



**Hochschule
Bonn-Rhein-Sieg**

*University
of Applied Sciences*

Fachbereich Informatik
Department of Computer Sciences

Abschlussarbeit

Studiengang Bachelor Informatik

Entwicklung eines modularen Experimentierboards
als Prototyp-Plattform für Embedded Systems

von

Ivo Tofall

Erstprüfer
Zweitprüfer

Prof. Dr. Thomas Breuer
Prof. Dr. Michael Rademacher

eingereicht am 25.02.2024

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---------------------------------------------------|-----------|
| 1. Anforderungen | 2 |
| 1.1 Schnittstellen | 2 |
| 1.2 Anforderungsliste | 2 |
| 2. Tool- und Referenzliste | 4 |
| 3. Arbeitsplan | 5 |
| 4. Konzept | 6 |
| 4.1 Hardware | 6 |
| 4.2 Lösungsansätze | 6 |
| 4.3 Grobarchitektur | 6 |
| 4.3.1 Spannungsversorgung | 6 |
| 4.3.2 Sicherungskonzept | 6 |
| 4.3.3 USB Schnittstelle | 6 |
| 4.3.4 Pin Konzept | 6 |
| 4.3.5 Kühlungskonzept | 6 |
| 5. Design | 9 |
| 5.1 Hardwaredesign | 9 |
| 5.1.1 Externe Spannungsversorgung zu 5V | 9 |
| 5.1.2 5V zu 3,3V | 11 |
| 5.1.3 USB Schnittstelle | 12 |
| 5.1.4 Reset Knopf | 13 |
| 5.2 Softwaredesign | 14 |
| 6. Testspezifikation und -report | 14 |
| 7. Evaluation | 14 |

1. Anforderungen

Das Ziel dieses Projekts ist es ein Board zu entwickeln, welches es vereinfacht Schaltungen aufzubauen und zu testen. Dazu soll das Board Möglichkeiten haben SPI, I2C, PWM und GPIO extern auf einem Breadboard nutzen zu können. Auf diesem Breadboard kann man dann eine Schaltung aufbauen, welche mit dem PCB getestet werden kann. Das PCB, welches im Umfang dieser Bachelorarbeit entwickelt wird, soll dabei möglichst sicher gegen Fehlschaltungen abgesichert sein.

1.1 Schnittstellen

| Anzahl | Beschreibung |
|--------|-----------------------------------------------------------------|
| 1 | SPI Schnittstellen |
| 1 | I2C |
| 1 | UART |
| 4 | Synchrone PWM Ausgänge |
| 4 | Digitale Eingänge, wobei 2 als Encoder verwendet werden können. |
| 4 | Digitale Ausgänge |
| 4 | Analoge Eingänge (Spannungsbereich 0V bis 5V) |
| 2 | DAC Kanäle |
| 1 | Debugger Schnittstelle |

1.2 Anforderungsliste

Daraus können wir folgende Anforderungen festsetzen:

1. Alle genannten Kommunikationsschnittstellen sollten verfügbar und nutzbar sein.
2. Das Board soll mit einem Netzteil von 7.5V bis 12V betrieben werden können oder mit einem USB-Kabel.
3. Da es ein Experimentierboard ist, sollen Kurzschlüsse auf einer aufgebauten Schaltung nicht zur Zerstörung des Boards führen.
4. Das Board soll einen USB-Anschluss fürs Flashen haben.
5. Bei einem Versuchsaufbau soll das Ergebnis möglichst sauber sein.
6. Die Platine darf nicht breiter als 163 mm sein.
7. Alle anwenderrelevanten Anschlüsse müssen dokumentiert und gut lesbar sein.
8. Es soll einen Knopf zum Zurücksetzen des Controllers geben.

9. Der Anwender soll Zugriff auf 3.3V, 5V und wenn ein Netzteil angeschlossen ist, Netzteilspannung haben.
10. Das Board soll LED Anzeigelampen für mindestens "USB Verbindung vorhanden", "Spannungsversorgung vorhanden" und "Flash Aktivität" haben.
11. Es soll einen An/Aus Hauptschalter für das ganze Board geben.
12. Das PCB soll bis zu 2A bereitstellen können. Dabei sollen sich die 2A beliebig auf die 5V und 3.3V Spannungsbereitstellung verteilen können. (Beispiel: 5V 2A oder 3.3V 2A oder 5V 1A und 3.3V 1A)
13. Das PCB darf nicht zu heiß werden können, sodass es zu Verbrennungen kommen kann. (Max: 45 °C)
14. Das PCB darf nicht dicker als 1.6mm sein.

