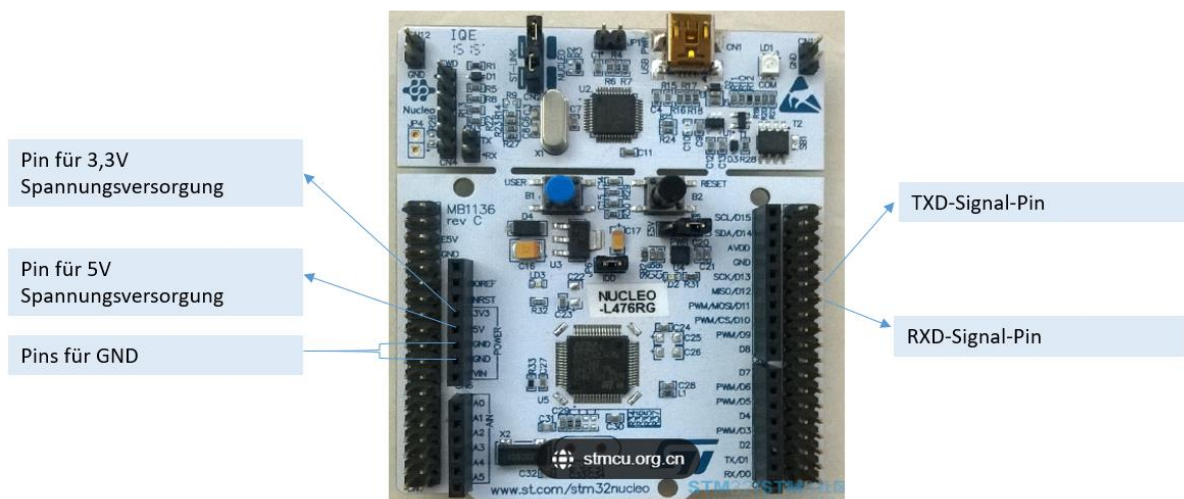


Abbildung 16: Darstellung der Pins für die Versorgungsspannungen, die GND's und die TX-CAN und RX-CAN

Die vollständige Schaltung inklusive des 3.3V CAN Transceiver ICs, den Komponenten des 1.2V CAN-Transceivers und der Stecker für das in diesem Projekt entworfene Aufsteckmodul ist in Abbildung 17 dargestellt.

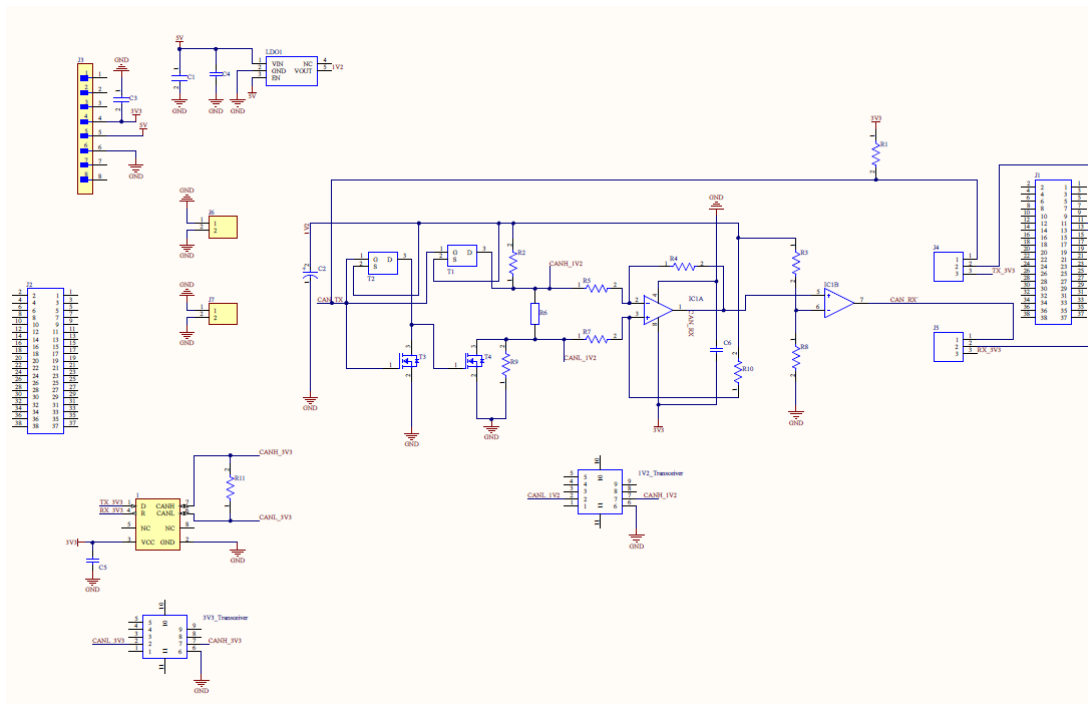


Abbildung 17: Komplette Schaltung zum entworfenen Aufsteckmodul

Die Schaltung besteht aus den bereits beschriebenen 1,2V und 3,3 V CAN-Transceiver Schaltungen in Kombination mit anderen Bauelementen, die im Folgenden aufgelistet werden (siehe Abbildung 17):

- J6 & J7: sind 2\*1 Stiftleisten und dienen als extra GND-Pins, um die Durchführung von Tests zu vereinfachen.
- J1: ist eine 19\*2 Steckerleiste und dient zur Verbindung der Schaltung mit den CAN-Signalen (TXD & RXD) des Mikrokontrollers und wird auf den CN10 Konnektor eingesteckt.
- J2: ist eine 19\*2 Steckerleiste und wird auf den CN7 Konnektor des Mikrokontrollers eingesteckt. Die Aufgabe dieser Steckerleiste besteht darin, die mechanische Stabilität des Aufsteckmoduls in Verbindung mit dem Mikrokontroller sicherzustellen.
- J3: ist eine 8\*1 Stiftleiste und dient zur Verbindung der Schaltung mit den Anschlüssen der Spannungsversorgung des Mikrokontrollers.
- J4: Ist eine 3\*1 Stiftleiste und entspricht einem Jumper. Mit diesem Bauteil wird je nach Wunsch des Nutzers der TXD-Signal-Pin des Mikrokontrollers entweder mit der 3,3 V CAN-Transceiver Schaltung oder mit der 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung verbunden.
- J5: Ist eine 3\*1 Stiftleiste und entspricht ebenfalls einem Jumper. Mit diesem Bauteil wird je nach Wunsch des Nutzers der RXD-Signal-Pin des Mikrokontrollers entweder

mit der 3,3 V CAN-Transceiver Schaltung oder mit der 1,2 V CAN-Transceiver Schaltung verbunden.

## 4 Entwurf des Aufsteckmoduls mit Altium Designer

In diesem Kapitel wird eine kurze Einführung in Altium Designer gegeben und danach werden die Schritte zur Projekterstellung und Bearbeitung mit dieser Software dokumentiert und beschrieben.

### 4.1 Einführung in Altium Designer

Altium Designer ist eine professionelle Software für das Design von elektronischen Schaltungen und Leiterplatten (PCBs), die im Jahr 2005 von Altium auf den Markt gebracht wurde. Ursprünglich besaß die Firma den Namen „Protel Systems Pty Ltd“, welche die Software nur in Australien vertrieben hat.

Mit Altium Designer können viele Bauteile aus umfangreichen Bibliotheken mit einer Vielzahl elektronischer Komponenten ausgewählt und in einem Schaltplan verwendet oder platziert werden.

Im Allgemein bietet Altium Designer dem Benutzer die Möglichkeit, den Entwurf einer Leiterplatte vom Schaltungsentwurf bis zur Vorbereitung auf Produktion zu begleiten.

### 4.2 Schritte zur Projekterstellung in Altium Designer

#### 4.2.1 Erstellung eines neuen PCB-Projekts

Ein Projekt ist eine Zusammenstellung von mehreren Dateien und dient dazu, alle zusammengehörenden Dateien zu bündeln. In einem Projekt können mehrere Schaltpläne wie auch PCB-Layouts enthalten sein. [\[15\]](#)

Um ein neues Projekt in Altium Designer zu erstellen, muss im Hauptmenü:

„File“ >> „New“ >> „Project“ gewählt werden.

Danach öffnet sich ein Fenster, in dem Projekt-Name und -Verzeichnis gewählt werden können (siehe Abbildung 18).

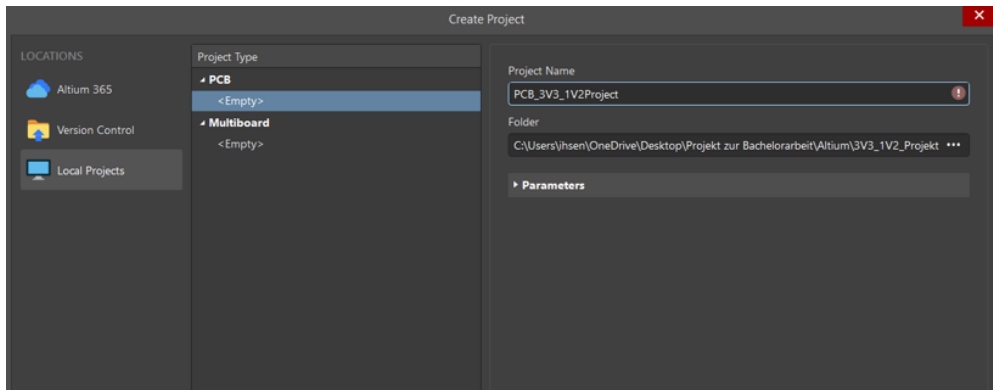


Abbildung 18: Erstellung eines neuen PCB-Projekts

#### 4.2.2 Einen neuen Schaltplan sowie ein PCB-Dokument zum Projekt hinzufügen

Zunächst soll ein neues Schaltplanblatt zum erstellten Projekt „PCB\_3V3\_1V2Project“ hinzugefügt werden. Dafür muss der folgende Schritt ausgeführt werden:

Das Projekt im Projektpanel mit der rechten Maustaste anklicken und >> „Add New to Project“ >> „Schematic“ auswählen (Siehe Abbildung 19).

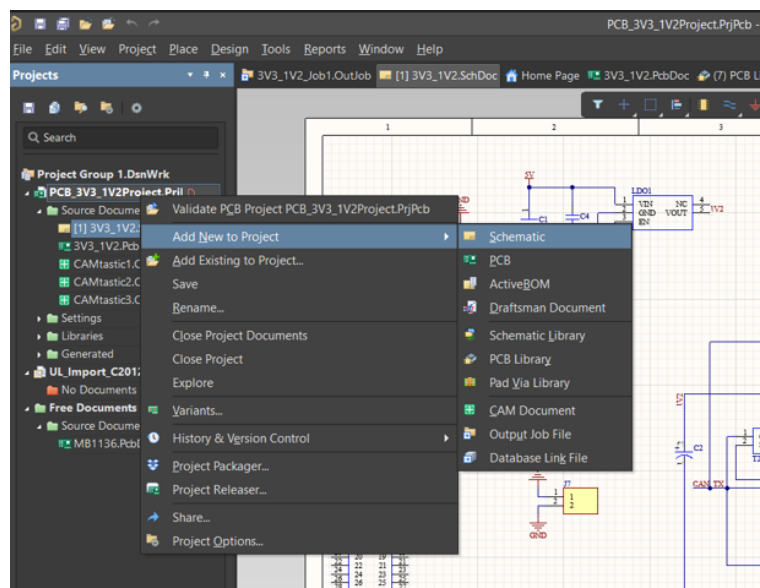


Abbildung 19: Abbildung zur Erstellung eines neuen Schaltplanblatts (Schematic) zum Projekt

Um dem Projekt ein neues PCB-Dokument hinzuzufügen, müssen folgende Schritte ausgeführt werden:

Das Projekt im Projektpanel mit der rechten Maustaste anklicken und >> „Add New to Project“ >> „PCB“ auswählen (siehe Abbildung 20).



