Inhaltsverzeichnis

[1. Einleitung 3](#_Toc208402940)

[1.1. Inhalt und Aufbau 3](#_Toc208402941)

[1.2. Ziel der Arbeit 3](#_Toc208402942)

[2. Technische Grundlagen 4](#_Toc208402943)

[2.1. SPI 4](#_Toc208402944)

[2.2. I²C 4](#_Toc208402945)

[2.3. CAN 4](#_Toc208402946)

[2.4. UART 4](#_Toc208402947)

[2.5. Wifi 4](#_Toc208402948)

[2.6. Bluetooth 4](#_Toc208402949)

[3. Systemanalyse und Integration 5](#_Toc208402950)

[3.1. Bestehendes System 5](#_Toc208402951)

[3.2. Anforderungen 5](#_Toc208402952)

[3.3. Integration ins bestehende System 12](#_Toc208402953)

[4. Konzepte 14](#_Toc208402954)

[4.1. Paarvergleiche 14](#_Toc208402955)

[4.2. Nutzwertanalysen 17](#_Toc208402956)

[5. Hardwareentwicklung 18](#_Toc208402957)

[5.1. Schaltungsaufbau 18](#_Toc208402958)

[5.2. PCB-Layout 18](#_Toc208402959)

[6. Software 19](#_Toc208402960)

[6.1. Konzept 19](#_Toc208402961)

[6.2. Aufbau 19](#_Toc208402962)

[6.3. Umsetzung 19](#_Toc208402963)

[7. Test und Inbetriebnahme 20](#_Toc208402964)

[8. Fazit und Ausblick 21](#_Toc208402965)

[8.1. Zusammenfassung der Arbeit 21](#_Toc208402966)

[8.2. Mögliche Weiterentwicklungen 21](#_Toc208402967)

[9. Literaturverzeichnis 22](#_Toc208402968)

[10. Bildverzeichnis 23](#_Toc208402969)

# Einleitung

## Inhalt und Aufbau

## Ziel der Arbeit

# Technische Grundlagen

## SPI

## I²C

## CAN

## UART

## Wifi

## Bluetooth

# Systemanalyse und Integration

## Bestehendes System

Bei dem bestehenden System handelt es sich um ein vollelektrisches Rennsport-Kart für den Einsatz im Jugend Kart Slalom Wettbewerb und Training. Das Kart soll eine Alternative zu vorherrschenden Karts mit Verbrennungsmotor sein und bietet dafür einige Vorteile.

Das Kart ist ausgestattet mit einem kleinen Synchronmotor mit einer Leistung bis 7KW sowie 55 Nm. Diese Leistungsparameter werden dabei auf sehr kleinem Bauraum erzielt, sodass der Motor zentral platziert werden kann, was dem Fahrverhalten sehr zugute kommt. Die Kraftübertragung auf die Hinterachse findet dabei mittels eines Reimens statt, sodass der gesamte Aufbau auch mechanisch simpel bleibt. Angesteuert wird der Motor über CAN, sodass kein Großer Verkabelungsaufwand für Signalleitungen besteht. Versorgt wird das gesamte System von einer 48V Batterie.   
Die Steuerung des Gesamtsystem übernimmt eine Zentrale Steuereinheit (Vehicle Control Unit - VCU). Auf diesem läuft der Code für Leistungsregelung, Kommunikation und Auswertung aller Sensoren. Hierüber ist es möglich das Fahrverhalten des Karts zu steuern über Parameter wie Verteilung des Drehmoments oder die Veränderung von Drehzahlkurven. Hier kommt der große Vorteil des Elektroantriebs zum Tragen, da hierüber verschiedene Leistungsstufen definiert werden können. Wo vorher unterschiedliche Verbrennungsmotoren eingesetzt werden mussten, um unterschiedliche Leistungsklassen zu definieren, ist bei unserem Kart lediglich Softwareänderung notwendig, um jede Leistungsstufe zwischen 3 und 7 KW zu ermöglichen. Über den Code wird zudem sichergestellt, dass über den gesamten Entladezyklus des Akkus dieselbe gleichbleibende Leistung zur Verfügung gestellt wird. Das ist für den Wettbewerb unerlässlich, da hier alle Teilnehmer mit denselben Karts antreten. Die VCU übernimmt zudem sämtliche Kommunikation mit zum Beispiel dem Akku und Auswertung aller Signale wie von den Knöpfen der zentralen Steuereinheit.

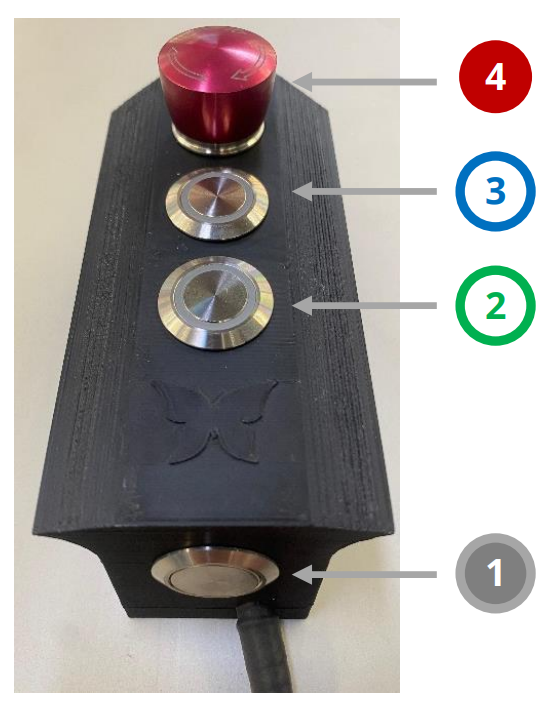
Die Steuerung des Karts erfolgt über eine Zentrale Steuereinheit. Diese besteht aus 3 Knöpfen mit LED-Anzeige und einem Notausknopf. Ein Knopf (Knopf Nr. 1) fungiert als Hauptschalter für das Gesamtsystem. Über ihn wird dem Akku signalisiert den Ausgang aktiv zu schalten und das System mit 48V zu versorgen. Knopf 2 aktiviert den Fahrmodus. Die Aktivierung des Fahrmodus ist dabei an eine Sicherheitsüberprüfung des Systems gekoppelt ohne welche ein Start nicht möglich ist. Dasselbe gilt für den Knopf Nr. 3, jedoch aktiviert dieser den Rückwärtsfahrmodus. Hauptsächlich unterscheiden sich die Knöpfe durch die LED- welche dem Fahrer und Kunden Rückmeldung über den Zustand des Karts geben soll. So zeigen verschiedene Kombinationen aus Leuchtenden und blinkenden LED verschiedene Sati des Karts an wie den Aktivierten Fahrmodus, eine entladene Batterie oder den ausgelösten Notausknopf. Dieser Notausknopf ist das Hauptsicherheitsfeature des Karts. Dabei handelt es sich um einen Normally Closed Druckknopf mit Verriegelung, mit welchem der Fahrer Im Falle eines Notfalls das Kart jederzeit ausschalten kann. Dabei wird nicht nur softwareseitig der Fahrmodus beendet, sondern tatsächlich der Ausgang der Batterie passiv geschalten, sodass das Fahrzeug auch elektrisch in einen sicheren Zustand übergeht, zum Beispiel nach einem Crash, bei dem unter Umständen Kabel gerissen sind oder Kontakte offen liegen. Aus diesem Grund ist der Notaus auch Kabelbruchsicher realisiert, das Bedeutet das sowohl das Drücken des Knopfes als auch eine zerstörte Signalleitung die Aktivierung des Notaus zur Folge hat. Zusätzlich ist diese Steuereinheit mit einem Buzzer ausgestattet, welcher dem Kunden und Fahrer akustische Rückmeldung bei jeder Zustandsänderung des Karts liefert, zum Beispiel bei Aktivierung des Fahrmodus oder einem ausgelösten Notaus.