2. Tool- und Referenzliste

- Aus dem Skript die tools
- pdftk_free-2.02-win-setup.exe
- pandoc-3.5-windows-x86_64.msi
- EasyEDA
- Datenblätter

3. Arbeitsplan

Der Arbeitsplan soll helfen Struktur und Ordnung in das Projekt zu bringen. Auf diesem soll außerdem der Fortschritt erkennbar sein.

- ☐ **1. Anforderungsanalyse**
 - ☒ 1.1. Besprechung der User-Needs
 - ☐ 1.2 Dokumentation der User-Needs
- ☐ **2. Architekturkonzept**
 - ☐ 2.1 Erstellung eines Hardwarekonzepts
 - ☐ 2.2 Evaluieren des Hardwarekonzepts
- ☐ **3. Entwicklung eines Blockschaltbilds**
 - ☒ 3.1 Entwicklung einer 5V Spannungsquelle
 - ☒ 3.2 Entwicklung einer 3.3V Spannungsquelle
 - ☒ 3.3 Entwicklung einer USB-C Schnittstelle
 - ☒ 3.4 Entwicklung eines Reset Schaltkreis
 - ☒ 3.5 Entwicklung der Klemmen
 - ☒ 3.6 Entwicklung einer SPI Schnittstelle
 - ☒ 3.7 Entwicklung einer Strom Schnittstelle
 - ☒ 3.8 Entwicklung der unteren Verbinder
 - ☒ 3.9 Entwickeln des Digital Analog Converter
 - ☒ 3.10 Entwickeln eines Debug Interfaces
 - ☒ 3.11 Entwicklung der BNC Verbinder
 - ☒ 3.12 Entwicklung des Boot Headers
 - ☒ 3.13 Verbindung vom Controller zu den Headern
 - ☒ 3.14 Verbindung vom Controller mit der Spannungsversorgung
- ☐ **4. Entwicklung einer Software und einer Testliste**
- ☐ **5. Bestückung und Integration**
- ☐ **6. Testing**

4. Konzept

4.1 Hardware

Das Ziel ist möglichst unkompliziert das Board bestellen zu können. Dafür

- Häufig benutzte Teile die weit verfügbar sind nutzen, damit man nach 20 Jahren noch Teile bekommen
- Teile nutzen, welche von JLCPCB auch platziert werden, damit man das Board auch fertig bestellen kann.

4.2 Lösungsansätze

4.3 Grobarchitektur

4.3.1 Spannungsversorgung

Links vom Board sollen die Spannungsversorgung und Sicherungen -> Rechts vom Board die IO etc

4.3.2 Sicherungskonzept

Um das Board möglichst zuverlässig vor zu hohen Stromstärken und Kurzschlüssen zu schützen, sollte man ein durchdachtes Sicherungskonzept erstellen. Die Sicherung sollten dementsprechend nahe der Spannungsversorgung positioniert werden, welche am linken Teil des Board entstehen soll. Für die Art der Sicherung sollte man Sicherungen nehmen, welche schon lange existieren, weit verbreitet sind und welche ebenfalls noch nach sehr langer Zeit problemlos beschaffbar werden kann. Außerdem

4.3.3 USB Schnittstelle

4.3.4 Pin Konzept

4.4.5 Kühlungskonzept

Bei den Spannungswandlern, welche bis 2A ausgelegt sind, wird selbstverständlich eine Kühlung benötigt, um die erzeugte Wärme von der Komponente abzuleiten. Die Kühlung sollten nicht abhängig von externen Kühlkörpern sein, sondern das Board soll sich durch sein Design selbst kühlen. Dies kann man durch offene gelegte Kupferflächen und Durchkontaktierungen erreichen, welche unter den Wärme erzeugenden Komponente platziert werden, um die Wärme abzuleiten. Obwohl die Kühlfläche für die Komponenten ausgelegt sind, kann zusätzlich noch ein weiterer Kühlkörper benutzt werden, um eine noch bessere Kühlung zu erreichen.