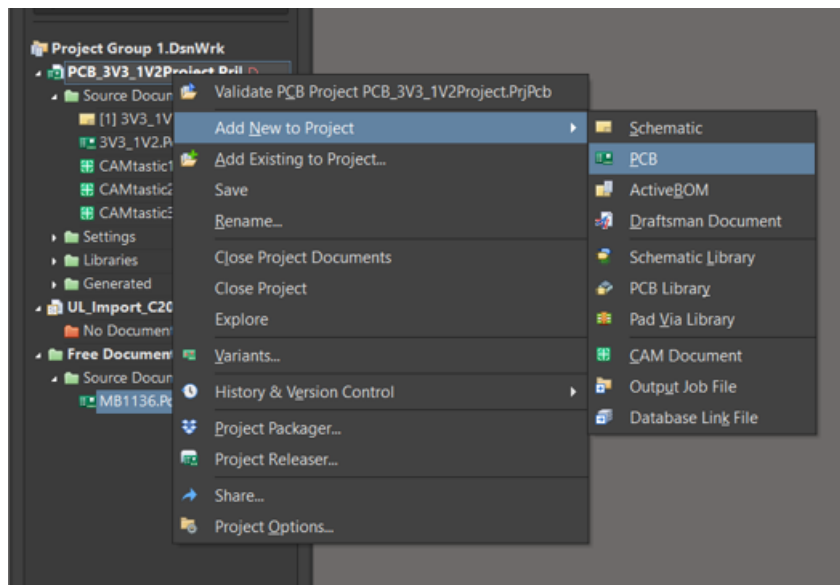


Abbildung 20: Neues PCB-Dokument zum Projekt hinzufügen

Mit Strg-S oder einem Rechtsklick auf das Schematic- oder PCB-Dokument, können diese Dokumente mit gewünschtem Namen abgespeichert werden.

#### 4.2.3 Erfassung des Schaltplans

Altium Designer verfügt über eine große Bauteildatenbank. Das Panel "Manufacturer Part Search" bietet eine Suchfunktion auf der Grundlage von Kategorien und parametrischer Filterung, die es ermöglicht, genau das Bauteil auszuwählen, das benötigt wird und einen bevorzugten Lieferanten für dieses physische Teil auf der Grundlage von Kosten und Verfügbarkeit zu wählen. [\[13\]](#)

Um die für den Entwurf des Aufsteckmoduls verwendeten Komponenten zu suchen, wurde der Panel „Manufacturer Part Search“ wie folgt genutzt:

Auf Panel klicken und >> „Manufacturer Part Search“ auswählen >> Dann entweder den Suchfilter benutzen, um ein bestimmtes Bauteil zu finden oder direkt die Bauteilnummer falls vorhanden eingeben.

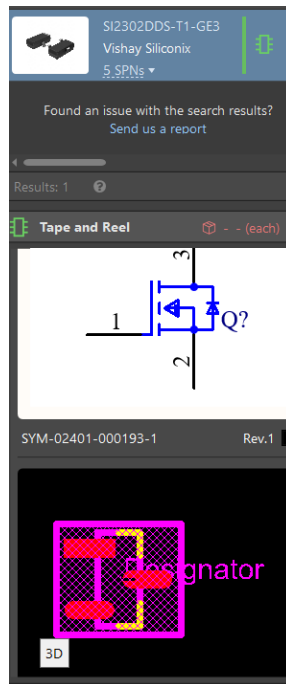


Abbildung 21: Beispiel zur Komponentensuche mit dem "Manufacturer Part Search" Panel

Durch die Verwendung des „Manufacturer Part Search Panel“ konnte für das gesuchte Bauteil sowohl das für die Schaltungserfassung benötigte Schaltplansymbol als auch das für das PCB-Layout benötigte PCB-Footprint und viele andere Informationen wie zum Beispiel Verfügbarkeit und Preis erhalten werden.

Alternativ dazu könnte auch das Schaltplansymbol und PCB-Footprint für das gebrauchte Bauteil aus einer externen Bibliothek wie zum Beispiel „Ultra Librarian“ heruntergeladen werden.

Ultra Librarian bietet eine umfassende Bibliothek mit Millionen von Komponenten, die eine manuelle Erstellung und Pflege überflüssig macht. Ultra Librarian bietet die Möglichkeit, Komponenten schnell zu suchen, in der Vorschau anzuzeigen und zu platzieren, was Zeit spart und Fehler vermeidet. [\[14\]](#)

Nach dem ein Konto bei Ultra Librarian kostenlos erstellt wird, können Bauelemente gesucht und die dazu gehörigen Schaltplansymbole und PCB-Footprints heruntergeladen werden. Diese können dem Projekt auf folgende Weise hinzugefügt werden:

Aus dem Download-Ordner des PC's die benötigten Dateien wie z.B. das PCB-Footprint oder das Schaltsymbol mit der linken Maustaste in das geöffnete Altium-Projekt ziehen und das Hinzufügen des Dokuments bestätigen. Das heruntergeladene Dokument erscheint als Schematic Library Dokument oder PCB Library Dokument im Projekt Panel. Das

Schaltplansymbol kann anschließend im „Components“ Panel ausgewählt werden und in das Schaltplanblatt hinzugefügt werden (siehe Abbildung 22)

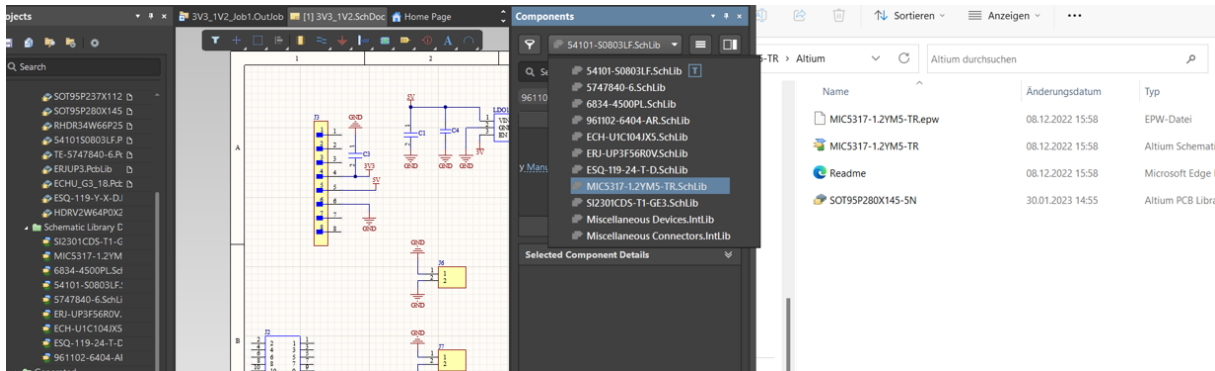


Abbildung 22: Beispiel zum Download eines Schaltsymbols sowie eines PCB-Footprints

Um Bauteileigenschaften anzupassen, kann folgendes gemacht werden:

Das Bauteil mit der linken Maustaste zweimal anklicken >> Bauteil Eigenschaften im „Properties“ Panel verwalten oder anpassen (siehe folgende Abbildung).

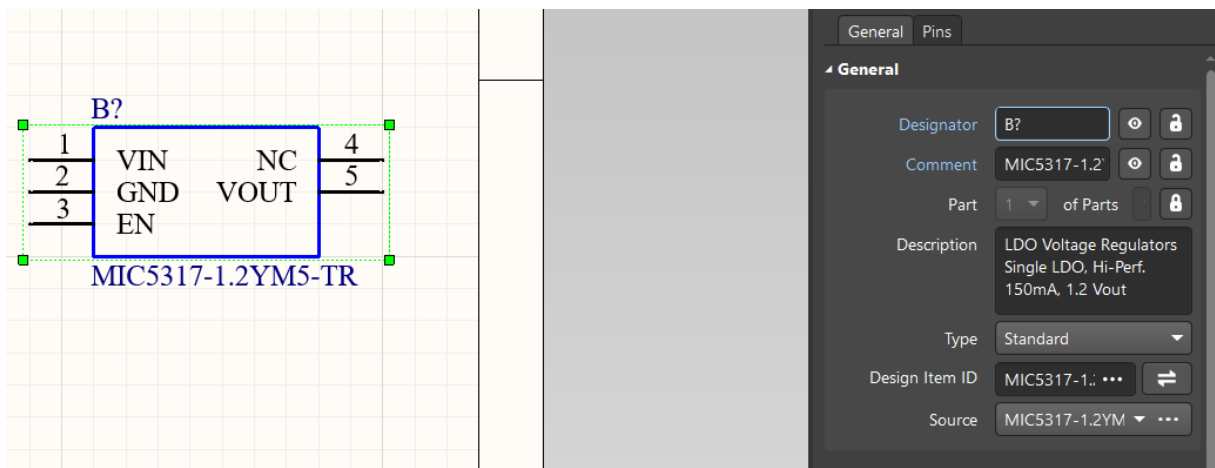


Abbildung 23: Beispiel der Eigenschaften eines Bauelements im „Properties“ Panel

Nach dem alle Bauelemente entweder aus dem Manufacturer Part Search oder aus einer externen Bibliothek wie der Ultra Librarian in den Schaltplan gebracht wurden, können alle Bauteile miteinander elektrisch verbunden, was als „Wiring“ bezeichnet wird. Das kann über die Schnellzugriffleiste erfolgen (siehe Abbildung 24).

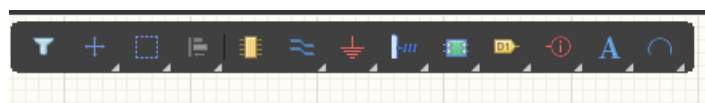


Abbildung 24: Darstellung von elektrischen Objekten in der Schnellzugriffleiste

Über diese Schnellzugriffleiste können einige weitere elektrische Objekte bzw. Funktionen verwendet werden, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst worden sind.










Symbol	Name	Aufgabe
	Wire	Leiterbahn im Schaltplan verlegen
	BUS	BUS-Leitung im Schaltplan verlegen
	BUS Entries	Einzelne Leitungen zusammenführen
	Net Label	Einer Leitung mit einer Netzklasse versehen
	Power Ports	Potentialangabe
	Track	Leiterbahnen auf der PCB verlegen
	Polygone	Elektrische Flächen erzeugen
	Via	Durchkontaktierungspunkt setzen
	Pad	Bohrloch setzen

Tabelle 4: Wichtige elektrische Objekte aus der Schnellzugriffleiste [15]

Als letzter Schritt nach der kompletten Vernetzung, Benennung der Netze und Konfiguration aller Komponenten, werden die benötigten Informationen aus dem Schaltplan in das PCB-Dokument weitergeleitet, indem das Menü Design mit links angeklickt wird >> und Update Dokument 3V3\_1V2.PcbDoc ausgewählt wird (siehe folgende Abbildung).

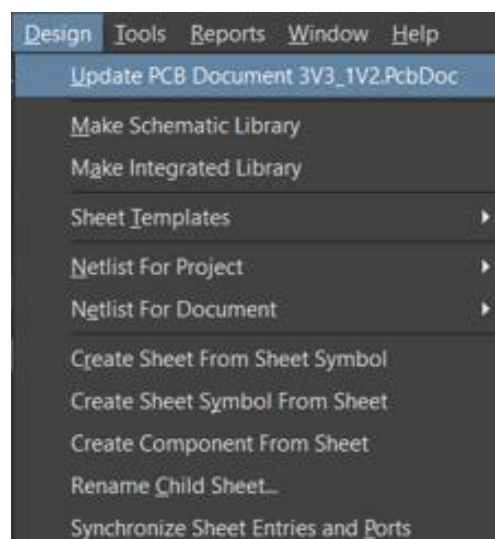


Abbildung 25: Update PCB-Dokument

## 4.2.4 PCB-Editor

Als erstes soll das PCB-Dokument im Projekt-Panel mit einem Doppelklick und danach die Änderungen aus dem Schaltplan in das PCB-Editor importiert werden, in dem „Import Changes from PCB\_3V3\_1V2Project.PrjPcb“ unter das Menü „Design“ gewählt wird.

