

4. 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 verschiedenen 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.

4.1. 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 Staffellung. 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 vielmehr 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.

Paarvergleich		0												
	Kriterien											Summe	Normiert	
2												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	
												0	#DIV/0!	

Abbildung 10: Beispielhafte Darstellung eines leeren Paarvergleich

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.

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

$$G_2 = |G_1 - 2|$$

Berechnet, wobei G_1 die vom Nutzer eingetragene Gewichtung ist und G_2 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. Das Ergebnis ist in Abbildung 11 zu erkennen.

Paarvergleich		0										
2	Kriterien	Kosten	Aufwand	Störungssicherheit	Wartbarkeit	Fehlersuche					Summe	Normiert
	Kosten		2	0	0	0					2	0.1
	Aufwand	0		0	0	0					0	0
	Störungssicherheit	2	2		2	2					8	0.4
	Wartbarkeit	2	2	0		1					5	0.25
	Fehlersuche	2	2	0	1						5	0.25
											0	0
											0	0
											0	0
											0	0
											20	1

Abbildung 11: Beispielhafte Darstellung eines Ausgefüllten Paarvergleich

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.

Die erste zu treffende Konzeptentscheidung betrifft die kabellose Schnittstelle zur Datenübertragung und ist in Abbildung 12 zum Verständnis abgebildet.

Paarvergleich		0											
2	Kriterien	Übertragungsrate	Kosten	Entwicklungsaufwand	Reichweite	Nutzerfreundlichkeit	Energieverbrauch	Störsicherheit	Bauraum	Kompatibilität	Sicherheit	Summe	Normiert
	Übertragungsrate		2	2	2	0	2	1	2	0	0	11	0.1222222
	Kosten	0		2	2	0	2	0	2	0	0	8	0.0888889
	Entwicklungsaufwand	0	0		0	0	0	0	2	0	0	2	0.0222222
	Reichweite	0	0	2		0	2	0	2	0	0	6	0.0666667
	Nutzerfreundlichkeit	2	2	2	2		2	2	2	1	0	15	0.1666667
	Energieverbrauch	0	0	2	0	0		0	2	0	0	4	0.0444444
	Störsicherheit	1	2	2	2	0	2		2	0	0	11	0.1222222
	Bauraum	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
	Kompatibilität	2	2	2	2	1	2	2	2		0	15	0.1666667
	Sicherheit	2	2	2	2	2	2	2	2	2		18	0.2
												90	1

Abbildung 12: Paarvergleich zur Gewichtung der Kriterien zur kabellosen Datenschnittstelle

Die niedrigste Relevanz gegenüber den anderen Kriterien wird dem Bauraum beigemessen. Dieser meint dabei den Platz eines Bauteils mit zugehöriger Peripherie. Platzprobleme sind mit dem bereits vorhandenen Gehäuse kein Problem. Knapp davor

liegt der Entwicklungsaufwand. Dieser wird nur relevanter als der Bauraum betrachtet. Der Entwicklungsaufwand beschreibt dabei den zeitlichen Aufwand für Entwicklung von Schaltplan, Layout und Software. Da dieser Aufwand nur einmal geleistet werden muss, spielt dieses Kriterium kaum eine Rolle. Schwerer wiegt dagegen der Energieverbrauch. Zwar ist dieser durch die große Batterie, welche bereits im Kart verbaut ist, kaum relevant, spielt aber für die Spannungsversorgung auf der Platine eine Rolle. Auch die Reichweite der Datenübertragung spielt gegenüber wichtigeren Themen eine untergeordnete Rolle, darf aber trotzdem nicht vernachlässigt werden. Die meisten Kartplätze erfordern aber selten eine Reichweite über mehr als 30 Meter, das können die meisten Systeme liefern. Um die Wirtschaftlichkeit des Systems im Auge zu behalten, spielen auch die Kosten für das System eine mittelgroße Rolle. Lediglich höher gewichtet werden die Übertragungsrate und Störsicherheit, Nutzerfreundlichkeit und Kompatibilität, sowie die Sicherheit. Bei Übertragungsrate und Störsicherheit geht es vor allem um das Nutzererlebnis. Extrem langsamer Download oder verzögerte Livedaten stören extrem die geforderten Funktionen. Ähnliches gilt für die Nutzerfreundlichkeit und die Kompatibilität. Diese Kriterien fordern vor allen Dingen, dass es möglichst einfach sein muss, sich mit dem Kart zu verbinden ohne im Schlimmsten Fall zusätzliche Treiber, Apps oder Programme herunterladen zu müssen. Auch soll es mit jedem gängigen Gerät möglich sein, sich zu verbinden. Daher sind diese Kriterien auch höher gewichtet im Vergleich zur Datenqualität und Übertragungsrate. Der Kunde kann keinen Nutzen aus einer Schnellen und sicheren Übertragung ziehen, wenn er sich nicht mit dem Kart verbinden kann. Als wichtigstes Kriterium sticht die Sicherheit hervor. Durch den Einsatz im Wettbewerb darf es nicht möglich sein, dass sich unbefugte in das Netzwerk des Karts einloggen können und so Daten von Kontrahenten auslesen oder Manipulieren können. Wenn es so einfach wie möglich sein soll sich zu verbinden, muss eine Authentifizierung stattfinden.