- Eingehen auf Fragestellung
- Hardware Besprechen
- Lösungsansätze

- Grobarchitektur
- Ausgänge auf 20mA Begrenzung
- PWM auf H Brücke
- Usb pins verbinden für uart
- Jumper für Flash
- Externer Debugger
- 6 Klemmleistenanschlüsse die nach unten verbunden sind und 2-4 BNC die nach unten verbunden sind
- Konzept für die Sicherungen, Resettable Fuses
- Schandwiderstand für GPIO
- Crystal für Flash an USB Port
- Fragestellung (Analoge Eingänge und DAC) von -5V bis +5V oder 0V bis +5V
- USB Zeitgemäß mit usb-c
- Reset circuit wie empfohlen in Figure 38
- JTAG ist der Debugger
- EasyEDA
- Breadboard = sunhayato SAD-01 (Problem nicht mehr erhältlich in Deutschland aktuell) -> Besorgt
- BNC Connector von der Hochschule passt nicht
- Testsoftware Analoge aus und eingänge verbinden, testsoftware

[x] Debug Interface: 6-polig (Stiftleiste einreihig, RM2,54) - 1 - 3.3V
 - 2 - PA14 (JTCK/SWCLK) - 3 - GND - 4 - PA13 (JTMS-SWDIO) - 5 - Reset
 = NRST - 6 - PB3 (JTDO/TRACESWO)

[x] USB-Download: Benötigt Boot0 und Boot1 - BOOT0: 10k Pull-Down, per Jumper an Vcc - BOOT1: GND

[] BNC: wie Klemmleiste direkt an an Header, ohne Spannungsteiler. Zusätzlich GND an weiterem Pin.

[] Analog-Input: 4 x mit OP (Impedanzwandler+Spannungsteiler) ebenfalls an Header. Zusätzlich GND an weiterem Pin.

[x] Header I2C und SPI zusätzlich mit +5V und GND

[x] SDA/SCL mit Pull-Up (4,7k?) an +5V

[x] Spannungsausgänge +5V und +3.3V haben je eine LED. Diese sind OK, aber nicht unbedingt erforderlich. Ggf. der Vollständigkeit halber auch eine LED für SUP_OUT?

[x] LED: Die Vorwiderstände bitte so bemessen, dass die LEDs nicht zu hell sind. 3-5mA sollten reichen ...

[x] "Flash LED" bitte rausnehmen, ergibt nicht wirklich Sinn.

[x] Externen Oszillator bzw. Quarz (8MHz) vorsehen, wird u.a. für Download per USB benötigt.

[x] USB: zusätzlich ÜberspannungsfILTER "CD143A-SR05LC" einbauen

[x] USB: alternativ "GT-USB-7010ASV" verwenden?

[x] SPI-SS an PC15 funktioniert nicht, PA15?

[x] I2C und SPI benachbart [x] DAC und ADC benachbart [x] Beschriftung: Boardbezeichnung (+Version) [x] LED Spannungskontrolle nahe an den entsprechenden Header-Pins

- VCAPS für MC
- noch einen capacitor zwischen 8clk signal?
- Spannungen wegen analog mehr stabilisieren?

5. Design

5.1 Hardware design

5.1.1 Externe Spannungsversorgung zu 5V

Das Board soll über eine externe Spannungsversorgung versorgt werden können. Dafür gibt es einen DC Stromstecker auf dem Board, welcher einen Außendurchmesser von 6.5mm hat und einen Innendurchmesser von 2.5mm (DC1 im Blockschaltbild).