- **Import PCB-Rules**

Da die Leiterplatte, die in diesem Projekt entworfen wird, beim Leiterplatten-Hersteller „Eurocircuits“ produziert wird, müssen Design Rules von diesem Hersteller in das PCB-Projekt wie folgt importiert werden:

Design >> Rules >> RMT auf Ordner Design Rules >> Import Rules >> Drauf achten, dass alles mit ctrl a enabled ist >> 6C-2L-1550um.RUL auswählen, ein bereits erstelltes .RUL File öffnen >> Clear existing rules yes wählen (siehe Abbildung 26). [\[16\]](#)

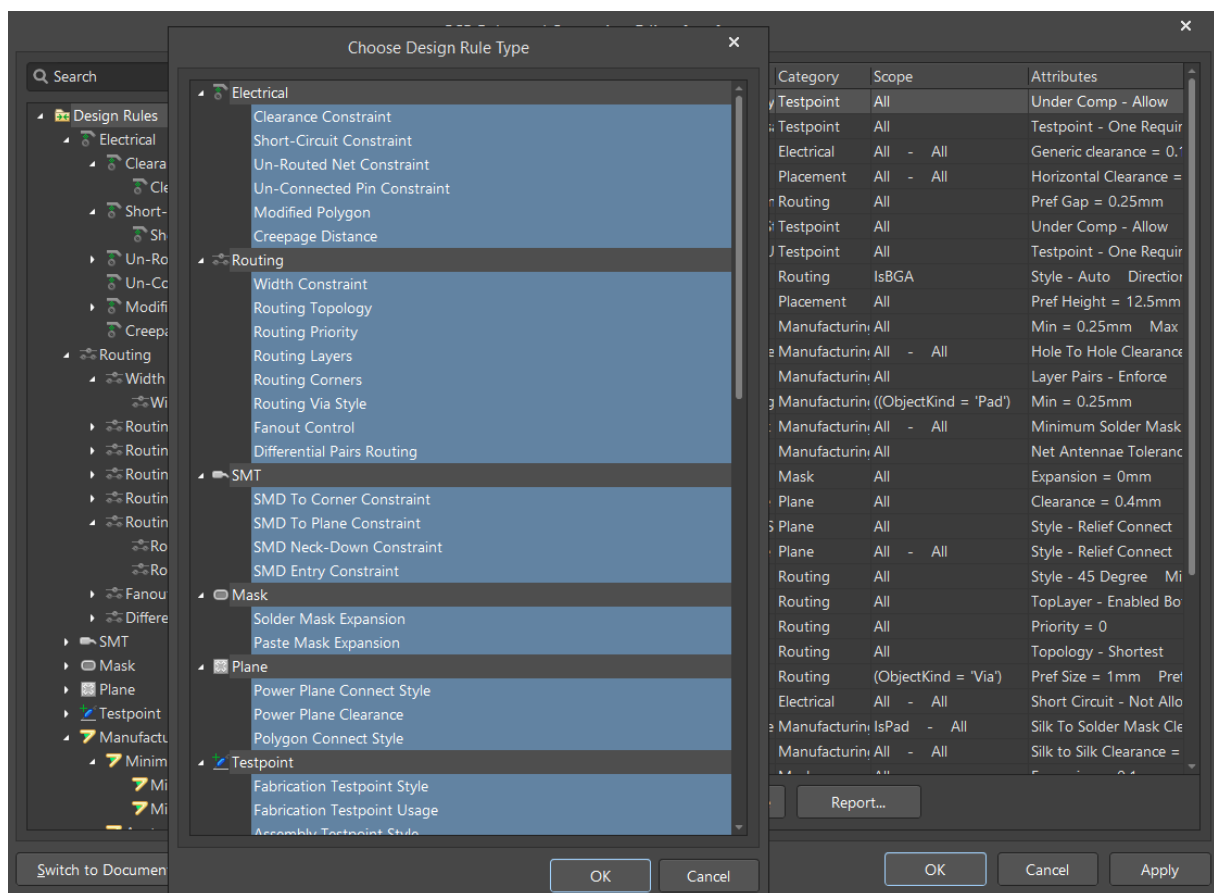


Abbildung 26: PCB-Rules importieren

- **Setzung des relativen Koordinatenursprungs**

Der PCB-Editor verfügt über zwei Koordinatenursprünge. Den absoluten Koordinatenursprung, der die untere linke Ecke des Designraums darstellt und den

benutzerdefinierbaren relativen Koordinatenursprung, der zur Bestimmung der aktuellen Designraumposition verwendet wird. Die in der Statusleiste angezeigten Koordinaten sind relativ zum relativen Koordinatenursprung definiert. Um den relativen Koordinatenursprung zu setzen, wird folgendes gewählt: Edit » Origin » Set. [\[17\]](#)

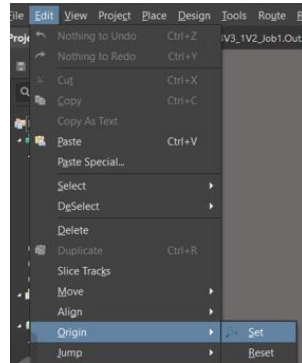


Abbildung 27: Setzen des relativen Koordinatenursprungs

- Platzierung der Stecker unter Wahrung der Kompatibilität zum Nucleo Board

Nach dem alle Bauteile mit den elektrischen Verbindungen aus dem Schaltplanblatt in das PCB-Dokument erfolgreich importiert worden sind, werden die im Schaltplan definierten Footprints der Bauteile im PCB-Editor angezeigt.

Zunächst sollten alle Bauteile sorgfältig auf die Leiterplatte platziert werden. Dabei müssen viele Faktoren für einen erfolgreichen Entwurf einer Leiterplatte berücksichtigt werden wie zum Beispiel die Verbindungen zwischen den Bauteilen. Die Länge der Leiterbahnen soll so kurz wie möglich sein und Kreuzungspunkte sollten vermieden werden.

Da das Aufsteckmodul in diesem Projekt genau passend auf das Nucleo Microkontroller Board gesteckt werden soll, wurde das PCB-Dokument des verwendeten Microkontrollers heruntergeladen, um die genaue Position und die Abstände zwischen den Steckern herauszufinden und sie beim PCB-Layout des Aufsteckmoduls zu berücksichtigen.

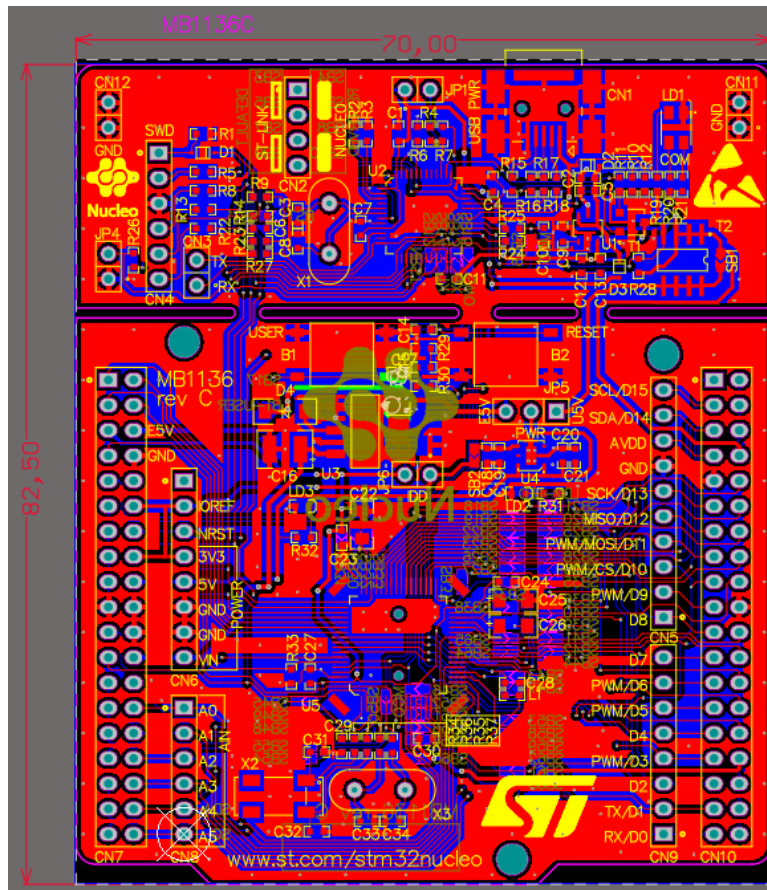


Abbildung 28: PCB-Dokument des verwendeten STM32 Nucleo Boards

- Edit Board-Shape

Um die Form der Leiterplatte zu definieren, wurde mit Hilfe von „Arcs“ und „Lines“ aus der Schnellzugriffleiste im „Mechanical 1 Layer“ das gewünschte Aussehen der Leiterplatte gezeichnet. Aus dieser Zeichnung kann die Form der Leiterplatte dann durch folgende Schritte festgesetzt werden:

Das gesamte Board markieren >> Design >> Board Shape >> Define Board Shape from selected Objects wählen (siehe Abbildung 29).

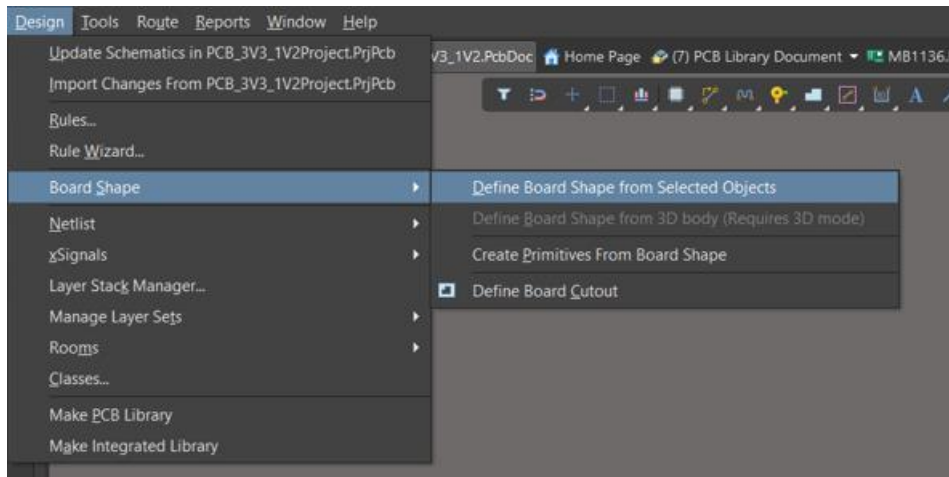




Abbildung 29: Anpassung der PCB-Form

- PCB-Routing

Nach dem das Board Shape definiert wurde und alle Bauteile möglichst optimal verteilt und platziert wurden, kann mit dem Routing begonnen werden. Für die Verbindung werden „Wires“ benötigt, die schnell aus der Schnellzugriffleiste über das Symbol  gewählt werden können.

Um Kreuzungspunkte beim Routing zu vermeiden, werden „Vias“ mit Hilfe des Symbols  gesetzt, um eine Leiterbahn über verschiedene Layern zu verlegen.

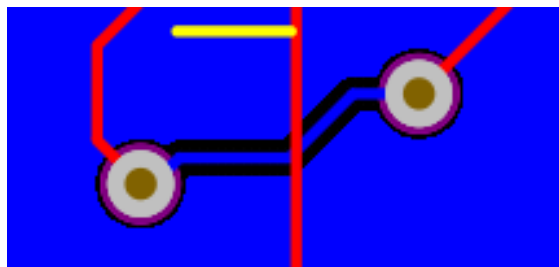


Abbildung 30: Beispiel zum Einsatz eines Vias um vom Top- zum Bottom-Layer zu wechseln

- Verbindung alle GND's auf dem Bottom Layer

Auf dem Bottom Layer der Leiterplatte sollten alle Massenanschlüsse durch eine großflächige Leiterbahn verbunden werden, um EMV-Störungen zu reduzieren. Die Massefläche kann durch den Befehl „Polygon Pour“ wie folgt erzeugt werden: Place >> Polygon Pour (siehe folgende Abbildung).