Abbildung : Steuereinheit SMS Revo SL

Zusätzlich zu der Grundfunktion des Karts zum Einsatz im Slalomsport gibt es ein Erweiterungspaket, die Option 1, welche das Kart je nach Wunsch um verschiedene Funktionen erweitert. Die Hauptfunktionalität ist ein RFID-Reader. Gemeinsam mit dem Kauf und Einbau der Option 1 erhält der Kunde RFID-Chips, auf welchen Unterschiedliche Leistungsmodi gespeichert sind. Durch Auslesen des jeweiligen Chips erhält das Steuergerät einen neuen Leistungswert und schaltet in den entsprechenden Modus um. So ist es für den Kunden möglich die Karts in unterschiedlichen Altersgruppen mit unterschiedlichen Leistungsklassen einzusetzen, ohne dass zwischendurch ein Servicetechniker, das Kart flashen muss oder der Kunde für jede Stufe ein eigenes Kart braucht. Der RFID-Reader besitzt dabei ein eigenes CAN-Interface und schickt die übertragenen Daten direkt per CAN2 an die VCU.   
Eine weitere Funktionalität ist eine Statusleuchte. Diese Statusleuchte wird direkt mit dem Steuergerät verbunden, da diese direkt die LED schaltet. Die LED hat dabei verschiedene Funktionalitäten zu erfüllen. Zum einen gibt sie Rückmeldung über verschiedene Stati des Karts. So kann beispielsweise eine State of Charge Abfrage durchgeführt werden. Die VCU gibt dabei den SOC in Form von Lichtimpulsen zurück. Befindet sich der SOC bei Abfrage zwischen 0% und 25% blinkt die LED einmal bis hin zu viermal, wenn sich der Ladestand zwischen 75% und 100% befindet.  
Des Weiteren ist die Status-LED auch teil eines Sicherheitsfeatures. Die LED beginnt zu blinken, sobald und solange das Kart im Fahrbereiten Zustand ist, also der Startknopf gedrückt wurde, aber das Kart noch nicht in Bewegung ist. Das dient zur Visualisierung für Streckenhelfer und Zuschauer, um zu verhindern, dass Leute verletzt werden, da das Kart unerwartet losfährt. Zu guter Letzt zeigt die LED auch den eingestellten Fahrmodus an, sobald dieser geändert wurde. Das dient dazu, um Sabotage und Betrug im Wettbewerb zu verhindern. Die Änderung soll für jeden so sichtbar wie möglich werden, um zu verhindern, dass einzelne Teilnehmer den Fahrmodus verändern und sich einen Vorteil verschaffen.   
Eine weitere Funktionalität der Option1 ist eine Funkfernbedienung, um einzelne Funktionalitäten von außen Steuern zu können. Dazu gehören die Aktivierung des Notaus und das Starten des Karts, also die Aktivierung des Ready-To-Drive Status. Mittels Tastendrucks auf der Fernbedienung kann der Notaus aktiviert werden, was vor allem bei jüngeren Fahrern zur Sicherheit beiträgt. Das Funksignal unterbricht dabei denselben Signalpfad wie der Knopf am Kart. Ein anderer Knopf kann den Ready-To-Drive Modus aktivieren, hier wird lediglich ein Signal an die VCU gesendet, welches dieselbe Funktionalität wie der Knopf am Kart erzeugt. Der Vorteil liegt darin, dass vor allem jüngere Fahrer unterstützt werden können, sollten sie im Wettbewerb nervös werden oder selbst nicht wissen, wie das Kart gestartet wird Der dritte Knopf an der Fernbedienung sendet ein Signal an die VCU, welches die Abfrage und Anzeige des SOC auslöst, welcher anschließend über die LED dargestellt wird. Die letzte taste wird zur Identifikation des Karts verwendet, zu welchem die Fernbedienung gehört. Hierbei leuchtet die Status-LED auf, solange der Knopf gedrückt bleibt. Alle diese Funktionalitäten werden über ein Zugekauftes Funkmodul realisiert, welches aus einem Funkempfänger und 4 Relais auf einer Platine besteht. Die Funktionalitäten der Relais sind dabei vordefiniert. Kanal 1 verhält sich wie ein Flip-Flop und ändert seinen Zustand bei jedem Tastendruck, speichert also seinen Zustand, weshalb es für die Funktionalität des Notaus genutzt wird. Das Relais unterbricht dabei einen kabelbruchsicheren Signalpfad, welche daraufhin als Notaus detektiert wird. Die Relais für Kanal 2 und 3 speichern ihren Zustand nicht und schalten ihren Zustand lediglich für kurze Zeit, sollte eine Funksignal empfangen worden sein. Sie realisieren deshalb Funktionalitäten, für die nur ein kurzes Signal an das Steuergerät gesendet werden soll. Das Relais zieht dabei lediglich eine Signalleitung auf 12V-Pegel, welches direkt mit der VCU verkabelt ist. Dadurch wird dort ein Signal erkannt. Für Kanal 4 ist ein bistabiles Relais auf dem Modul vorhanden, welches zwei Unterschiedliche Zustände annehmen kann, von denen einer immer aktiv ist. Es Verbindet die Status-LED standartmäßig mit dem LED-Signal, welches von der VCU an das Erweiterungssystem geschickt wird. Für die Dauer des Knopfdrucks schaltet das Relais um und aktiviert ein konstantes Leuchten der Status-LED.

## Anforderungen

Die Aufgabe meines Projekts besteht darin alle Erweiterungsoptionen, welche für das Kart verfügbar sind in einem kompakten und günstigen System zu vereinen. Bisher waren alle diese Komponenten voneinander unabhängige Systeme, welche separat zugekauft werden müssen und durch viel Verkabelungsaufwand verbunden und angebunden werden. Dadurch war Vorbereitung kaum möglich, der Verkabelungsaufwand enorm und unübersichtlich, Fehlersuche erschwert.   
Ziel ist Verkabelungsaufwand zu verringern und damit das System Stabiler, günstiger und weniger Fehleranfällig zu gestalten. Es soll möglich sein, sowohl Kabelbaum und Erweiterungsplatine unabhängig voneinander vorbereiten und testen zu können. Dabei sollen alle bisherigen Funktionen erhalten bleiben. Zusätzlich soll das neue System Schnittstellen schaffen, welche sowohl dem Kunden und Fahrer neue Informationen geben sollen als auch für den Entwicklungs- und Wartungstechniker neue Schnittstellen schaffen, um Probleme schnell und einfacher beheben zu können, sowie Anpassungen und Updates einfacher aufspielen zu können. Neben dem Beibehalten der alten Funktionen soll auch die Kompatibilität zu bereits gebauten und verkauften Karts beibehalten werden, um auch diese nachrüsten zu können, ohne Änderungen am Kabelbaum des Karts vornehmen zu müssen.