Als nächstes soll es um die Auswahl eines passenden Displays zur Darstellung der Daten am Kart gehen. Dafür werden die Kriterien Kosten, Entwicklungsaufwand und Energieverbrauch betrachtet, zusammen mit Bauraum und Größe, wobei der Bauraum die Gesamte Größe des Moduls mit Eingabefunktionen und Halterung bewertet, wohingegen die Größe die tatsächlich nutzbare Fläche des Displays betrachtet. Zusätzlich werden Darstellung und Bedienbarkeit bewertet. Dabei geht es vor allem darum, ob Daten Farbig und graphisch aufbereitet dargestellt werden können, um das Display übersichtlich und einfach ablesbar zu gestalten. Die Bedienbarkeit meint, dass es einfach sein muss, zwischen einzelnen Seiten des Displays zu wechseln oder Einstellungen vorzunehmen. Die Ergebnisse werden in Abbildung 13 dargestellt.

Paarvergleich		0								
	Kriterien	Kosten	Entwicklungsaufwand	Bauraum	Energieverbrauch	Darstellung	Bedienbarkeit	Größe	Summe	Normiert
2	Kosten		2	2	2	0	0	0	6	0.1428571
	Entwicklungsaufwand	0		0	0	0	0	0	0	0
	Bauraum	0	2		2	0	0	0	4	0.0952381
	Energieverbrauch	0	2	0		0	0	0	2	0.047619
	Darstellung	2	2	2	2		1	2	11	0.2619048
	Bedienbarkeit	2	2	2	2	1		2	11	0.2619048
	Größe	2	2	2	2	0	0		8	0.1904762
									42	1

Abbildung 13: Paarvergleich zur Gewichtung der Kriterien des Displays

Am wichtigsten werden dabei die Darstellung und die Bedienbarkeit bewertet. Das Kart ist ständig in Bewegung und es ist von der Positionierung nicht viel platz vorhanden, um Darstellbarkeit der Daten nur über die Anzeigegröße zu erreichen. Daher ist es notwendig, Daten so ansprechend und leicht verständlich wie möglich aufzubereiten und darzustellen, um ein schnelles Ablesen zu ermöglichen. Außerdem ist das Display dafür konzipiert möglich einfach verschiedene Daten auslesen zu können. Dafür muss die Bedienung so einfach wie möglich gestaltet werden, damit es vor allem auch für Kinder, für welche das Kart konzipiert ist, intuitiv damit zurechtkommen. Eng mit der Darstellung und Bedienbarkeit verbunden ist die Größe des Displays. Dieses darf nicht zu klein sein, damit die beiden ersten Kriterien nicht darunter leiden, gleichzeitig soll es auch nicht zu groß werden, da es schwieriger wird das Display am Kart sinnvoll unterzubringen, sowie es gegen äußere Einflüsse zu schützen. Außerdem kann ein zu großes Display ablenkend und irritierend wirken. Damit das System nicht zu teuer wird muss auch der Faktor Kosten im blick behalten werden. Zwar sollen in den bisherigen Punkten keine großen Abstriche zugunsten eines günstigeren Preises gemacht werden, er kann jedoch auch nicht vernachlässigt werden gegenüber Faktoren wie Bauraum oder Energieverbrauch. Diese werden hauptsächlich durch die Mechanischen und elektrischen Gegebenheiten beschränkt. Diesen werden lediglich höhere Bedeutungen beigemessen als dem Entwicklungsaufwand. Dieser muss lediglich einmalig erbracht werden und wiegt deshalb kaum im Vergleich zu den anderen Kriterien.