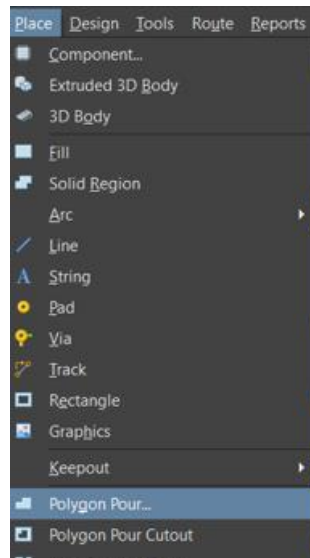


Abbildung 31: Menüeintrag zur Generierung der Massefläche über „Polygon Pour“

- Ausführung des Design Rule Checks

Vor der Erstellung der Project-Outputs für die Vorbereitung der Produktionsdaten, sollte ein Design Rule Check durchgeführt werden, um Fehler des Entwurfs zu identifizieren und zu korrigieren. Das kann wie folgt gemacht werden:

Tools >> Design Rule Check >> Run Design Rule Check.

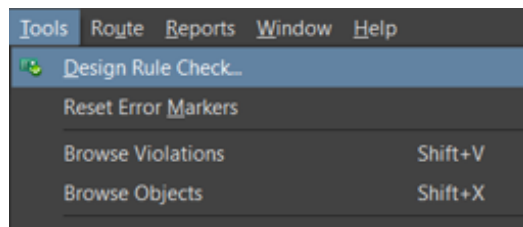


Abbildung 32: Menüeintrag für den Design Rule Check

Nach Abschluss des Checks öffnet sich das HTML Dokument Design Rule Verification Report, in dem die Fehler gezeigt werden. Durch Anklicken dieser Fehler, werden sie im PCB-Editor hervorgehoben und können dann korrigiert werden.

#### 4.2.5 Erstellung von Projekt-Produktionsdaten (Project-Outputs)

Nach Korrektur aller Fehler kann die Leiterplatte für die Produktion vorbereitet werden. Um ein Output Job File zu erstellen, muss folgendes gemacht werden:

Das Projekt mit der rechten Maustaste auswählen und >> Add New to Project >> Output Job File selektieren.

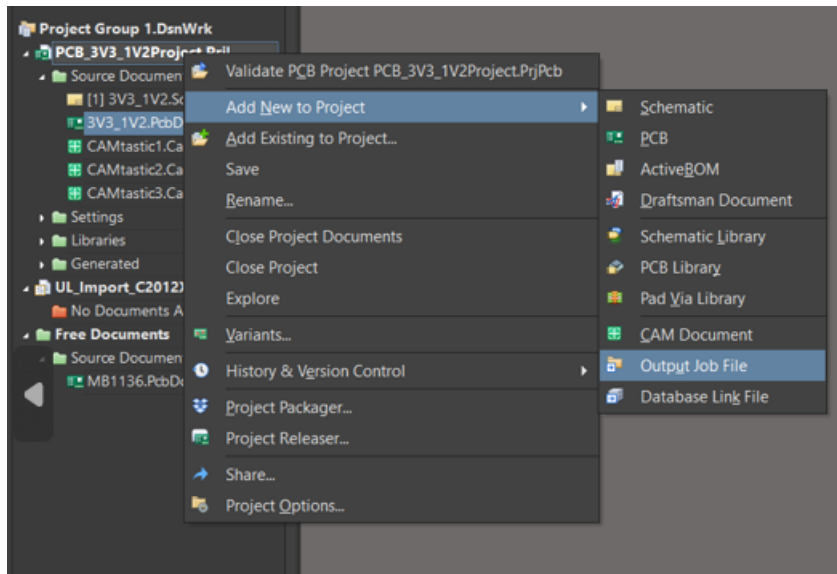


Abbildung 33: Erstellung eines Output Job Files

Für die Produktion müssen folgende Projekt-Produktionsdaten (Project-Outputs) generiert werden:

- Für die Bestellung der Bauelemente muss eine sogenannte Bill Of Materials-Datei (BOM) erstellt werden, auf der alle Bauteile mit deren Stückzahl und weiteren Informationen gelistet werden.

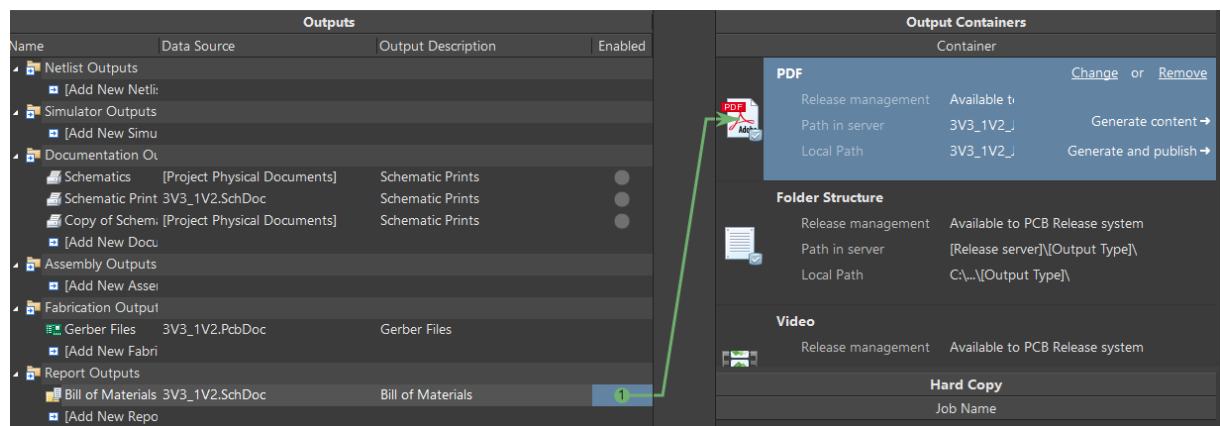


Abbildung 34: Erstellung des Bill Of Materials als PDF-Datei

- Für die Produktion der Leiterplatte müssen Gerberdaten generiert werden, die vom Hersteller bei der Prozessierung der Leiterplatte und der Schablone benötigt werden.

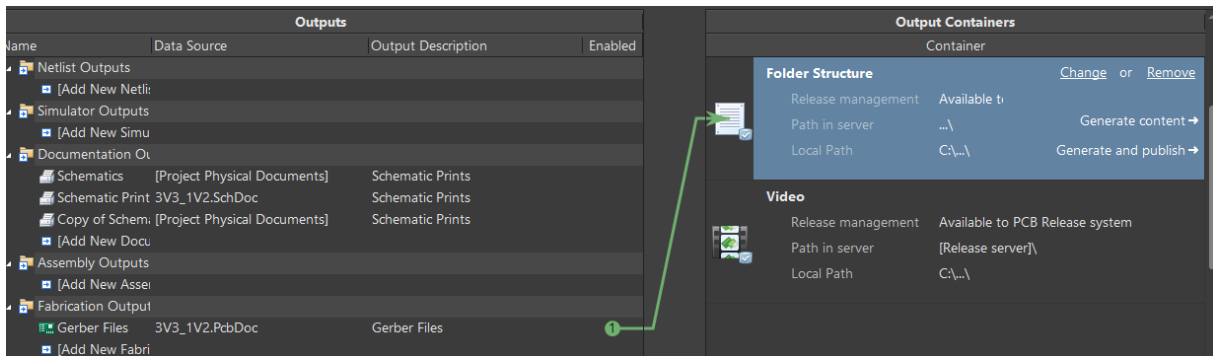


Abbildung 35: Generierung von Gerberdaten

- Die Funktion „Output Job Files“ ermöglicht auch die Erstellung einer PDF-Datei mit dem Schaltplan und dem Layout.

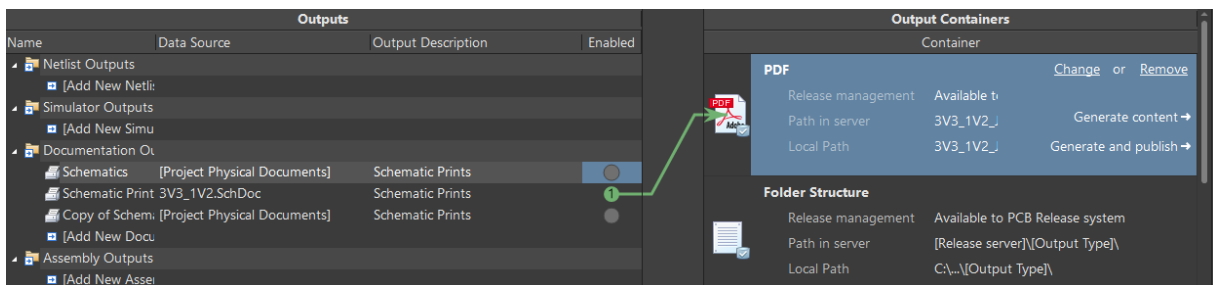


Abbildung 36: Erstellung einer PDF-Datei für das Schaltplanblatt

#### 4.2.6 Bestellung der Bauelemente und Kostenübersicht für die Produktion der Leiterplatte

Die Bestellungskostenübersicht der benötigten Bauteilen, ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Bezeichner	Kommentar	Beschreibung	Menge	Stückpreis in €	Gesamtpreis in €
1	SN65HVD232DR	IC TRANSCEIVER HALF 1/1 8SOIC; SN65HVD232D	1	2,67	2,67
1V2_Transceiver, 3V3_Transceiver	5747840-6	9 way r/a PCB D plug w/screw lock,6A	2	5,14	10,28
C1	C2012X7R1E105K125AB	Multilayer Ceramic Capacitors 1µF ±10% 25V X7R SMD 0805	1	0,08	0,0803

C2	20TQC100MD2	Molded Tantalum Polymer Capacitor 100uF 20% 20V life 2000Hours SMD 2917	1	2,10	2,1
C3	C2012X7R1C225K125AB	Multilayer Ceramic Capacitors 2.2µF ±10% 16V X7R SMD 0805	1	0,19	0,19
C4, C5, C6	C2012X7R1H104K085AA	Chip Capacitor, 0.1 uF, +/- 10%, 50 V, -55 to 125 degC, 0805 (2012 Metric), RoHS, Tape and Reel	3	0,12	0,36
IC1	TSV912AIDR	IC OPAMP GP 2 CIRCUIT 8SOIC	1	0,85	0,85
J1, J2	ESQ-119-24-T-D	.100" PC/104 Elevated Socket Strip, positions per row, row	2	7,63	15,26
J3	M20-9990846	CONN HEADER VERT 8POS 2.54MM	2	0,318	0,636
J4, J5	54101-S0803LF	BergStik, Board to Board connector, Unshrouded vertical Header, Through Hole, Single Row, 3 Positions, 2.54 mm Pitch.	2	0,17661	0,35322
J6, J7	961102-6404-AR	3M 961, 2 Way, 1 Row, Straight Pin Header	2	0,22	0,44

LDO1	MIC5317-1.2YM5-TR	LDO Voltage Regulators Single LDO, Hi-Perf. 150mA, 1.2 Vout	1	0,21	0,21
R1, R3, R8	CPF0603B100KE1	RES SMD 100K $\Omega$ 0.1% 1/16W 0603	3	0,46	1,38
R2, R4, R5, R7, R9, R10	CPF0603F1K0C1	RES SMD 1.0K $\Omega$ 1% 1/16W 0603	6	0,157	0,942
R6	ERJ-UP3F56R0V	Anti-Sulfurated Thick Film Chip Resistors/ Anti-Surge Type, Power Rating (W): 0.25, Chip Size (LxW(EIA)) (mm): 1.6 x 0.8 (EIA:0603), Resistance Values (?): 56, Resistance Tolerance (%): 1, T.C.R (?102/K): ?100	1	0,194	0,194
R11	CPF0603B120RE1	RES SMD 120 $\Omega$ 0.1% 1/16W 0603	1	0,64	0,64
T1, T2	SI2301CDS-T1-GE3	SI2301CDS-T1-GE3, Pchannel MOSFET Transistor 2.3 A 20 V, 3-Pin SOT-23, TO-236	2	0,302	0,604
T3, T4	SI2302DDS-T1-GE3	MOSFET N-CH 20V 2.9A SOT23-3	2	0,384	0,768
Summe:					37,95752 €

*Tabelle 5: Kostenübersicht der bestellten Bauelemente für eine einzige Leiterplatte*

Wie in Tabelle 5 zu sehen ist, liegen die Bauteilekosten einer Leiterplatte bei ca. 38 €. Diese sind aber nicht die einzigen Kosten, da die Produktion einer Platine (26,56 €) und einer

Schablone (34,61 €) bei „Eurocircuits“ auch ca. 61 € kostet. Dadurch liegen die Kosten für die Produktion einer einzigen Leiterplatte bei 99 € und die Kosten für die Bearbeitung dieses Projekts bei 198 €, da zwei Leiterplatten gebraucht werden.