Aufgabe der Erweiterung bleibt weiterhin die Funktionalität eines RFID-Readers. Die Ausgelesenen Daten werden dabei sowohl auf der Erweiterungsplatine als auch per CAN in der VCU benötigt. Auf der RFID -Karte müssen dafür verschiedene Daten gespeichert sein. Die RFID-Karten werden weiterhin zur Einstellung des vordefinierten Leistungsmodus verwendet. Hierfür wird auf den Karten die ID des Leistungsmodus gespeichert und per CAN an die VCU übermittelt. Um zu verhindern, dass jeder Kunde die Einstellungen aller Karts verändern und so unter Umständen Wettbewerbe verfälschen kann, wird zusätzlich zum Modus auch eine Kundenspezifische Nummer auf der karte gespeichert und übertragen. Mit dieser Nummer, welche per CAN an das Steuergerät übermittelt werden soll, kann validiert werden, dass die Chips und das Kart zum selben Kunden gehören, sodass jeder Kunde die Chips nur an seine eigenen Karts einsetzen kann. Zusätzlich soll die Kundennummer auch auf der Erweiterungsplatine ausgelesen werden. Eine wichtige Anforderung an den RFID-Reader ist eine hohe Verschlüsselungsstufe. Da die Karts auch im Wettbewerb eingesetzt werden, darf es nicht möglich sein RFID-Chips zu kopieren, zu fälschen oder zu manipulieren.

Mit den bestehenden Funktionen gehört eine Status-Leuchte weiterhin zu den Anforderungen. Diese Statusleuchte muss sowohl von der VCU als auch dem Funkempfänger, welcher auf meiner neuen Platine platziert sein wird, steuerbar sein. Die LED muss in verschiedenen Situationen steuerbar sein:

* Ready-To-Drive-Status:   
  Die LED blinkt kontinuierlich, sobald das Kart in Fahrbereitem Zustand ist, solange das Kart steht. Das Steuersignal dafür sendet die VCU.
* SOC-Abfrage:   
  Die LED blinkt 1- bis 4-mal, je nach aktuellem SOC-Stand. Die Berechnung des SOCs und Übermittlung des LED-Signals übernimmt die VCU
* Identifizierung:  
  Die LED leuchtet kontinuierlich, solange per Funkfernbedienung die Identifizierung des Karts abgefragt wird. Das Signal wird vom Funkempfänger ausgegeben

Um den Aktuellen Verkabelungsaufwand zu reduzieren, soll das Signal nicht mehr als Digitalsignal über eine Leitung direkt vom Steuergerät aus übermittelt werden, sondern als CAN-Message an die Erweiterungsplatine gesendet werden. Um Abwärtskompatibilität beizubehalten, soll zusätzlich die Möglichkeit einer Physischen Übertragung und Auswertung auf der Platine vorgesehen werden.

Eine weitere Funktion, welche beibehalten werden soll, ist die Möglichkeit einige Funktionen des Karts mittels einer Funkfernbedienung zu steuern.   
Dabei soll es Möglich sein folgende vier Funktionen mittels der Fernbedienung steuern zu können:

* Notaus - Funktionalität:  
  Mittels einer Taste muss der Notaus ausgelöst werden, welcher sofort die Stromversorgung für das Kart trennt und es zum Stillstand bringt. Die Funktionalität des Notaus ist dabei bereits vorhanden, die Aufgabe der Option 1 besteht lediglich darin ein Signal 12V Signal auszugeben, welches den Notaus aktivieren kann. Zur Sicherheit muss dieses Signal Kabelbruchsicher realisiert werden und soll nicht Softwaregesteuert durch den Mikrocontroller sein.
* Remote Drive - Funktionalität:

Remote Drive bezeichnet das Signal, welches das Kart in den Fahrbereiten Zustand (Ready to Drive) versetzt, in welchem der Fahrer jederzeit in der Lage ist, loszufahren. Die Aktivierung und damit verbundenen Sicherheitschecks übernimmt vollständig die VCU, Aufgabe des Zusatzsystems ist es lediglich ein Signal an das Steuergerät zu senden. Um Verkabelungsaufwand zu minimieren, soll dieses Signal nicht mehr über eine eigene Leitung im kabelbaum realisiert werden, sondern als Signal auf dem CAN-Bus an die VCU gesendet werden. Um die Möglichkeit zu haben alte Karts nachzurüsten, soll aber zusätzlich die Möglichkeit vorgesehen werden, das Signal auch weiterhin über eine eigene physische Leitung an das Steuergerät zu übermitteln, da die alten Kabelbäume keine CAN-Leitungen zur Option 1 führen.

* SOC-Abfrage:  
  Die dritte Funktionalität, welche per Funkfernbedienung zur Verfügung gestellt werden soll, ist die Abfrage des State of Charge. Mit Drücken des Knopfes an der Fernbedienung soll die Status-LED zwischen ein und vier-mal, abhängig vom aktuellen State of Charge, blinken. Die Abfrage des SOC und Berechnung der Anzahl der LED-Signale übernimmt dabei die VCU. Diese Funktionalität soll weiterhin die VCU übernehmen, obwohl der SOC für andere Funktionalitäten bereits an die VCU übermittelt wird, um die Kompatibilität zu alten Kabelbäumen zu wahren, welche noch Keine CAN-Verbindung zur Option 1 vorgesehen haben. Aus demselben Grund soll das Signal auch weiterhin zur Übertragung über eine eigene Leitung zum Steuergerät vorgesehen werden. Primär soll das Signal aber per CAN übermittelt werden, um die Kabelanzahl zu reduzieren und damit Kosten und Aufwand zu verringern.
* Identifikation:  
  Eine weitere Funktionalität der Funkfernbedienung soll es sein, dass Kart zu identifizieren. Hier soll die Status-LED leuchten, solange die entsprechende Taste auf der Fernbedienung gedrückt gehalten wird.

Ziel soll dabei auch sein die Kosten für die Erweiterung zu minimieren und sich von Zukaufteilen zu lösen. Durch das Zugekaufte Modul waren die Funktionen kaum anpassbar du wenig flexibel. Auch die Notwendigkeit einer eigenen Signalleitung für jedes Signal trug zu viel verkabelungsaufwand und höheren Kosten bei. Das neue System soll dahingehend einige Verbesserungen schaffen. So soll es auch möglich sein, dass die Zuweisung einer Fernbedienung auch nach dem Einbau der Option 1 möglich ist. Bisher musste eine Fernbedienung per Tastendruck auf dem Empfängermodul verbunden werden, bevor das Modul verbaut werden konnte und musste somit für den gesamten Fertigungs- und Verkabelungsprozess bei dem System bleiben. Außerdem war es nur mit großem Aufwand möglich defekte Fernbedienungen zu ersetzen oder Ersatz für verlorene Fernbedienungen zu verbinden. Für das Neue System soll dieser Verbindungsvorgang softwareseitig ausgelöst werden können, um eine Fernbedienung auch nachträglich ohne großen Aufwand verbinden zu können. Trotz allem soll für Testzwecke oder Sonderwünsche weiterhin eine Aktivierung des Verbindungsmodus per Knopfdruck auf der Platine vorgesehen werden.