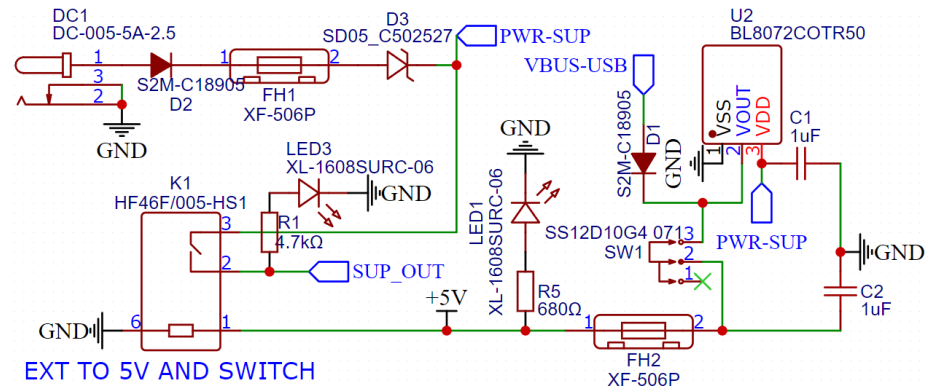


Figure 1: Blockschaltbild externe Spannungsversorgung zu 5V

Um gegen falsche Polarität zu schützen, ist hinter dem Stromanschluss direkt eine Diode verbaut, welche nur in die richtige Richtung Spannung durchlässt, daher ist der Stromkreis nur bei richtiger Polarität geschlossen. Als zweiter Sicherheitsmechanismus wird gegen Überstrom eine Sicherung benutzt, welche auch aus dem Automobilbereich bekannt ist. Das Board ist auf maximal 2A ausgelegt, daher sollte auf dem Steckplatz F1 maximal eine Sicherung mit der Größe 2A verbaut werden. Als dritten und letzten Sicherheitsmechanismus in diesem Blockschaltbild ist ein Überspannungsschutz (D3) verbaut. Dieser schließt, sobald die maximale Spannung von 18V überschritten wird, damit keine Komponenten beschädigt werden, falls eine zu hohe Spannung angelegt wird.

Eine weitere wichtige Komponente ist das Relais (K1), welches bei Unterbrechung der 5V-Spannungsversorgung durch Ausschalten des Schalters (SW1) oder Durchbrennen einer Sicherung (FH1 oder FH2) die externe Spannungsversorgung zum unteren Kontakt ausschaltet. Ebenfalls unterbricht der Schalter die Einspeisung von 5V, welche ebenfalls vor dem Schalter hinter der Diode D1 geschieht. Durch diese Einspeisung kann das Board ebenfalls über die USB-C-Buchse mit Strom versorgt werden. Durch diese Schaltung mit Schalter und Relais wird sichergestellt, dass, wenn man die Spannung durch den Schalter ausschaltet, die unteren Pins, welche die Spannung bereitstellen, komplett unterbrochen werden. So kann man die auf dem Breadboard aufgebaute Schaltung, ohne Risiko, einen

Kurzschluss zu erzeugen, abändern.

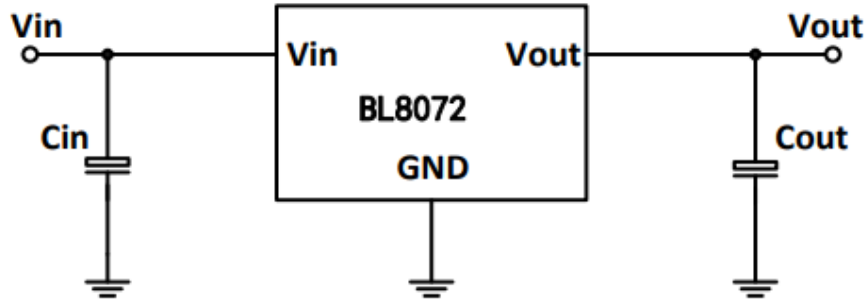


Figure 2: Typische Anwendung aus dem Datenblatt des BL8072COTR50

Aus dem Datenblatt können wir eine empfohlene Schaltung für den Spannungswandler entnehmen. Diese besteht aus zwei Keramikkondensatoren der Größe $1\mu\text{F}$ und kann im oberen Blockschaltbild mit den Kondensatoren C1 und C2 wiedergefunden werden. Der BL8072COTR50 kann eine maximale Stromstärke von 2A bereitstellen, welche genau den benötigten Leistungsanforderungen für das Board entspricht. Des Weiteren wird nach der Spannungsumwandlung wieder eine Sicherung verbaut, welche im Blockschaltbild unter FH2 zu finden ist.