### 4.3 Bestückung der Platine

Zur Anfertigung der Platine im Labor, können zwei Methode gewählt werden:

#### 4.3.1 Handlötung



*Abbildung 37: Arbeitsplatz für das Handlöten*

Bei dieser Methode werden alle Bauelemente manuell auf die dazu gehörigen Pads auf der Leiterplatte platziert und eingelötet. Dabei muss folgendes immer beachtet werden:

- Auswahl der Lötstation

Im Labor stehen verschiedene Lötstationen zur Verfügung, es dürfen aber aus gesundheitsschonenden Gründen nur Lötstationen verwendet werden, die für bleifreie Lötungen geeignet sind.

- Auswahl der richtigen Lötdrähte

Im Labor unterscheiden sich die Lötdrähte nach ihren chemischen Formeln, bleifrei und Durchmessern. Es muss immer ein Löt-Draht verwendet werden, der das Kennzeichen ohne

„Pb“ bzw. Blei enthält. Die Auswahl des richtigen Lötdraht-Durchmessers hängt immer von der Größe des Bauteils, das eingelötet werden muss, ab. Je größer das Bauteil ist, desto dicker darf der Durchmesser des Drahts gewählt werden.

- Lüftung während des Lötprozesses

Während des Lötprozesses entstehen Lötdämpfe, die auf Dauer der Gesundheit schaden können. Um die Einatmung dieser Lötdämpfe zu vermeiden oder zu reduzieren, verfügt das Labor über einen Lüfter, der direkt am Arbeitsplatz platziert werden kann und die Lötdämpfe absaugt. Diese Lüftung muss beim Lötvorgang stets aktiviert sein.

- Richtige Einstellung der Löt-Temperatur

Bei einer Temperatur von 220 Grad Celsius schmelzen Lötdrähte. Da aber auch die Pads Wärme aufnehmen, muss die Lötstation auf eine Temperatur von 370 Grad Celsius eingestellt werden. Bei der Lötung muss besonders drauf geachtet werden, den LötKolben nicht lange auf einem Bauteil zu halten, was zu dessen Zerstörung führen könnte. Besondere Vorsicht ist bei Keramik-Kondensatoren geboten.

#### 4.3.2 Löten mit einem Lötöfen

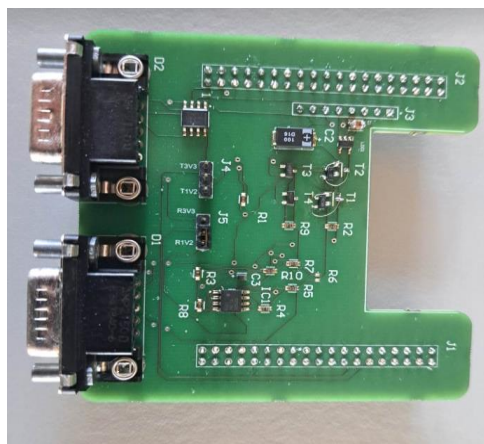


*Abbildung 38: Abbildung des verwendeten Lötöfens*

Eine alternative Methode zur Bestückung der Platine besteht darin, die SMD-Bauelemente nicht einzeln auf die Leiterplatte aufzubringen, sondern durch die folgenden Schritte alle auf einmal auf die Platine zu löten:

- Die Platine auf einer speziellen Fixierungsmatte, die auf die Abmessungen der Leiterplatte angepasst werden kann, fixieren.
- Die Schablone platzieren und an ihren Ecken mit Kleberband befestigen, so dass die Durchbrüche in der Schablone genau auf die SMD-Lötaugen zu liegen kommen.
- Eine Lötpaste an der Oberseite der Schablone gleichmäßig verteilen.
- Die Lötpaste in einem Winkel von ungefähr 45 Grad mit einem gleichmäßigen Druck einmal über die Schablone bzw. die SMD-Lötaugen ziehen und anschließend die Schablone sorgfältig von der Platine hochheben und überprüfen, ob die Lötpaste auf alle Pads verteilt worden ist und keine anderen Flächen berührt, um später Kurzschlüsse zu vermeiden.
- Mit Hilfe eines EC-Bestückungsgeräts, können SMD-Bauteile durch Saugkraft vom Gerät genommen und genau auf die dazu gehörigen Pads platziert werden.
- Nach der Platzierung aller SMD-Bauteile, wird die Leiterplatte in einen Lötoven gelegt, der über einen Temperatursensor und einen Regler verfügt, womit der ganze Lötvorgang gesteuert und kontrolliert werden kann.
- Nach Abschluss des Lötvorgangs und bei einer niedrigen Innentemperatur des Lötovens kann die fertig gelötete Platine herausgenommen und kontrolliert werden.

Mit Hilfe dieser Schritte könnten die meisten Bauelemente der Platine erfolgreich gelötet werden. Die anderen Einsteck-Bauelemente wie zum Beispiel Steckleisten und Jumper können dann weiter mit Hand gelötet werden. Auf der folgenden Abbildung wird die fertig bestückte Platine dargestellt.



*Abbildung 39: Abbildung des bestückten Aufsteckmoduls*

Das Aufsteckmodul kann in dieser Form reibungslos auf das verwendete STM32 Nucleo Microkontroller Board eingesteckt werden und wird im nächsten Kapitel getestet und funktionstechnisch überprüft.



## 5 Inbetriebnahme und Test des Aufsteckmoduls

In diesem Kapitel wird die fertige Leiterplatte mit Hilfe von Laborgeräten getestet und erprobt.

Es werden zuerst die verwendeten Laborinstrumente kurz vorgestellt, deren Verkabelung mit dem Aufsteckmodul beschrieben und am Ende die Ergebnisse der Messungen dargestellt, diskutiert und mit den erwarteten Resultaten verglichen.

### 5.1 Verwendete Geräte zum Testen des Aufsteckmoduls

#### 5.1.1 Das RTB2004 Digitaloszilloskop

Das RTB2004 ist ein Digitaloszilloskop des Herstellers Rohde & Schwarz der Produktreihe RTB2000 und ist ein hochwertiges und leistungsstarkes Gerät, das in vielen Anwendungen wie z.B. der Elektronikentwicklung, Messtechnik und bei der Fehlersuche in elektronischen Produkten eingesetzt werden kann. Das Instrument verfügt über 4 Kanäle, das zudem einen Logikanalysator, einen Protokollanalysator, einen Signalform- und Pattern Generator und ein Digitalvoltmeter umfasst. [19]

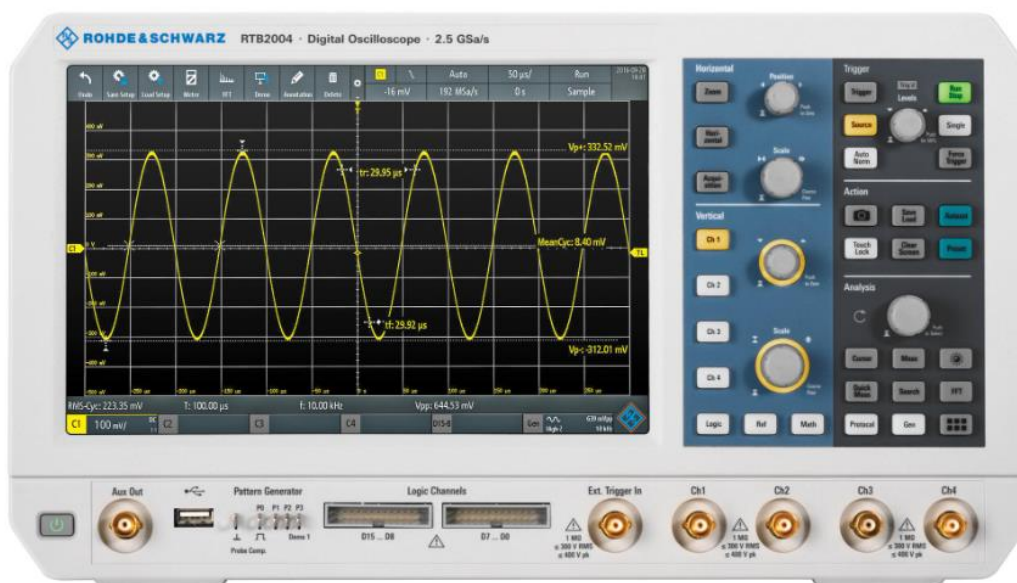


Abbildung 40: Abbildung des RTB2004 Digitaloszilloskops [18]

#### 5.1.2 Das HCM8043 Labornetzgerät

Das HCM8043 ist ein Basisnetzgerät des Herstellers Rohde & Schwarz der HMC804x DC-Netzgeräteserie und ist ein hochwertiges und energieeffizientes Labornetzgerät, welches über eine übersichtliche Darstellung aller gemessenen Parameter und über galvanisch getrennte,

erdfreie und kurzschlussfeste Ausgänge verfügt, und somit eine ideale Stromversorgung für Hardwareentwickler und Laborplätze bietet.



Abbildung 41: Abbildung zum HCM8043 Basisnetzgerät [20]

### 5.1.3 Das HMF2525 Arbiträr Generator

Der HMF2525 Arbiträr-Generator ist ein leistungsstarker Pulsgenerator des Herstellers Rohde & Schwarz. Es liefert Pulse mit einer Wiederholrate von 10  $\mu$ Hz bis zu 25/50 MHz mit einer Ausgangsspannung von 5 mV bis 10 V (Uss) in eine hochohmige Last oder in 50  $\Omega$ . Das Gerät ist in der Lage, praktisch jede vorstellbare Arbiträrsignalform wie z.B. Sinus, Rechteck, Dreieck/Rampe, Pulse mit hoher Genauigkeit zu generieren. Auf Grund dieser und viel anderer vielseitiger Eigenschaften wird dieser Pulsgenerator in vielen Bereichen angewendet wie z.B. Forschungs- und Entwicklungslabors, an Universitäten, Prüf- und Fertigungsanlagen.