Neben diesen bereits in alten variante bereitgestellten Funktionen soll die Erweiterungsplatine auch einige neue Funktionalitäten und Schnittstellen zur Verfügung stellen. Eine dieser Funktionen ist eine kabellose Datenverbindung. Dabei soll es möglich sein, sich sowohl mit Mobilen Endgeräten wie Handy oder Tablet, aber auch mit Laptops mit dem Kart zu verbinden, um verschiedene Funktionalitäten dieser Schnittstelle nutzen zu können:

* Livedaten:  
  Die Hauptfunktionalität, welche die kabellose Schnittstelle bieten soll, ist die Zur Verfügungstellung von Livedaten. Sowohl der Kunde als auch ein Wartungstechniker sollen Livedaten vom Kart empfangen können, welche in einer GUI leicht verständlich und übersichtlich aufbereitet werden. Hierfür ist eine zuverlässige und schnelle Verbindung nötig. Zudem müssen die Daten per CAN empfangen und ausgewertet werden.
* Kunden - Einstellungen:  
  Neben dem Einsehen von Livedaten soll es zudem möglich sein einfache Einstellungen, welche keine neuen Funktionalitäten erlauben oder verbieten, für den Kunden selbst vorzunehmen. Hierbei ist es wichtig, dass diese Einstellungen persistent gespeichert werden, damit die Daten auch nach einem Neustart des Karts erhalten bleiben. Zudem muss optisch dargestellt werden können, welche Einstellungen gerade aktiv oder deaktiviert sind.
* Hersteller – Einstellungen:  
  Neben den Einstellungen, die der Kunde selbst an seinem Kart vornehmen kann, soll es zusätzlich einige Einstellungen geben, welche nur der Hersteller vornehmen kann. Hintergrund ist, dass in jedes Kart dieselbe Platine verbaut und identische Software aufgespielt wird. Je nach Bedarf und Wunsch des Kunden werden nun die Funktionalitäten freigeschalten oder gesperrt. Dadurch sollen hohe kosten durch unterschiedliche Systeme und großer Aufwand beim Auseinanderhalten der Karts mit unterschiedlichen Systemen vermieden werden. Zusätzlich ist es dadurch sehr einfach nachträglich weitere Features freizuschalten, ohne Hardware oder Software am Kart verändern zu müssen. Um zu verhindern das Kunden auf Funktionalitäten Zugriff erhalten, welche nicht gekauft wurden müssen die Einstellungsmöglichkeiten Zugriffsgeschützt werden.

Der Verbindungsaufbau soll dabei so einfach wie möglich sein, muss gleichzeitig aber trotzdem sicher genug sein, dass nur der Besitzer des Karts Verbindung aufbauen kann. Für den Einsatz im Wettbewerb muss es außerdem möglich sein Zugriff auf das Netzwerk zu verhindern, da oft ein Kartclub die Karts für die gesamte Veranstaltung zur Verfügung stellt. Hier darf es nicht möglich sein die Einstellungen während der Veranstaltung zu manipulieren oder Livedaten anderer Fahrer auszulesen.

Eine weitere Schnittstelle für Kunde und Techniker wird über ein Display zur Verfügung gestellt. Dieses Display soll mehrere Seiten besitzen, zwischen welchen einfach gewechselt werden kann. Auch hier steht die Darstellung von Livedaten im Vordergrund, welche auch für den Fahrer live während der Fahrt sichtbar sind. Hier sollen vor allem Daten wie Temperatur und Ladestand angezeigt werden. Dabei ist es wichtig die Daten grafisch und Farblich aufzubereiten, um es dem Fahrer einfacher zu machen, die Werte wahrzunehmen. Des Weiteren sollen auch einzelne Funktionen über das Display veränderbar sein. Aufgrund der Fehlenden Eingabemöglichkeiten soll es sich dabei nur um boolesche Variablen handeln, die verändert werden können. Die Einstellungen sollen einfach und übersichtlich sein. Da es sehr ablenkend für vor allem junge Fahrer sein kann, soll es die Funktion geben, dass sich das Display während der Fahrt ausschaltet. Die Daten sollen wieder sichtbar werden, sobald das Kart zum Stillstand kommt. Neben den Livedaten und den Einstellungen sollen hier auch Fehlercodes angezeigt werden, die während dem Initialisierungsprozess aufgetreten sind und indizieren, dass einzelne Funktionalitäten nicht zur Verfügung stehen.

Zusätzlich soll eine Logdateien Funktionalität vorgesehen werden. Das System soll sowohl Fehler speichern, welche im Betrieb der Erweiterungsplatine auftreten, als auch Fehler im Betrieb der VCU speichern, welche per CAN an die VCU übermittelt werden. Die Speicherung erfolgt dabei mit Timestamp und Fehlercode. Der Fehlerspeicher soll dabei einfach auslesbar sein, ohne sich physisch mit dem System verbinden zu müssen.

Grundsätzlich soll es dabei möglich sein alle Funktionen unabhängig voneinander nutzen zu können, sodass sich jeder Kunde ein eigenes Paket aus Leistungen zusammenstellen kann. Damit muss es auch möglich sein alle Funktionalitäten einzeln zu deaktivieren oder freizuschalten.