Die letzte zu Treffende Konzeptentscheidung betrifft den RFID-Reader. Hier liegt der Fokus vor allem darauf, dass die aktuell eingesetzten Karten auch weiterhin gelesen werden können und der Hohe Sicherheitsstandard beibehalten wird. Das wird über die Kriterien Kompatibilität und Verschlüsselung definiert. Diese Stechen gegenüber allen anderen Kriterien heraus. Aktuell kommen DesFire EV3 Karten zum Einsatz. Diese müssen weiterhin lesbar bleiben. Danach spielen die Kosten eine große Rolle, da das bisher verwendete System sehr teuer ist. Die letzten drei Kriterien bilden Energieverbrauch und Bauraum, sowie der benötigte Entwicklungsaufwand. Auch hier wird dem Entwicklungsaufwand die geringste Relevanz beigemessen, da dieser nur

einmal während der Entwicklung erbracht werden muss. Energieverbrauch und Bauraum werden ebenfalls so bewertet wie bei den Vorhergehenden Paarvergleichen. So spielen beide Kriterien eher eine untergeordnete Rolle, da im Bereich der Option 1 genügend Platz vorhanden ist und der Stromverbrauch durch die Versorgung durch die Kartbatterie kaum ins Gewicht fällt. Alle diese Ergebnisse sind auch Abbildung 14 zu entnehmen.

Paarvergleich		0							
	Kriterien	Kosten	Entwicklungsaufwand	Kompatibilität	Energieverbrauch	Bauraum	Verschlüsselung	Summe	Normiert
2	Kosten		2	0	2	2	0	6	0.2
	Entwicklungsaufwand	0		0	0	0	0	0	0
	Kompatibilität	2	2		2	2	1	9	0.3
	Energieverbrauch	0	2	0		1	0	3	0.1
	Bauraum	0	2	0	1		0	3	0.1
	Verschlüsselung	2	2	1	2	2		9	0.3
								30	1

Abbildung 14: Paarvergleich zur Gewichtung der Kriterien des RFID-Readers

4.2. Nutzwertanalysen

Die Nutzwertanalyse wird verwendet, um auf Grundlage der gerade geschaffenen Paarvergleiche verschiedene Konzepte auf ihre Eignung hin gegeneinander zu vergleichen. Dafür wird jedes Kriterium einzeln auf seine Erfüllung der Kriterien hin bewertet. Dafür wird ein Bewertungsverfahren mit einer Punkteskala von 0 bis 3 Punkten verwendet. Die Punkte entsprechenden folgenden Bewertungen:

3	Sehr gute Erfüllung des Kriteriums
2	Gute Erfüllung des Kriteriums
1	Mangelhafte Erfüllung des Kriteriums
0	Schlechte Erfüllung des Kriteriums

Die Bewertung wird anschließend für jedes Kriterium gewichtet. Das passiert auf Grundlage des vorher getroffenen Paarvergleichs. Auf diese Weise fällt die schlechte Erfüllung eines unwichtigen Kriteriums weniger schwer ins Gewicht als die eines wichtigen Kriteriums. Am Ende werden alle gewichteten Bewertungen addiert. Durch das Bewertungssystem kann so das Konzept mit dem höchsten Wert als das geeignetste bezeichnet werden, um die geforderten Anforderungen zu erfüllen. Zusätzlich wird unterhalb der Summe eine Bewertung gegenüber den restlichen Konzepten durchgeführt und eine Rangliste erstellt. Die Position innerhalb dieser Rangliste wird zur einfacheren Auswertung dargestellt. Das kann man anhand des folgenden Beispiels in Abbildung 15

Nutzwertanalyse		Konzept 1		Konzept 2		Konzept 3		Konzept 4	
Kriterien	Normiert	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Kosten	0.1	3	0.3	2	0.2	0	0	2	0.2
Aufwand	0	3	0	1	0	0	0	2	0
Störungssicherheit	0.4	0	0	3	1.2	3	1.2	1	0.4
Wartbarkeit	0.25	0	0	1	0.25	2	0.5	3	0.75
Fehlersuche	0.25	0	0	1	0.25	2	0.5	3	0.75
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
		0.3		1.9		2.2		2.1	
		4		3		1		2	

Diese Analysen sollen im Folgenden für alle Systeme durchgeführt werden, für die bereits die Paarvergleiche erledigt wurden.