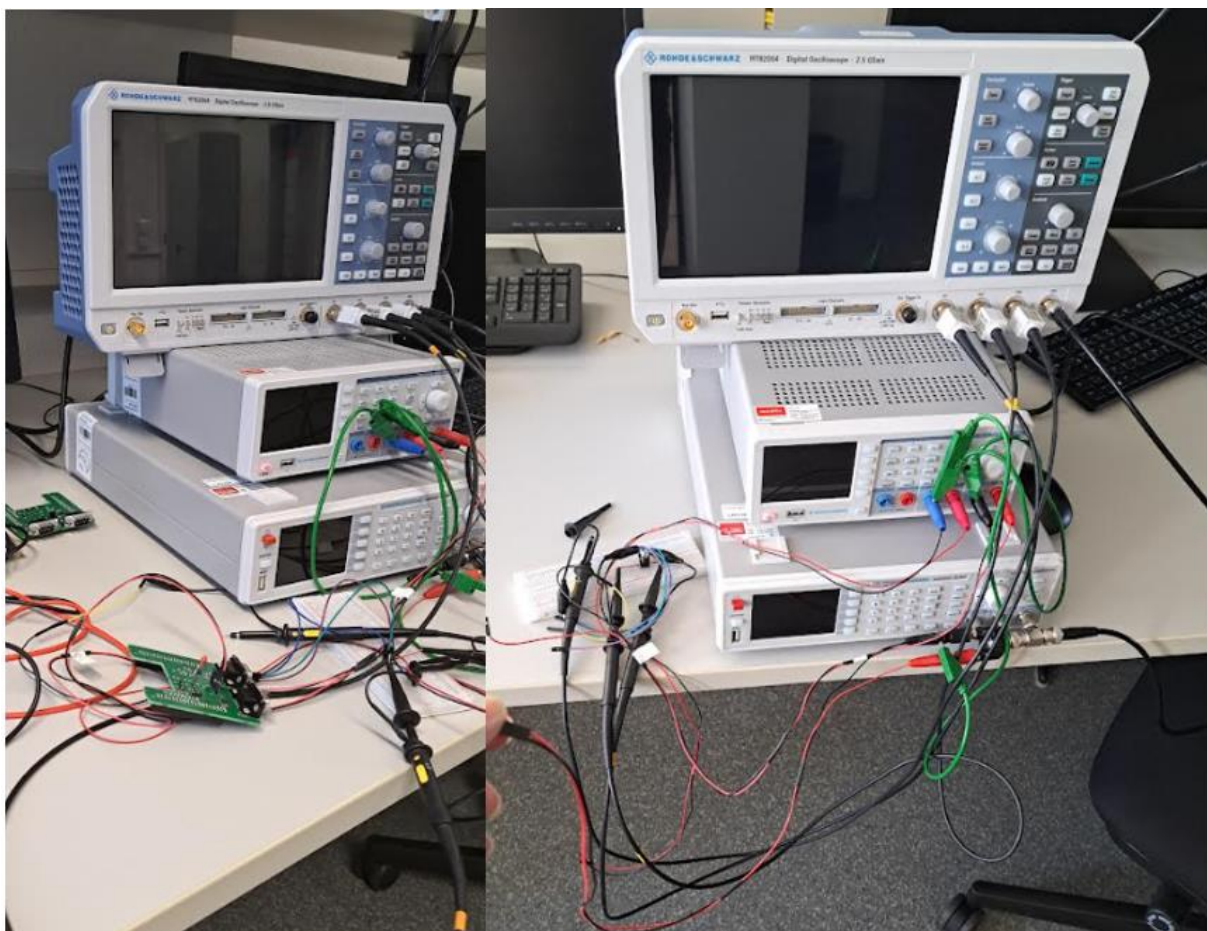
Abbildung 42: Abbildung zum HMF2525 Pulsgenerator [21]

## 5.2 Durchführung der Messungen und Beschreibung der Ergebnisse

Nach der Vorstellung der für die Visualisierung verwendeten Geräten wird in diesem Abschnitt des Berichts die Vernetzung des Aufsteckmoduls erklärt und die Messergebnisse dargestellt und diskutiert.

### 5.2.1 Verkabelung des Aufsteckmoduls mit den verwendeten Testgeräten

Die Abbildungen in diesem Teil des Berichts wurden im Labor für integrierten Schaltungsentwurf (IC-Lab) der Fachhochschule Dortmund aufgenommen und stammen aus dem tatsächlichen Test des Aufsteckmoduls.



*Abbildung 43: Komplette Beschaltung der Laborgeräte mit dem entworfenen Aufsteckmodul*

Das Ziel dieses Tests liegt daran, die CAN-Signale (CANH und CANL), die am Stecker des 1,2 V CAN-Transceivers sowie am Stecker des 3,3 V CAN-Transceivers anliegen mit dem Oszilloskop aufzunehmen und zu visualisieren.

Die Verbindung des Aufsteckmoduls mit den Testgeräten kann wie folgt beschrieben werden:

- Verbindung mit dem HCM8043 Labornetzgerät

Das Labornetzgerät dient zur Spannungsversorgung, die sonst im normalen Betrieb vom Microkontroller geliefert wird. Für diese Aufgabe wird das Gerät wie folgt mit der Leiterplatte verbunden (siehe Abbildung 44):

- Der Kanal 2 des Netzgeräts liefert eine voreingestellte Spannung von 5V und wird mit dem 5 V Versorgungsspannung-Pin des Aufsteckmoduls verbunden.
- Der Kanal 3 des Netzgeräts liefert eine voreingestellte Spannung von 3,3V und wird mit dem 3,3V Versorgungsspannung-Pin des Aufsteckmoduls verbunden.
- Die Massen des Netzgeräts werden miteinander und mit einem GND-Pin des Aufsteckmoduls verbunden.



Abbildung 44: Verbindung mit dem Basisnetzgerät

- Verbindung mit dem HMF2525 Pulsgenerator

Mit dem Pulsgenerator wird ein einstellbares Rechtecksignal an den gewünschten CAN-TX-Pin von einem der beiden CAN-Transceivern auf der Leiterplatte angelegt. Hierzu muss der Jumper J4 entweder auf die Position T3V3- oder T1V2-Pin gesetzt werden. Die Masse des Pulsgenerators wird mit der Masse des Netzgerätes verbunden und das eingespeiste Signal wird direkt abgegriffen, um es mit dem Oszilloskop zu visualisieren (siehe Abbildung 45).



Abbildung 45: Verbindung mit dem Pulsgenerator

- Verbindung mit dem RTB2004 Digitaloszkilloskop



Mit dem RTB2004 Digitaloszilloskop werden je nach Wahl entweder die CAN-Signale (CANH und CANL) des 1,2 V CAN-Transceivers oder die des 3,3 V CAN-Transceivers dargestellt. Dafür wird das Oszilloskop wie folgt mit dem Aufsteckmodul verbunden:

- Am Kanal 1 wird das CANL-Signal des Transceivers dargestellt und somit mit dem CANL-Pin des ausgewählten D-SUB-Stecker verbunden.
- Mit dem Kanal 2 wird das CANH-Signal des Transceivers dargestellt und somit mit dem CANH-Pin des ausgewählten D-SUB-Stecker verbunden.
- Am Kanal 4 wird das eingespeiste CAN-TX-Eingangssignal des Transceivers durch die Verbindung des Kanal 4 direkt mit dem Pulsgenerator visualisiert (siehe Abbildung 43).

## 5.2.2 Darstellung und Beschreibung der Messergebnisse

Mit Hilfe des Oszilloskops konnten Bilder der Signale aufgenommen und auf einen USB-Datenträger gespeichert werden. Diese Bildaufnahmen werden in diesem Abschnitt der Arbeit dargestellt und beschrieben.

Für die Messungen ist zu beachten, dass ein Abschlusswiderstand von  $120\ \Omega$  beim 3,3 V CAN-Transceiver und  $56\ \Omega$  beim 1,2 V CAN-Transceiver zwischen den CAN-H und CAN-L Signalen des Transceivers anzuschließen ist.

Da das entworfene Aufsteckmodul zwei Ausgänge bzw. zwei Stecker mit den Signalen der zwei CAN-Transceivern (3,3 V- und 1,2 V-CAN-Transceiver) enthält, wird jeder CAN-Transceiver einzeln getestet und beschrieben.

- **Messung der CAN-Bus-Signale des 3,3 V CAN-Transceivers**

Im Rahmen einer ingenieurmäßigen Arbeit soll vor der Ausführung eines gezielten Tests eine Vorstellung der erwarteten Ergebnisse gegeben werden, die dann danach mit den resultierenden Ergebnissen verglichen werden.

Während des Betriebs, hat der CAN-Bus zwei Zustände, und zwar einen dominanten und einen rezessiven Zustand.

- Wenn CANH auf dem maximalen Pegel liegt und zeitgleich CANL den minimalen Pegel annimmt, liegt ein dominanter Bus Zustand vor, was einem logischen Low-Pegel am D-Pin des Transceivers entspricht.
- Wenn die Signale CANH und CANL den gleichen Pegel besitzen, liegt ein rezessiver Zustand vor, was einem logischen High-Pegel am D-Pin des Transceivers entspricht.

Die folgende Abbildung wurde aus dem Datasheet des verwendeten 3,3 V CAN-Transceivers entnommen und bietet eine Zusammenfassung zu den dazu gehörigen CAN-Bus Zuständen.

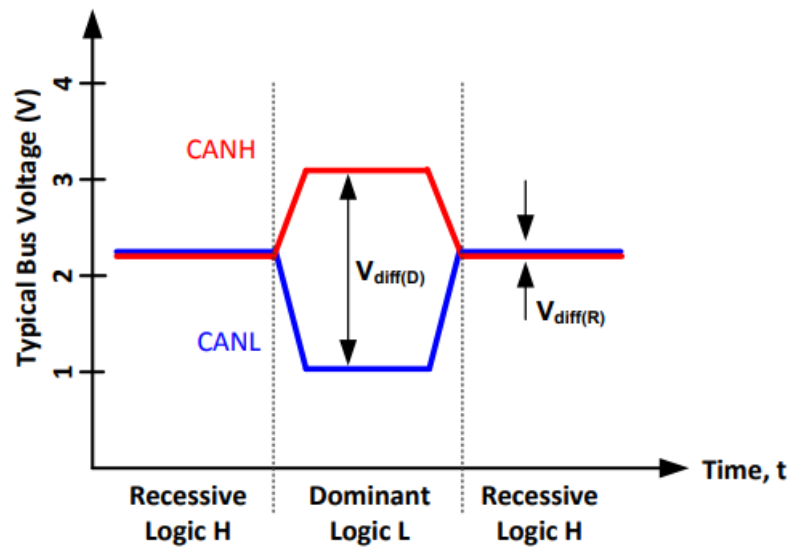


Abbildung 46: CAN-Bus-Zustände [8]

Nach dieser Vorstellung können jetzt die Ergebnisse des Tests des 3,3 V CAN-Transceivers vorgestellt werden, wofür insgesamt zwei Screenshots mit Hilfe des Oszilloskops aufgenommen worden sind.

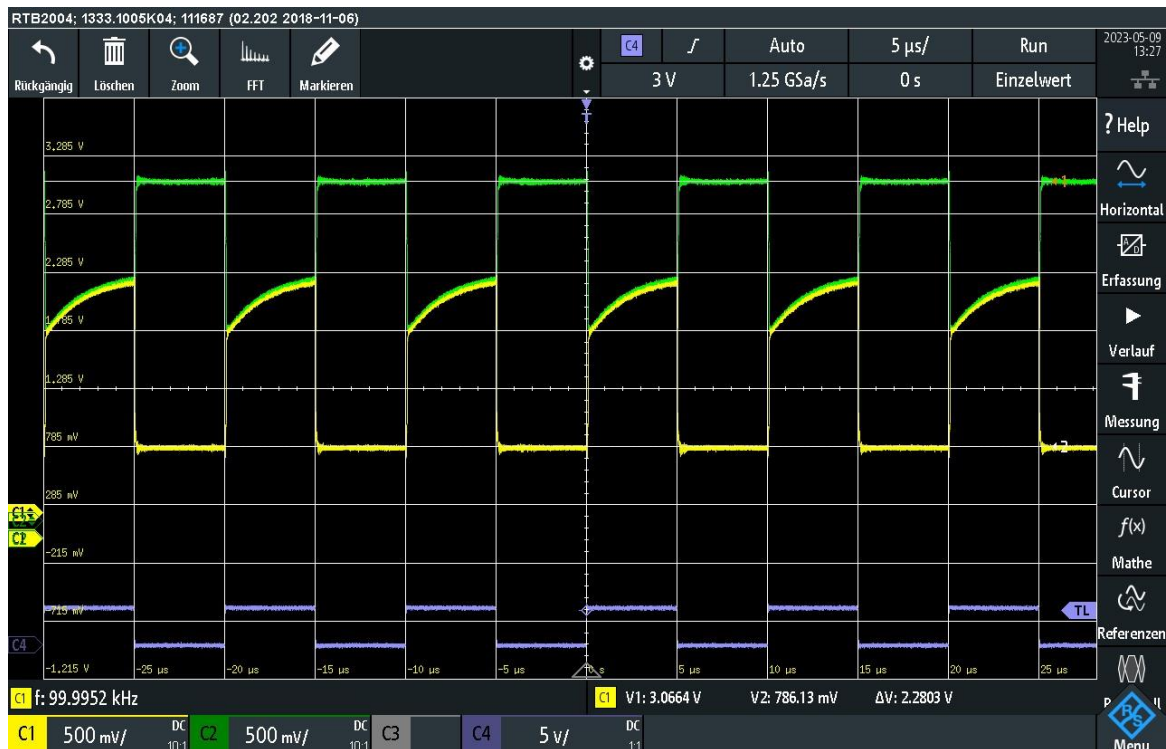


Abbildung 47: CAN-Bus-Zustände des 3,3 V CAN-Transceivers - CANH: Grün; CANL: Gelb; 100 kHz-TX-Signal: Blau

Abbildung 47 stellt die Verläufe der Signale CANH und CANL in Verbindung mit dem an dem CAN-TX-Pin eingespeisten Rechtecksignal dar, wobei:

- Das an die Kanal 1 in gelb dargestellte Signal den Verlauf des CANL-Signals des CAN-Busses beschreibt.
- Das an Kanal 2 in grün dargestellte Signal den Verlauf des CANH-Signals des CAN-Busses beschreibt.
- Das an Kanal 4 in blau dargestellte Signal den Verlauf des 100 kHz Rechtecksignals beschreibt, welches am TX-Pin eingespeist wird.