## Integration ins bestehende System

Einer der wichtigsten Punkte bei der Entwicklung des neuen Systems ist Kompatibilität mit dem Bereits vorhandenen Gesamtsystem. Dazu gehört, dass sich an anderen Systemen so wenig wie möglich ändern soll. Das beinhaltet sowohl mechanische Anpassungen als auch minimale Anpassungen in der Software oder dem Kabelbaum. Ziel bleibt dabei trotzdem weiterhin möglichst viele Verbesserungen in Bezug auf Kosten und Arbeitsaufwand zu erzielen.   
Vor allem mechanisch soll sich nichts am bisherigen Kart ändern, zum einen, da die Option 1 feste Anbindungspunkte am Kart nutzt, welche sich nur mit sehr großem konstruktionsaufwand für das gesamte Kart verändern lassen, und diesen vorhandenen Platz an den Anbindungspunkte bereits vollständig ausnutzt, zum anderen soll das neue System aber auch in bereits gebauten Karts ohne großen Aufwand nachgerüstet werden können. Diese mechanischen Vorgaben definieren damit die Größe und Form der Platine zu einem sehr großen Teil. Auch die Position der Stecker ist durch die Kabeldurchführungen im Gehäuse sehr beschränkt. Für die Erweiterung mit einem Display soll es ein eigenes Gehäuse geben, sodass für das Display das bestehende Gehäuse nicht bearbeitet werden muss sondern lediglich die Kabel herausgeführt werden müssen, wofür die bereits vorhandenen Kabeldurchführungen genutzt werden können.   
Auch für den Kabelbaum sollen möglichst wenig Änderungen nötig werden. Da das System bisher aus mehreren losen verkabelten Komponenten bestand gab es nur einen Stecker mit deutlich weniger Pins als bisher. Dieser 6Pin Stecker wird für die Anbindung des RFID-readers und der Statusleuchte übernommen, da bei diesem Stecker die losen, abisolierten Enden der Kabel einzeln in den Stecker auf der Platine gequetscht werden ohne das es einen Gegenstecker gibt, der vorbereitet werden muss. Das sorgt dafür, dass der RFID-reader und die Statusleuchte weiterhin wie vorher vorbereitet werden können und auch bereits vorbereitete Komponenten weiterverwendet werden können. Für alle Leitungen, die von der VCU zur Option1 geführt werden, wird ein neuer 14-Pin Stecker vorgesehen. Die Steckverbindung besteht dabei aus 2 Bauteilen mit Crimp Kontakten als Pins. Durch die Trennung von externen Bauteilen und Kabelbaumseite kann weiterhin der kabelbaum separat vorbereitet werden ohne auf optimale Komponenten angewiesen zu sein. Die Verwendung eines neuen Steckers wird durch die höhere Anzahl an Kabeln notwendig. Für die Daten, welche auf Display und Webseite angezeigt werden sollen, muss zusätzlich Can1 zur Erweiterungsplatine geführt werden. CAN1 wird zusätzlich auch für die VCU-Befehle benötigt, welche über die Funkverbindung erhalten werden. Für alte Karts, die keine CAN1 Verbindung vorgesehen haben, sind zusätzlich noch die PINs zur Übertragung per Kabel vorgesehen, sodass zumindest die Funktionalität der Funkfernbedienung erhalten bleibt und die alten Karts ohne Anpassungen die Funktionalitäten des bisherigen Erweiterungspakets ohne Einschränkungen nutzen können, sollte aus Reparaturgründen die Option1 ausgetauscht werden müssen. Für Livedaten und Telemetrie müsste der Kabelbaum jedoch nachgerüstet werden.  
Auch beim Steuergerät steht es im Vordergrund, dass alte Systeme weiterhin zuverlässig laufen, sollte das alte System durch eine neue Platine ausgetauscht werden müssen. So soll sowohl die Auswertung von Digitalsignalen auf der Option1 möglich sein, welche von der VCU gesendet werden, aber auch die Option1 sieht Signale weiterhin vor, sodass sie sowohl als CAN-Signal oder über eine eigene Leitung an die VCU gesendet werden können. Auch die Struktur von Signalen soll gleichbleiben, um in der Auswertung keine Anpassungen vornehmen zu müssen. So werden die Daten, welche per RFID-Reader ausgelesen werden, weiterhin im Selben Aufbau und mit denselben IDs auf CAN2 an die VCU gesendet. Einige Änderungen müssen jedoch vorgenommen werden, diese beschränken sich jedoch auf das Senden und Empfangen von CAN-Nachrichten und deren Verarbeitung, sodass lediglich Erweiterungen, aber keine grundsätzlichen Änderungen in der Funktionsweise der Steuergerätsoftware nötig sind.

# Konzepte

Um diese Anforderungen an das neue System möglichst gut zu erfüllen kann es mehrere Möglichkeiten geben, welche jeweils besondere Aspekte eines Problems oder einer Anforderung besonders erfüllen können, oder aber auch auf Ausgewogenheit abzielen, um jede Anforderung möglichst gleich gut abzudecken. Um eine fundierte Entscheidung für eines dieser verschiedenen Konzepte zu treffen, ist es daher nötig, Anforderungen möglichst spezifisch zu definieren und zu gewichten, aber auch Konzepte möglichst detailreich zu beschreiben und Stärken und Schwächen einzelner Möglichkeiten gezielt herauszuarbeiten. Diese Vorarbeit bietet die Möglichkeit auf einer fundierten Entscheidungsgrundlage die Konzepte zu vergleichen und die bestmögliche Lösung zu identifizieren und eine begründete Entscheidung für eine der Umsetzungsmöglichkeiten für das System zu treffen. Für die Durchführung dieser Gewichtungen, Vergleiche und Abwägungen gibt es verschieden Möglichkeiten, welche in den Ingenieurwissenschaften zur Anwendung kommen. Für diese Arbeit wurde sich für Paarvergleiche zur Gewichtung der Anforderungen, sowie für Nutzwertanalysen zum Vergleich der Konzepte auf Grundlage der Gewichtungen der Anforderungen entschieden. Dieses System wurde gewählt, da es sich hierbei um ein sehr einfaches und schnell umsetzbares System handelt, welches sich für kleinere Systeme sehr gut eignet, ohne unübersichtlich zu werden. Zudem bleibt die Entscheidungsfindung hierbei sehr transparent und nachvollziehbar. Im Folgenden sollen die Paarvergleiche und Nutzwertanalysen kurz beschrieben und erklärt werden. Die Möglichen Konzepte sollen zudem erläutert werden, sowie die Entscheidungen, die getroffen wurden, erklärt werden.

## Paarvergleiche

Beim Paarvergleich geht es darum Anforderungen gegeneinander abzuwägen und zu priorisieren. Der Paarvergleich dient dabei dazu dieses Vorgehen zu vereinfachen und transparenter zu machen, indem man jeden Punkt mit jedem anderen einzeln vergleicht. Am Ende ergibt sich eine sehr genaue Staffelung. Dieses Verfahren soll kurz erklärt werden bevor die Paarvergleiche für jeden der vorher definierten Anforderungspunkte durchgeführt und erklärt werden.

Bei den zu vergleichenden Anforderungen handelt es sich nicht um die vorher definierten Anforderungen an das System, sondern viel mehr sollen für diese Anforderungen verschiedene Konzepte diskutiert werden. Daher werden verschiedene Kriterien erstellt, die für diese Konzepte relevant sein können, aufgrund derer am Ende die Wahl für eines der Konzepte in der Nutzwertanalyse fällt. Dieses Vorgehen soll beispielhaft an dem Paarvergleich gezeigt werden.  
Für den Paarvergleich wurde eine Excelliste erstellt, welche die Berechnungen automatisch durchführt und dem Anwender einfach aufzeigt, welche Informationen von Ihm benötigt werden.  
Ein Bild, das Reihe, Diagramm, Screenshot, parallel enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.