- **Bluetooth:**
Bluetooth ist ein weit verbreiteter Standard zur Kommunikation zwischen Mobilgeräten und Peripherie wie Kopfhörern oder Smartwatches [11, S. 1]. Dadurch kann Bluetooth vor allem durch Kompatibilität überzeugen. Jedes Mobile Endgerät unterstützt normalerweise Bluetooth. Auch die Kosten sind für ein Bluetooth-Module oder einen Bluetooth-fähigen Chip sehr gering, dadurch das es sehr verbreitet ist. Grundsätzlich ist Bluetooth darauf ausgelegt möglichst einfach bedienbar zu sein. Dadurch ist die Verbindungsherstellung möglichst simpel gelöst. Die Mobilien Endgeräte benötigen aber eine App, um die gesendeten Daten zu interpretieren und darzustellen, was es deutlich erschwert, dass man sich schnell mit dem Kart verbinden kann. Das erhöht auch extrem den Entwicklungsaufwand, da nicht nur eine Schnittstelle von Seiten des Mikrocontrollers zur Verfügung gestellt werden muss, sondern die Daten in einem Format gesendet werden müssen, welche eine App darstellen kann [11, S. 182].

Unter Umständen wäre es sogar nötig, eine eigene App für Mobile Geräte zu entwickeln, um alle geforderten Funktionalitäten wie Download und Einstellungen zur Verfügung stellen zu können [12, S. 109]. Dadurch, dass Bluetooth ausgelegt ist zur Kommunikation zwischen Handy und Peripherie, sind auch die Datenrate und Reichweite nicht besonders groß [3, S. 351]. Die Datenrate ist für die kleinen Livedaten ausreichen, weswegen diese hier kein Problem darstellt. Jedoch beträgt die Reichweite meist nur etwa 10m bis maximal 30m, das ist für die meisten Kartplätze für eine stabile Verbindung nicht ausreichend [11, S. 6]. Auch die Störsicherheit ist durch die Auslegung auf geringe Distanzen nicht besonders hoch. Die Signalqualität leidet enorm, wenn sich viele andere sendende Geräte in der Nähe befinden, was auf einem Kartplatz zu erwarten ist. Auch in der Sicherheit punktet Bluetooth nicht sehr hoch. Zwar verschlüsselt Bluetooth seine Daten, fragt bei der Verbindungsanfrage jedoch kein Passwort ab. Der Schutz vor unbefugtem Zugriff muss in der Software passieren und wird nicht durch Bluetooth selbst realisiert. Dadurch ist der Sicherheitsstandard als gering einzustufen [6, S. 508]. Wodurch Bluetooth wieder punkten kann, sind die elektrischen Aspekte. Neben einem sehr kleinen Bauraum, da die Bluetooth Funktionen in den Mikrochip implementiert sind, überzeugt es durch einen sehr geringen Stromverbrauch von oftmals nur wenigen Milliampere. Zusätzlich steht auch Bluetooth LowEnergy zur Verfügung, wobei der Stromverbrauch nochmal minimiert wird [13, S. 28].

- **WLAN:**

WLAN ist der absolute Standard für Internetnutzung und Datenübertragung. Dadurch ist die Kompatibilität maximal. Jedes Mobile Endgerät besitzt WLAN-Funktionalität. Davon profitiert auch die Nutzerfreundlichkeit. Es ist sehr einfach, sich mit dem bestehenden Netzwerk zu verbinden und über jeden Webbrowser kann auch den vom Mikrocontroller gehosteten Server zugegriffen werden. Dadurch, dass jedes Gerät bereits WLAN unterstützt, bleibt auch der Entwicklungsaufwand gering. Zwar muss ein Webserver gehostet und der Zugriff, sowie die Webseiten verwaltet werden, allerdings wird das sehr vereinfacht durch viele Librarys, die die meisten Funktionen bereits zur Verfügung stellen [12, S. 326]. Auch Übertragungsrate und Reichweite sind mehr als ausreichend für den Einsatz im Kart geeignet. Reichweiten von 50m decken beinahe jeden Kartplatz ab und Datenraten von einigen Mbit/s sind mehr als ausreichend für die geringen Datenmengen der Livedaten und den Logdatendownload geeignet [10, S. 5]. Auch die Störsicherheit ist bei WLAN ausreichend gegeben. Zwar kann es zu Signalstörungen kommen, wenn viele Unterschiedliche Geräte in einem Bereich senden, allerdings ist die WLAN-Abdeckung an Kartplätzen erfahrungsgemäß gering, sodass sich dadurch keinerlei Probleme ergeben. Auch der Sicherheitsstandard eignet sich sehr gut für den Schutz vor unbefugtem Zugriff auf das Kart. Neben der Verwendung von Verschlüsselten Kommunikations-

