Inhaltsverzeichnis

[1. Einleitung 3](#_Toc208232306)

[1.1. Inhalt und Aufbau 3](#_Toc208232307)

[1.2. Ziel der Arbeit 3](#_Toc208232308)

[2. Technische Grundlagen 4](#_Toc208232309)

[2.1. SPI 4](#_Toc208232310)

[2.2. I²C 4](#_Toc208232311)

[2.3. CAN 4](#_Toc208232312)

[2.4. UART 4](#_Toc208232313)

[2.5. Wifi 4](#_Toc208232314)

[2.6. Bluetooth 4](#_Toc208232315)

[3. Systemanalyse und Integration 5](#_Toc208232316)

[3.1. Bestehendes System 5](#_Toc208232317)

[3.1.1. Beschreibung des Systems 5](#_Toc208232318)

[3.1.2. Konzept System 5](#_Toc208232319)

[3.1.3. Aufbau System 5](#_Toc208232320)

[3.2. Anforderungen 5](#_Toc208232321)

[3.3. Integration ins bestehende System 9](#_Toc208232322)

[4. Konzepte 10](#_Toc208232323)

[4.1. Paarvergleiche 10](#_Toc208232324)

[4.2. Nutzwertanalysen 13](#_Toc208232325)

[5. Hardwareentwicklung 14](#_Toc208232326)

[5.1. Schaltungsaufbau 14](#_Toc208232327)

[5.2. PCB-Layout 14](#_Toc208232328)

[6. Software 15](#_Toc208232329)

[6.1. Konzept 15](#_Toc208232330)

[6.2. Aufbau 15](#_Toc208232331)

[6.3. Umsetzung 15](#_Toc208232332)

[7. Test und Inbetriebnahme 16](#_Toc208232333)

[8. Fazit und Ausblick 17](#_Toc208232334)

[8.1. Zusammenfassung der Arbeit 17](#_Toc208232335)

[8.2. Mögliche Weiterentwicklungen 17](#_Toc208232336)

[9. Literaturverzeichnis 18](#_Toc208232337)

[10. Bildverzeichnis 19](#_Toc208232338)

# Einleitung

## Inhalt und Aufbau

## Ziel der Arbeit

# Technische Grundlagen

## SPI

## I²C

## CAN

## UART

## Wifi

## Bluetooth

# Systemanalyse und Integration

## Bestehendes System

### Beschreibung des Systems

Bei dem bestehenden System handelt es sich um ein vollelektrisches Rennsport-Kart für den Einsatz im Jugend Kart Slalom Wettbewerb und Training.

### Konzept System

### Aufbau System

## Anforderungen

Die Aufgabe meines Projekts besteht darin alle Erweiterungsoptionen, welche für das Kart verfügbar sind in einem kompakten und günstigen System zu vereinen. Ziel ist Verkabelungsaufwand zu verringern und damit das System Stabiler, günstiger und weniger Fehleranfällig zu gestalten. 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.

Neue Funktionen sollen nicht hinzugefügt werden. Bei der Umsetzung sollen vor allem Kostenreduktion und Aufwandverringerung im Vordergrund stehen. 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 muss dabei einfach auslesbar sein, ohne sich physisch mit dem System verbinden zu müssen.

## 

## 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 musss 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

## PCB-Layout

# Software

## Konzept

## Aufbau

## Umsetzung

# Test und Inbetriebnahme

# Fazit und Ausblick

## Zusammenfassung der Arbeit

## Mögliche Weiterentwicklungen

# Literaturverzeichnis

# Bildverzeichnis