Im Bild kann man die grobe Struktur erkennen. In die gelben Felder sind Eingaben vom Benutzer vorgesehen, in den Restlichen Weißen Feldern werden über Formeln die Eingaben erzeugt. Die Rot Umrandeten Felder sind hier zu einfacheren Erklärung hervorgehoben. In diesen Feldern werden die Kriterien eingetragen, welche miteinander verglichen werden müssen. Um die Ergebnisse durch falsche Eingaben nicht zu verfälschen, muss der Nutzer diese Kriterien nur in die Zeilen Eintragen, in die Spaltenüberschriften werden die Kriterien Namen dann gemäß der Reihenfolge ihrer Eintragungen automatisch kopiert. Damit ergibt sich die Tabelle auf deren Grundlage anschließend die Vergleichsergebnisse eingetragen werden können. In der letzten Spalte sollten zudem Kurze Erläuterungen zu den Kriterien erstellt werden, um es dem Leser oder jemandem, der ebenfalls an dem System arbeiten soll möglichst verständlich zu machen, worauf dieses Kriterium abzielt. Eine Beispielhafte Tabelle könnte damit in etwa so aussehen.

Ein Bild, das Text, Screenshot, Reihe, Schrift enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.

Auf Grundlage dieser Tabelle können nun in die gelben Felder zwischen den Kriterien die Vergleichsergebnisse eingetragen werden. Wie bei einer Matrix werden die Vergleichsergebnisse in das Feld eingetragen, in welchem Zeile und Spalte mit dem jeweiligen Namen zusammenstoßen. Die Gewichtung wird durch die zahlen 0 bis 2 dargestellt, wobei 2 definiert, dass das Kriterium, welches in der Zeile steht, höher zu gewichten ist als das in der der Spalte. Eine 0 hingegen zeigt das Gegenteil an, in diesem Fall wäre die Spalte höher gewichtet als die Zeile. Sollte es Kriterien geben, welche gleich gewichtet werden sollen, kann eine 1 eingetragen werden. Da es jede Kombination aus Kriterien zweimal gibt, da jedes Kriterium als Zeile und Spalte vorkommt, muss vom Nutzer der Tabelle nur die Gewichtung in der oberen Hälfte eingetragen werden. Der Wert der korrespondierenden Zelle wird anhand der Formel

Berechnet, wobei die vom Nutzer eingetragene Gewichtung ist und die Gewichtung der korrespondierenden Zelle. Daraus ergibt sich, dass eine vom Nutzer eingetragene 2 zwangsläufig zu einer 0 in der korrespondierenden Zelle führt, wodurch genau der gewünschte Effekt erzielt wird.

Ein Bild, das Text, Screenshot, Diagramm, Reihe enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.

Aus den Gewichtungswerten wird nun zeilenweise die Summe gebildet. Dadurch, dass der Wert im Falle einer Höhergewichtung der Zeile gegenüber der Spalte am höchsten ist, ergibt sich nun, dass die Spalte mit der höchsten Summe gegenüber allen anderen Spalten am wichtigsten wiegt. Im oberen Beispiel wäre das die Störungssicherheit. Um nun ein mit anderen Paarvergleichen vergleichbares Ergebnis zu erhalten, werden die Werte auf insgesamt 100% normiert. Das erreicht man, indem man die Summen der einzelnen Zeilen durch die Summe aller Werte teilt. Mit diesen Werten kann nun in einer Nutzwertanalyse zur Bewertung der einzelnen Konzepte genutzt werden. Dieses Verfahren soll nun anhand der realen Konzeptentscheidungen angewendet werden.

## Nutzwertanalysen

blablabla

Ein Bild, das Text, Zahl, Screenshot, parallel enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.

# Hardwareentwicklung

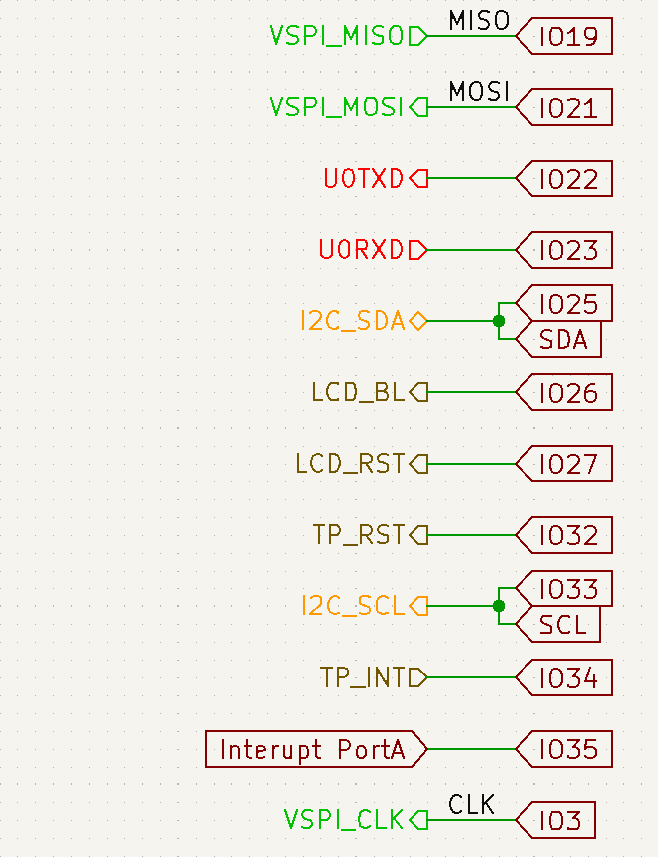
## Schaltungsaufbau

Der erste Entwicklungsschritt für das neue Erweiterungssystem ist der Aufbau geeigneter Schaltungen, welche alle Funktionalitäten abbilden. In diesem Kapitel soll es daher um die Schaltungen, deren Aufbau und Funktionsweiße gehen. Der Schaltungsaufbau ist dabei so organisiert, dass jede Einzelschaltung in einem eigenen Schaltplan realisiert ist und ein Masterblatt diese Systeme alle miteinander verbindet. Dabei wird jede Schaltung einzeln betrachtet und erläutert. Ein Bild, das Text, Diagramm, Plan, parallel enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.   
Microcontroller  
Zuallererst soll hierbei der Microcontroller als Zentrales Element der Schaltung betrachtet werden. Dabei kommt ein ESP32-Microcontroller zum Einsatz. Dieser übernimmt sämtliche Rechenoperationen und Kommunikationsaufgaben für das System. Der Mikrocontroller wird dabei mit 3.3V versorgt. Dadurch, dass der 3.3V auch Signalpegel für viele Signale ist, ist es sehr wichtig, ein stabiles und rauschfreies Signal am Microcontroller zu erhalten. Dafür sind die Kondensatoren C801 und C802 zwischen VCC und Ground vorgesehen. Bei ihnen handelt es sich um Abblockkondensatoren, welche Hochfrequente Störungen gegen Ground ableiten und kurzfristige, minimale Spannungseinbrüche abpuffern sollen. Außerdem ist es wichtig sicherzustellen, dass die Stromversorgung beim Einschalten des ESP32 stabil ist, um einen sicheren Boot-Vorgang zu gewährleisten ohne Fehler zu erhalten. Das Einschalten passiert dabei über den EN-Pin des Mikrocontrollers. Hierfür wird ein RC-Glied vor den Enable-Pin geschalten. Das Datenblatt empfiehlt dabei mindestens als Wartezeit, bis die Spannungsversorgung am ESP stabil anliegt, bevor der Chip über EN-Pin aktiviert wird. Die Verzögerung des RC-Glied lässt sich dabei folgendermaßen berechnen