Mit Hilfe der Cursor 1 und 2 des Oszilloskops wird die Busspannung im dominanten Zustand des CAN-Busses ermittelt. Es ergibt sich eine Differenzspannung  $\Delta V$  von 2,2803 V, die sich aus der Differenz zwischen  $V1=3,0664$  V und  $V2=786,13$  mV berechnen lässt.

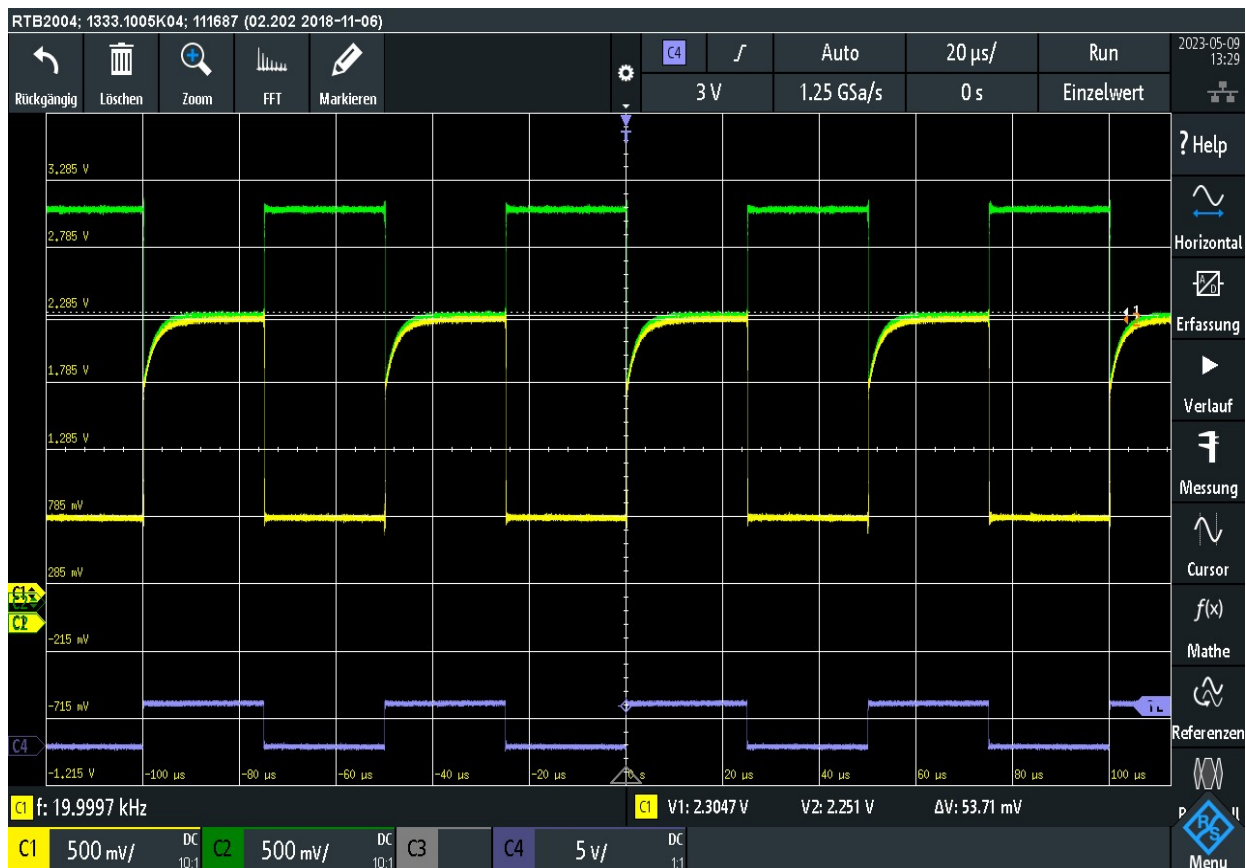


Abbildung 48: CAN-Bus-Zustände des 3,3 V CAN-Transceivers - CANH: Grün; CANL: Gelb; 20 kHz-TX-Signal: Blau;

Abbildung 48 stellt die Verläufe der Signale CANH und CANL in Verbindung mit dem an dem CAN-TX-Pin eingespeisten Rechtecksignal dar, wobei die Frequenz auf 20kHz reduziert wurde, damit der stationäre Wert des rezessiven Buszustandes erreicht wird. Hierbei gilt:

- Das an Kanal 1 in gelb dargestellte Signal beschreibt den Verlauf des CANL-Signals des CAN-Busses.
- Das an Kanal 2 in grün dargestellte Signal beschreibt den Verlauf des CANH-Signals des CAN-Busses.
- Das an Kanal 4 in blau dargestellte Signal beschreibt den Verlauf des 20 kHz Rechtecksignals, welches am TX-Pin eingespeist wird.

Zunächst wird mit Hilfe der Cursor 1 und 2 des Oszilloskops die Busspannung im rezessiven Zustand des CAN-Busses ermittelt. Es ergibt sich eine Differenzspannung  $\Delta V$  von 53,71 mV, die sich aus der Differenz zwischen  $V_1=2,3047$  V und  $V_2= 2,251$  V berechnen lässt.

Zusammenfassend kann aus den Messungen am 3,3 V CAN-Transceiver geschlossen werden, dass sie den erwarteten Ergebnissen entsprechen bis auf die Differenzspannung im rezessiven Zustand des CAN-Busses, die idealerweise 0 V betragen sollte und bei den Messungen jedoch  $\Delta V= 53,71$  mV betragen hat.

- **Messung der CAN-Bus-Signale des 1,2 V CAN-Transceivers**

Da die Schaltung des 1,2 V CAN-Transceivers keinem offiziellen Standard folgt und auch selbst entworfen worden ist, existiert kein Datenblatt oder ähnliches als Vergleichsbasis. Stattdessen kann ein Vergleich mit den erwarteten Signalen, die der allgemeinen Funktionsweise eines CAN-Transceivers entsprechen, durchgeführt werden. Es werden CANH- und CANL-Bus-Signale erwartet, die dominante und rezessive Zustände aufweisen:

- Wenn der Bus differentiell betrieben wird, wobei im idealen Fall die Differenzspannung 1,2V beträgt, liegt ein dominanter Bus Zustand vor.
- Wenn im CAN-Bus die CANH- und CANL-Signale nahezu den gleichen Pegel besitzen und im idealen Fall eine Differenzspannung von 0V aufweisen, liegt ein rezessiver Zustand vor.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Tests des 1,2 V CAN-Transceivers, wofür insgesamt zwei Screenshots mit Hilfe des Oszilloskops aufgenommen worden sind, dargestellt.





Abbildung 49: CAN-Bus-Zustände des 1,2 V CAN-Transceivers - CANH: Grün; CANL: Gelb; 20 kHz-TX-Signal: Blau;

Abbildung 49 stellt die Verläufe der Signale CANH und CANL in Verbindung mit dem an dem CAN-TX-Pin eingespeisten Rechtecksignal dar, wobei die Frequenz auf 20kHz reduziert wurde, damit der stationäre Wert des rezessiven Buszustandes erreicht wird. Hierbei gilt:

- Das an Kanal 1 in gelb dargestellte Signal beschreibt den Verlauf des CANL-Signals des CAN-Busses.
- Das an Kanal 2 in grün dargestellte Signal beschreibt den Verlauf des CANH-Signals des CAN-Busses.
- Das an Kanal 4 in blau dargestellte Signal beschreibt den Verlauf des 20 kHz Rechtecksignals, welches am TX-Pin eingespeist wird.

Mit Hilfe der Cursor 1 und 2 des Oszilloskops wird die Busspannung im dominanten Zustand des CAN-Busses ermittelt. Es ergibt sich eine Differenzspannung  $\Delta V$  vom 1,1602 V, die sich aus der Differenz zwischen  $V1=1,1797$  V und  $V2= 19,53$  mV berechnen lässt.

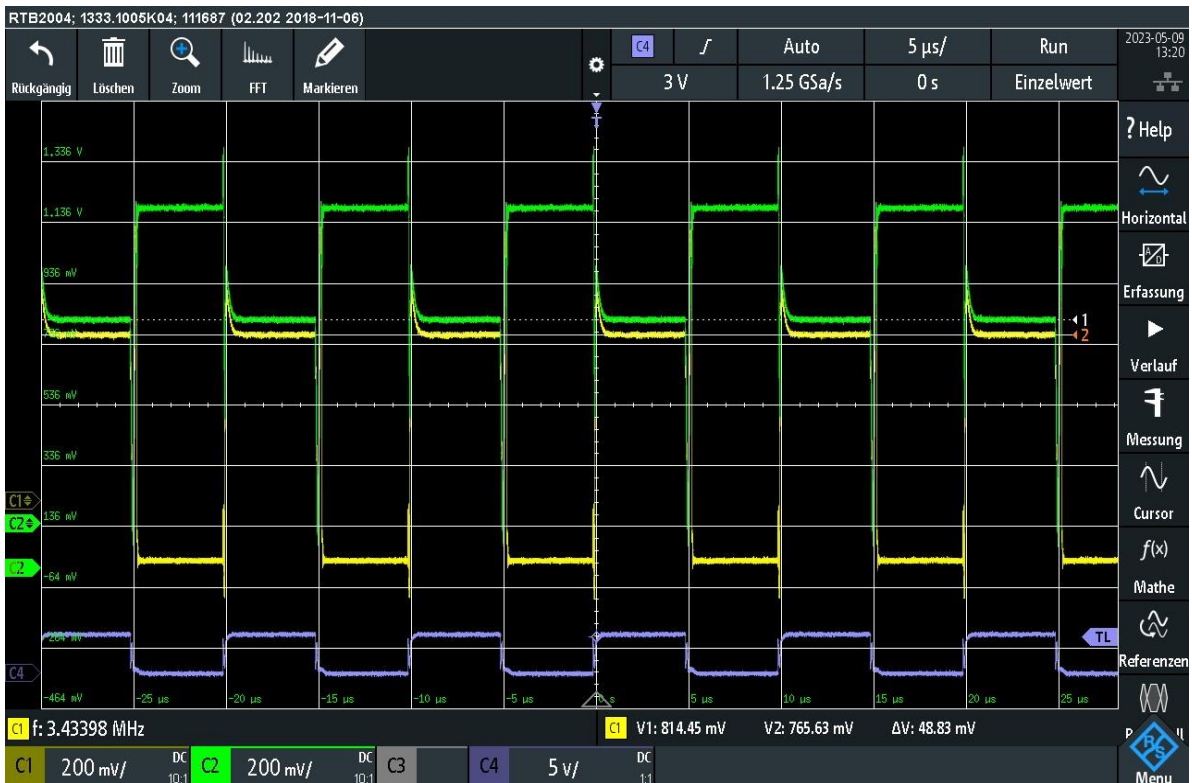


Abbildung 50: CAN-Bus-Zustände des 1,2 V CAN-Transceivers - CANH: Grün; CANL: Gelb; 100 kHz TX-Signal: Blau;

Abbildung 50 stellt die Verläufe der Signale CANH und CANL in Verbindung mit dem an dem CAN-TX-Pin eingespeisten Rechtecksignal dar, wobei:

- Das an Kanal 1 in gelb dargestellte Signal den Verlauf des CANL-Signals des CAN-Busses beschreibt.
- Das an Kanal 2 in grün dargestellte Signal den Verlauf des CANH-Signals des CAN-Busses beschreibt.
- Das an Kanal 4 in blau dargestellte Signal den Verlauf des 100 kHz Rechtecksignals beschreibt, welches am TX-Pin eingespeist wird.