Hinter dieser Sicherung befindet sich eine LED, welche leuchtet, solange 5V verfügbar sind. Die Größe des Vorwiderstands kann mithilfe des Ohm'schen Gesetzes berechnet werden, wobei die LED laut Datenblatt eine Forward Voltage (VF) von 2,3V hat und mit 3–5mA Strom leuchten soll.

$$R = \frac{V_{in} - V_F}{I_{LED}} \text{ wobei } V_{in} = 5V, V_F = 2,3V \text{ und } I_{LED} = 3 \text{ mA bis } 5 \text{ mA}$$

$$\text{Für } 3\text{mA Strom: } R = \frac{5V - 2,3V}{3\text{mA}} = 900\Omega$$

$$\text{Für } 5\text{mA Strom: } R = \frac{5V - 2,3V}{5\text{mA}} = 540\Omega$$

Daher wurde der Widerstand R5 mit der Größe 680Ω gewählt. Für das Netzteil, welches angeschlossen werden kann, ist ebenfalls eine LED (LED3) im Blockschaltbild erkennbar. Diese leuchtet ebenfalls, solange ein Netzteil mit 6–18V angeschlossen ist. Der Vorwiderstand R1 lässt sich ähnlich berechnen. Bei dieser Berechnung gehen wir von der Maximalspannung von 18V aus.

$$R = \frac{V_{in} - V_F}{I_{LED}} \text{ wobei } V_{in} = 18V, V_F = 2,3V \text{ und } I_{LED} = 5 \text{ mA}$$

$$\text{Für } 3\text{mA Strom: } R = \frac{18V - 2,3V}{3\text{mA}} \approx 5233\Omega$$

$$\text{Für } 5\text{mA Strom: } R = \frac{18V - 2,3V}{5\text{mA}} \approx 3130\Omega$$

Das heißt, es wird ein Vorwiderstand zwischen 3,1kΩ und 5,2kΩ benötigt. In diesem Bereich liegt die Standardgröße 4,7kΩ, weshalb diese dann bei R1 benutzt wurde.

5.1.2 5V zu 3,3V

Neben der 5V Spannungsversorgung wird ebenfalls für den Mikrocontroller und externe Bauteile auf dem Steckboard eine 3.3V Spannungsversorgung benötigt.

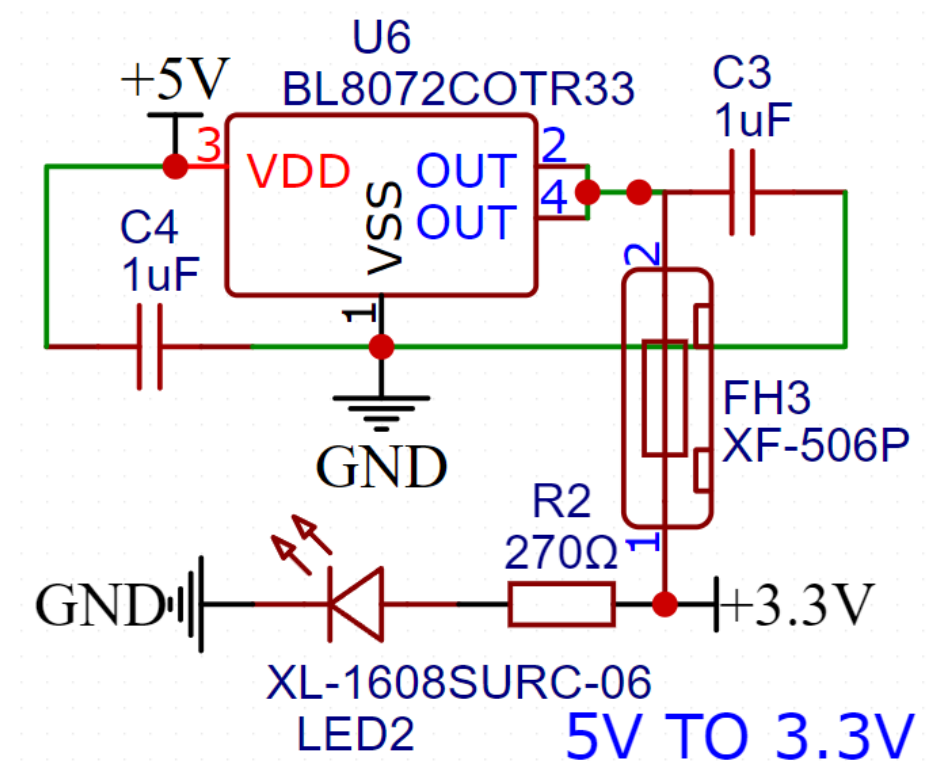


Figure 3: Blockschaltbild 5v zu 3.3V

Der BL8072COTR33 hat genau so wie der 5V Spannungswandler eine maximale Stromstärke von 2A und bieten ebenfalls dieselbe empfohlene Schaltung mit zwei Keramikkondensatoren (C3 und C4) der Größe 1µF wie beim BL8072COTR50.