Das Datenblatt empfiehlt für , das entspricht einer Verzögerung von .   
Ein Bild, das Text, Diagramm, Plan, Reihe enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.  
Zusätzlich beim Bootvorgang zu beachten sind die Strapping Pins des Mikrocontrollers. Bei Strapping-Pins handelt es sich um die Pins, welche den Ablauf des Bootvorgangs definieren. So lässt sich beispielsweise der Boot Mode definieren, ob die Software, welche bereits auf dem Gerät gespeichert ist für den Bootvorgang verwendet wird oder ob extern neue Software aufgespielt werden soll. Die Strapping Pins des ESP32 sind dabei GPIO 0, GPIO 2, GPIO 5, GPIO 12 (MTD1), und GPIO 15 (MTD 0). Für diese Pins ist im Datenblatt eine Standartbelegung definiert, bei welcher der normale Bootvorgang abläuft, wobei der Chip aus seinem eigenen Speicher bootet. Die Pegel werden dabei über Pull-Up und Pull-Down Widerstände erzielt, das sind die Widerstände R801 bis R805. Um diesen Bootvorgang nicht zu beeinflussen, wurde daher bewusst darauf verzichtet, die Strapping Pins für weitere Funktionalitäten zu nutzen. Lediglich die Pins GPIO 0 und 2, welche den Bootmodus definieren, werden noch zusätzlich vom USB-Controller gesteuert, um ein Flashen per USB zu ermöglichen.  
Ein Bild, das Text, Screenshot, Schrift, Zahl enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.  
Ein großer Vorteil des ESP32 ist, dass beinahe alle Pins für alle Funktionen verwendet werden können. Lediglich die Pins GPIO 34, 35, 36 und 39 sind nur als Input verwendbar und die Pins GPIO 6 bis 11 werden intern verwendet und dürfen nicht verwendet werden. Somit bietet der Chip sehr viele Möglichkeiten für Signale oder Kommunikation. Ein verwendetes Kommunikationsprotokoll ist I²C. Es wird sowohl zur Ansteuerung des Displays als auch für die Datenübertragung an eine GPIO Port Erweiterung verwendet. I²C ist ein Protokoll, welches mit zwei Signalleitungen auskommt. Für Datenübertragung (SDA) ist hierbei Port GPIO 25 vorgesehen, für das Clock-Signal wird Pin GPIO 33 verwendet. Die Auswahl der Pins beruht dabei auf praktischen Gesichtspunkten, so sollen die Ports physisch möglichst nebeneinander liegen, um das spätere Layout zu vereinfachen. Für I²C müssen zudem Pull-Up Widerstände vorgesehen werden, da es sich bei I²C um Ein Bild, das Text, Schrift, Screenshot, Reihe enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.OpenDrain-System handelt, weswegen die Signale auf einen Stabilen Pegel gezogen werden müssen. Bei Übertragung eines Signals wird die Leitung dann auf Ground Potential gezogen. Bei I²C haben sich 4.7 kΩ als Standartwert für die I²C Kommunikation etabliert.   
Ein weiterer sehr verbreiteter Standard zur Kommunikation mit Peripheriegeräten ist SPI. Bei dem aktuellen System werden damit das Display, ein Flashspeicher, sowie der Controller zur Kommunikation auf CAN-Bus 2 gesteuert. Anders als I²C benötigt SPI mindestens 4 Leitungen. Dazu gehört auch wieder ein Clock-Signal, welches jeden Teilnehmer synchronisiert. Dazu kommen anders als bei I²C aber zwei Datenleitungen. Hier wird unterschieden zwischen gesendeten und empfangenen Nachrichten. Jeder Teilnehmer besitzt ein Master In, Slave Out-Signal (MISO) und ein Master Out, Slave In-Signal (MOSI) über welches die Teilnehmer miteinander kommunizieren können. Hinzu kommt ein ChipSelect Signal für jeden Teilnehmer, der auf dem Bus Kommunizieren möchte. Über dieses Signal muss immer genau ein Teilnehmer vom Master freigegeben werden, welcher dann kommunizieren kann. Auch hier werden die Pins so ausgewählt, dass das Layout möglichst vereinfacht werden kann. Eine weitere verbreitete Kommunikationsart, vor allem zur Kommunikation unter Steuergeräten, ist der CAN-Bus. Der Chip besitzt intern einen Controller für Two-Wire Automotive Interface (TWAI), welcher in der Lage ist eine CAN-Kommunikation aufzubauen. Dabei werden 2 physische Leitungen für CAN-High und CAN-Low benötigt. Diese werden nicht am Mikrocontroller angeschlossen, weil zur Kommunikation noch ein CAN-Transceiver benötigt wird. Dieser erhält über UART seine Daten und Befehle vom TWAI-Controller, dabei kommunizieren die Teilnehmer über zwei Leitungen für erhaltene und gesendet Nachrichten. Daher werden auch zwei Pins am Chip dafür verwendet. Da es sich hierbei um ein asynchrones Protokoll handelt, ist hier kein Clocksignal wie bei SPI oder I²C nötig. Im vorliegenden System kommuniziert darüber sowohl der RFID-Reader als auch die Datenübertragung mit dem Steuergerät findet über CAN-Kommunikation statt. Da der Mikrocontroller selbst leider keine zwei CAN-Busse unterstützt muss für den zweiten Bus ein externer CAN-Controller vorgesehen werden, dieser überträgt seine Daten via SPI. Der Controller für Bus 2 bietet allerdings eine Interrupt-Funktionalität. Bei Empfang einer Nachricht wird über diesen Pin ein Signal ausgegeben, welches am ESP32 als Interrupt detektiert werden kann.   
Die Signale U0TXD und U0RXD gehören ebenfalls zu einer UART-Schnittstelle. Diese wird im vorliegenden Beispiel lediglich zur Kommunikation mit einem extern angeschlossenen USB-Gerät verwendet und soll als Schnittstelle zum flashen eines neuen Programms dienen. Auch hier wird mit zwei Leitungen kommuniziert, wobei jeweils zwischen Receive und Transmit unterschieden wird, also eine Signalleitung, zum Empfangen von Nachrichten und eine zum Senden. Auch hier werden die nebeneinanderliegenden Pins GPIO 22 und 23 genutzt. Die Restlichen Pins werden für die Steuerung des Displays genutzt. Zum einen gibt es einen Pin für die Hintergrundbeleuchtung des Displays. Dafür wird der Pin als Ausgang eines PWM-Generators definiert. Über die Frequenz des Pulsweiten Modulierten Signals wird somit die Helligkeit der Hintergrundbeleuchtung bestimmt. Ein weiterer Pin ist der DC-Pin des Displays. Dieser ist ein standartmäßiger Ausgang für ein Digitalsignal. Dieses Signal wird dafür genutzt, um dem Display mitzuteilen, ob ein Befehl übertragen wird oder ob es gerade Daten zum Darstellen erhält. Die Pins GPIO 26 und 27 werden als Digitaler Ausgang genutzt. Hier werden Signale ausgegeben, welche genutzt werden können, um