Mit Hilfe der Cursor 1 und 2 des Oszilloskops wird die Busspannung im rezessiven Zustand des CAN-Busses ermittelt. Es ergibt sich eine Differenzspannung  $\Delta V$  vom 48,83 mV, die sich aus der Differenz zwischen  $V1=814,45$  mV und  $V2=765,63$  mV berechnen lässt.

Zusammenfassend kann aus den Messungen, die zum 1,2 V CAN-Transceiver gehören, geschlossen werden, dass sie den erwarteten Ergebnissen entsprechen bis auf die Differenzspannung im rezessiven Zustand des CAN-Busses, die idealerweise 0V betragen sollte, während sie bei den Messungen  $\Delta V=48,43$  mV betragen hat, was in der Praxis jedoch akzeptabel ist.

## 6 Fazit

Diese Arbeit war eine sehr gute Möglichkeit, um neue Kompetenzen zu erwerben und neue Erfahrungen zu sammeln, in dem viele Themen und Richtungen sowohl aus dem Studium als auch aus industriellen Anwendungen kombiniert worden sind wie zum Beispiel Schaltungsentwicklung, Platinentwurf und Messtechnik.

Zum Gegenstand der Recherche gehörten die in den ersten Kapiteln gesammelten Informationen. Es wurde zuerst das CAN-Protokoll detailliert betrachtet und erklärt. Anschließend wurde die entworfene Schaltung des Aufsteckmoduls vorgestellt, wobei eine Recherche zur Auswahl der benötigten Komponenten durchgeführt wurde, sowie eine Erklärung zu deren Aufgaben in der Schaltung aus verschiedenen Quellen wie zum Beispiel den Datenblättern der Hersteller ermittelt wurde.

Zur Entwicklungsaufgabe gehörte die Verwendung von „Altium Designer“ als eine Design-Software für den Entwurf von Leiterplatten. Im entsprechenden Kapitel wurden die Schritte für den Entwurf des Aufsteckmoduls von der Erstellung der Schaltung bis zum Entwurf des Platinenlayouts und der Bereitstellung der Produktionsdaten präsentiert.

Zur Messaufgabe gehörte der Test der fertigen Leiterplatte. Im fünften Kapitel dieser Arbeit wurde die Beschaltung der benötigten Geräte mit dem Aufsteckmodul beschrieben und dokumentiert. Anschließend wurden Bildaufnahmen mit einem Oszilloskop zu den CAN-Signalen an den CAN-Ausgängen aufgenommen, beschrieben und diskutiert.

Zusammenfassend kann man sagen, dass durch die Bearbeitung dieser Bachelorarbeit ein guter Anteil an sowohl theoretischem als auch praktischem Fachwissen erworben werden konnte, was einen Grundstein zum Einstieg in den Arbeitsmarkt darstellt, wo jede praktische Erfahrung und jedes bereits bearbeitete Thema von Vorteil ist.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Internetseite: Educatio.org: [CAN Bus Leitung schema - Bing images](#)
- [2] Internetseite: embien.com: [CAN high und CAN Low signal - Bing images](#)
- [3] Internetseite: [CAN-BUS-Protokoll \(Controller Area Network\) \(kvaser.com\)](#)
- [4] Internetseite: [CAN Bus Grundlagen - ME-Systeme](#)
- [5] Internetseite: [CAN-BUS-Protokoll \(Controller Area Network\) \(kvaser.com\)](#)
- [6] Internetseite: [CAN-BUS-Protokoll \(Controller Area Network\) \(kvaser.com\)](#)
- [7] Internetseite: [CAN Interface \(keil.com\)](#)
- [8] Datasheet: [SN65HVD23x 3.3-V CAN Bus Transceivers datasheet \(Rev. O\) \(ti.com\)](#)
- [9] Eine mitgeteilte PDF-Datei mit der ursprünglichen Schaltung von Uni-Wuppertal
- [10] Datasheet vom MIC5317 LDO: [untitled \(microchip.com\)](#)
- [11] Datasheet vom OPV: [TSV91x Rail-to-Rail Input/Output, 8-MHz Operational Amplifiers datasheet \(Rev. D\)](#)
- [12] Bild aus dem Internet: [CN10 Connector STM32 - Bing images](#)
- [13] Internetseite: [Manufacturer Part Search | Component and Library Management | Video Tutorials | Learn Altium 365](#)
- [14] Internetseite: [Ultra Librarian | FlowCAD](#)
- [15] Michael Vössing, Einführung in Altium, Projektarbeit Fachhochschule Dortmund
- [16] PDF-Datei vom Herrn Ralf Paulus: Altium\_Rules.pdf
- [17] Internetseite: [Tutorial - Component Placement and Routing the Board in Altium Designer | Altium Designer 23 User Manual | Documentation](#)
- [18] Bild aus dem Internet: [rtb2004 manual - Bing images](#)
- [19] Internetseite: [RTB2004 + RTB-B242 \(RTB2K-204\) Rohde & Schwarz, Digitales Oszilloskop, RTB2000, 4 Kanäle | Farnell DE](#)

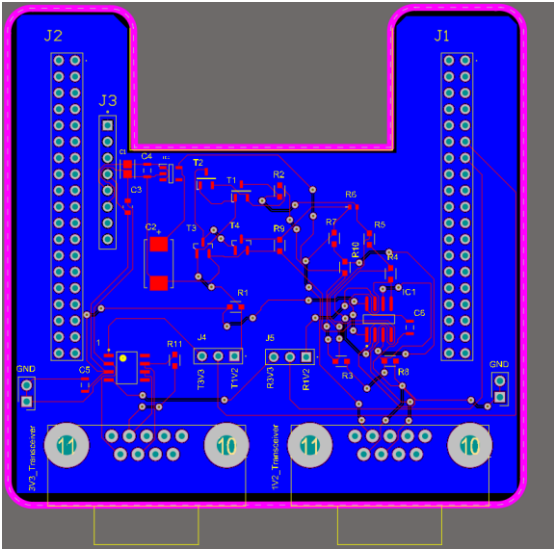
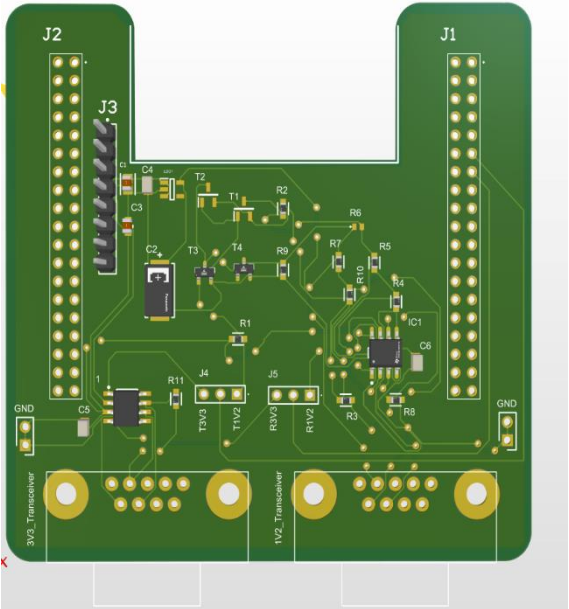
[20] Internetseite: [R&S®HMC804x DC-Netzgeräteserie | Rohde & Schwarz \(rohde-schwarz.com\)](#)

[21] Internetseite: [R&S®HMF2525/HMF2550 Arbiträrfunktionsgenerator | Rohde & Schwarz \(rohde-schwarz.com\)](#)

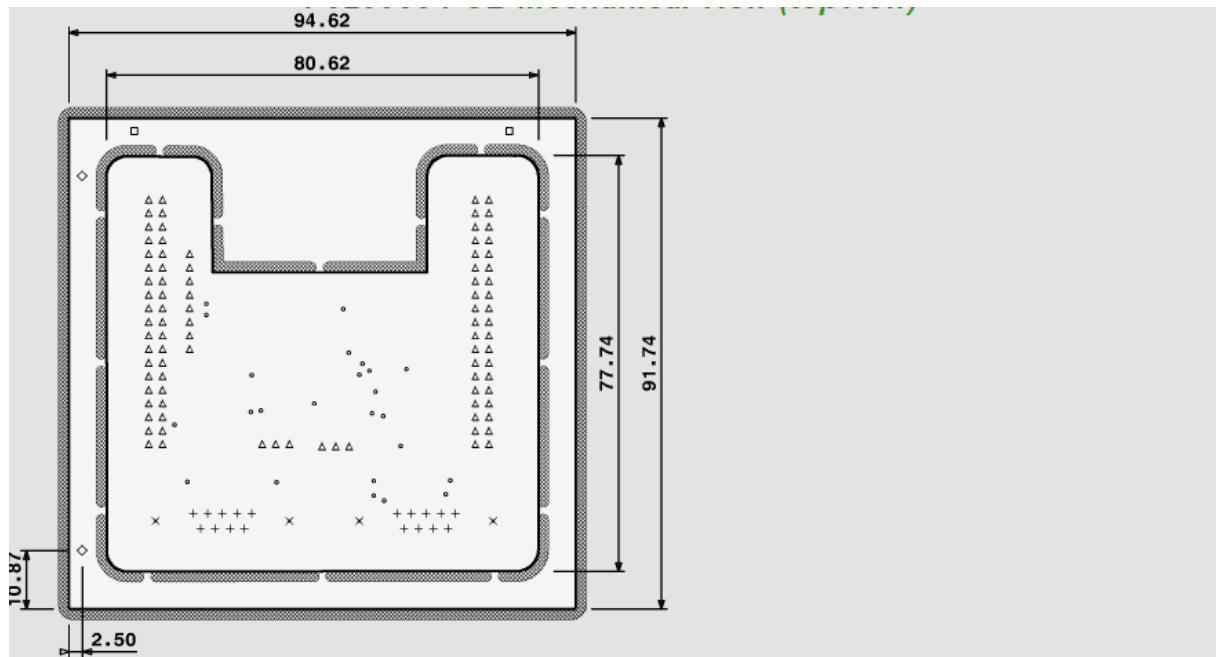
[22] Internetseite: [Operationsverstärker-Grundsaltungen – Mikrocontroller.net](#)

Anhang

Anhang1: Layout-Darstellung der oberen und unteren Platinelage



## Anhang 2: Abmessungen der Leiterplatte in mm



### Layer: P029966-60

Symbol	Type	Kind	End Dia (mm)	Tool Dia (mm)	Count	+ Tol	- Tol
.	Plated	Drill	0.50	0.60	24	0.10	0.10
△	Plated	Drill	1.00	1.10	90	0.10	0.10
+	Plated	Drill	1.05	1.15	18	0.10	0.10
×	Plated	Drill	3.20	3.30	4	0.10	0.10

### Layer: P029966-70

Symbol	Type	Kind	End Dia (mm)	Tool Dia (mm)	Count	+ Tol	- Tol
◇	Unplated ECTooling	Drill	3.00	3.00	2	0.05	0.05
□	Unplated	Drill	3.00	3.00	2	0.05	0.05

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne die Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

(Ort, Datum, Unterschrift)