Neben dieser empfohlenen Schaltung ist der Ausgang des Spannungswandler wieder mit einer 2A Sicherung (FH3) abgesichert. Hinter dieser Sicherung lässt sich wieder eine LED finden, welche leuchtet solange eine 3.3V Spannung verfügbar ist. Die Wahl des Vorwiderstands entstand auf folgender Grundlage.

$$R = \frac{V_{in} - V_F}{I_{LED}} \text{ wobei } V_{in} = 3,3V, V_F = 2,3V \text{ und } I_{LED} = 3 \text{ mA bis } 5 \text{ mA}$$

Für 5mA Strom: $R = \frac{3,3V-2,3V}{5mA} = 200\Omega$

5.1.3 USB Schnittstelle

Die Datenanschlüsse DN1/2 und DP1/2 werden direkt mit dem Mikrocontroller verbunden, um über diesen Port eine Software auf das Board zu laden.

5.1.4 Reset Knopf

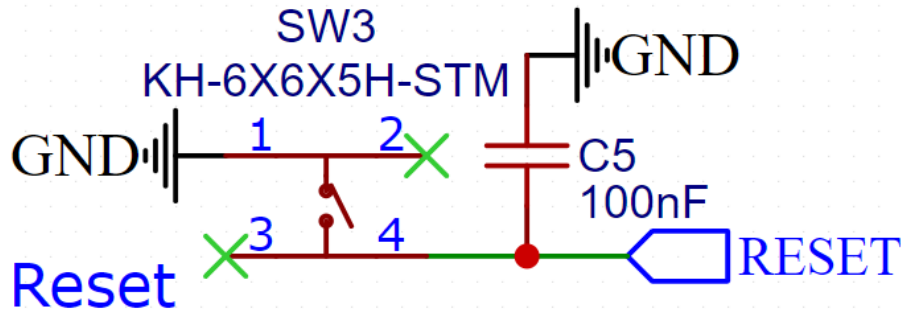


Figure 5: Blockschaltbild Reset Schaltung

Die Reset-Schaltung wurde nach der empfohlenen Schaltung aus dem Datenblatt des Mikrocontrollers gebaut.

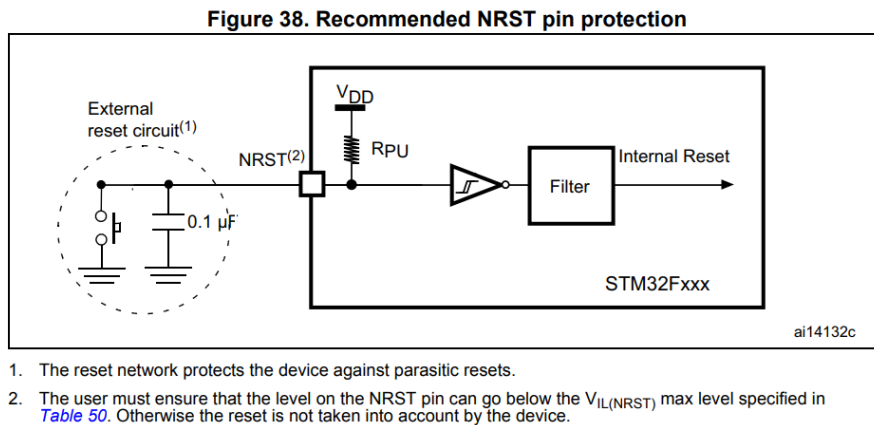


Figure 6: Empfohlene Schaltung aus dem Datenblatt

Diese hat zwei Anforderungen, die erfüllt werden müssen. Einmal sieht die Schaltung vor, dass die Verbindung gegen ungewollte Signale geschützt werden muss, was wir durch den Einsatz eines Kondensators (C5) erreichen. Des Weiteren muss beim Betätigen des Knopfes die Spannung laut Datenblatt am Reset-Pin unter 0,3V fallen, was durch eine direkte Masseverbindung erreicht werden kann.

5.2 Softwaredesign

6. Testspezifikation und -report

7. Evaluation