das Display und den Touch Controller zu resetten. GPIO 34 wird ähnlich wie bei CAN genutzt, um einen Interrupt durch den Touch Controller des Displays auszulösen. Der Pin wird auf High gezogen, wenn der Touch Controller eine Berührung erkennt, und der Pin kann im Chip als Interrupt definiert werden, sodass jede Berührung direkt verarbeitet werden kann. Hierfür wird einer der Pins genutzt, welche nur als Eingang fungieren, da es sich nur um einen Einseitigen Interrupt handelt. Lediglich der Touch Controller darf diesen Pin setzen, niemals der Mikrocontroller, dieser wertet das Signal lediglich aus. Dasselbe gilt auch für den Pin GPIO 35. Über diesen ist der Interrupt-Pin des GPIO-Expanders an den Chip angeschlossen. Dieser erzeugt ein Signal an dem Pin, welcher dann als Interrupt im ESP32 definiert werden kann, sobald sich der Wert an einem der als Input definierten Pins ändert. Somit können auch dort ausgelesene Daten zeitnah vom ESP ausgelesen und verarbeitet werden.   
Die bereits angesprochene GPIO Port Erweiterung hat dabei die Funktion alle übrigen Funktionalitäten und Pins zur Verfügung zu stellen, welche am Mikrocontroller keinen Platz mehr gefunden haben. Die Port Erweiterung stellt allerdings lediglich GPIO-Funktionalität zur Verfügung und kann keine Sonderfunktionalitäten wie SPI oder I²C bereitstellen. Daher sind die Pins am Chip für die Kommunikation verwendet und die meisten GPIO-Funktionalitäten werden über die Erweiterung erzielt. Zudem wurde darauf geachtet keine Zeitkritischen Signale über die Erweiterung zu realisieren, da hier jedes mal per I²C erst Daten abgefragt werden müssen, bevor diese am ESP32 verarbeitet werden können, wodurch die Daten deutlich später zur Verfügung stehen, als wären sie direkt am Chip angeschlossen. Der GPIO-Expander besitzt dabei 2 Register mit jeweils acht Eingängen. Um es übersichtlich zu halten, wurde Register A nur für Eingangssignal und Register B nur für Ausgangssignale verwendet. Das hat außerdem den Vorteil, dass das Signal für Interrupts von Port B ignoriert werden kann, da dort keine Eingehenden Signale erwartet werden, wodurch ein Port mehr für andere Funktionalität direkt am Chip erhalten bleibt. So übernimmt der GPIO-Expander zum Beispiel das Auslesen der vom Funkempfänger gesendeten Signale.   
Ein Bild, das Text, Diagramm, Zahl, Schrift enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.  
Dazu gehören neben dem Fehlersignal und der Rückgabe des Lernmodus auch die Empfangenen Signale auf Kanal 2, 3 und 4. Durch die Interrupt Funktionalität des Bauteils wird der Mikrocontroller benachrichtigt, sobald sich an diesen Werten etwas ändert. Neben den Signalen liest die Porterweiterung auch das LED-Signal aus, welches von der VCU gesendet wird. Da dieses nur noch in seltenen Fällen verwendet werden wird, nämlich wenn ein altes Kart mit einer neuen Platine aufgerüstet werden soll, hat dieses Signal keine hohe Priorität, weshalb die höhere Bearbeitungszeit, bis es am Mikrocontroller ankommt, vernachlässigbar ist. Gleichzeitig wird über die Erweiterung auch die LED gesteuert. LED\_ON ist dabei das Signal, welches den Transistor für die LED-Schaltet. Auch hier fallen minimal längere Verarbeitungszeiten nicht ins Gewicht. Dasselbe gilt für das Signal Activate\_Lernmodus. Hierrüber wird der Lernmodus des Funkempfängers aktiviert, mit welchem man neue Fernbedienungen einem Funkmodul zuweisen kann. Dieses Signal besteht aus mehreren Impulsen, welche mit Verzögerung gesendet werden, sodass hier genügend Zeit zwischen den Signalen besteht, um einen neuen Impuls über I²C an die Erweiterung zu übermitteln. Zwei weitere Signale, welche über die Port Erweiterung realisiert, werden sind CAN1\_S-Mode und CAN2\_S-Mode. Über diese Signale wird der Silent Mode für die CAN-Transceiver für CAN1 und CAN2 aktiviert. Dieses Signal eignet sich sehr gut, um über die langsamere Expansion realisiert zu werden, da dieses Signal nur sehr selten verändert wird. Bei den Signale TX\_2 und TX\_3 handelt es sich wieder um Signale, welche nur zur Kompatibilität mit alten Systemen vorgesehen sind. TX\_2 realisiert dabei die Aktivierung des Fahrmodus, wenn ein Signal per Funk empfangen wurde, TX\_3 sendet eine SOC-Anfrage zur VCU. Diese Signale kommen aber nur bei Karts alter Generationen zum Einsatz, die keinen CAN-Bus zur Kommunikation zur Option 1 führen, sondern bei denen das Signal noch über eine eigene Signalleitung an die VCU übermittelt wird. Die restlichen beiden Signale sind Steuersignale für einen über SPI gesteuerten RFID-Reader. Diese sind lediglich für testzwecke vorgesehen, um den sehr teuren RFID-Reader, welcher aktuell direkt per CAN angeschlossen ist, zukünftig ersetzen zu können durch ein deutlich günstigeres Bauteil. Deshalb wird hier auch ein Signal wie ein SPI ChipSelect und der Reset für den Controller über den langsamen GPIO-Expander realisiert, obwohl es sich bei Signalen für die SPI-Kommunikation um zeitkritischere Signale handelt. Allerdings werden diese Signale im normalen Betrieb keinerlei Rolle spielen. Um überhaupt Daten übermitteln zu können muss die Adresse des Geräts definiert werden. Das passiert über eine 7 Bit lange Adresse, wobei die letzten Drei Bit über die Eingänge A0 bis A2 definiert werden. Das ist vor allem dann relevant, wenn in einer Schaltung mehrere GPIO-Port Erweiterungen verbaut werden. Im vorliegenden System gibt es keine Überschneidungsgefahr bei den Adressen, weshalb die letzten Adressbits auf 0 0 0 festgelegt werden, definiert durch das Ground-Potenzial. Die Spannungsversorgung erfolgt auch hier mit 3.3V. Auch hier ist ein Abblockkondensator vorgesehen, um eine stabilere Spannungs-versorgung zu gewährleisten. Der Widerstand vor dem Reset Pin sorgt dafür, dass das lowaktive Signal auf einem definierten Pegel liegt und die Port Erweiterung dauerhaft aktiv ist, ohne ungewollt zurückgesetzt zu werden.  
Funkempfänger

## PCB-Layout

# Software

## Konzept

## Aufbau

## Umsetzung

# Test und Inbetriebnahme

# Fazit und Ausblick

## Zusammenfassung der Arbeit

## Mögliche Weiterentwicklungen

# Literaturverzeichnis

# Bildverzeichnis