protokollen auf dem Webserver, erfordert WLAN vor dem Verbindungsaufbau die Eingabe eines Passwortes. Dieses bietet einen ausreichend guten Schutz für den Einsatz im Kart [3, S. 173]. Zudem besteht die Möglichkeit die Datenübertragung selbst mit einem weit verbreiteten Standard zu verschlüsseln. Ebenso wie bei Bluetooth ist auch der Bauraum minimal, da WLAN bereits als Funktion im Paket des Mikrocontrollers enthalten ist und kein externes Modul erforderlich wird. Das hält auch die Kosten minimal. Lediglich der Energieverbrauch steigt bei Verwendung von WLAN deutlich an und befindet sich im Bereich von etwa 100mA [13, S. 28].

- LoRa:

Als drittes Konzept wird LoRa gegenüber den anderen Konzepten verglichen. LoRa ist ein System, welches normalerweise verwendet wird, um Sensordaten über große Distanzen zu übermitteln. Daher punkte LoRa im Vergleich mit den anderen Konzepten vor allem in der Reichweite, welche bis zu mehreren Kilometern betragen kann. Daher ist auch die Störsicherheit optimal, da LoRa speziell für Datenübertragung auch in dicht besiedelten Gebieten mit vielen Störquellen entwickelt wurde [14, S. 28]. Klare Nachteile bietet dieses Konzept jedoch in der Kompatibilität mit den Endgeräten und der Nutzerfreundlichkeit. Kaum ein mobiles Endgerät unterstützt LoRa. Es bedarf eines Dongles oder einer anderen Art der Empfangsstation, um mit Handy oder Laptop LoRa Daten zu empfangen. Zusätzlich braucht jedes Gerät ein Programm zur Auswertung und Darstellung der gesendeten Daten [14, S. 27]. Da LoRa zur Auswertung von Sensordaten entwickelt wurde, ist auch die Datenrate sehr geringgehalten und liegt nur bei einigen kBit/s. Da LoRa auch im IoT Bereich zum Einsatz kommt, wird es auf physikalischer Ebene verschlüsselt übertragen und bietet Datensicherheit. Für die Authentifizierung gibt es allerdings keinerlei Lösungen, das muss vollständig vom Server realisiert werden [14, S. 33]. Technisch benötigt die Verwendung von LoRa einen eigenen Chip oder Aufsteckmodul. Der Bauraum wird damit deutlich größer als bei den bereits in den Mikrocontroller integrierten Bluetooth und WLAN-Funktionen. Die Module sind jedoch nicht besonders groß, sodass sie auf den meisten Platinen problemlos Platz finden können [12, S. 270f]. Der Energieverbrauch steigt auch nicht signifikant an durch die Verwendung von LoRa. Der benötigte Strom liegt bei lediglich typischen 10 bis 30mA, wobei die Module in einen Low Power Modus übergehen, sobald sie nicht senden, welcher lediglich wenige Mikroampere benötigt. Durch die Verwendung eines eigenen Moduls steigt der Entwicklungsaufwand im Vergleich zu WLAN und Bluetooth deutlich an, da nicht nur Software entwickelt werden muss, sondern auch Layout und Schaltplanentwicklung betrieben werden muss. Zusätzlich trägt auch die Entwicklung einer Darstellungsoberfläche zum hohen Entwicklungsaufwand bei. Dafür bleiben die Module in der Anschaffung preisgünstig für nur wenige Euro.

- LTE:

Der Mobilfunkstandard eignet sich hervorragend, um große Datenmengen mit hoher Verschlüsselung über große Reichweiten an Mobile Endgeräte zu versenden [15, S. 206]. Es können Reichweiten von mehreren Kilometern erreicht werden, über die Daten sehr stabil übertragen werden können. Die Reichweite hängt dabei sehr stark von der Netzabdeckung ab. Durch die vor allem in Städten gute Abdeckung können meist gute Reichweiten erzielt werden. Auch die Störsicherheit ist bei hoher Abdeckung sehr gut, auch wenn es vor allem in ländlicheren Gebieten sehr oft noch Bereiche mit schlechtem Empfang gibt. Da die meisten Kartclubs in geringer Entfernung zu Städten oder größeren Ortschaften trainieren, sollten sich dadurch aber wenig Probleme ergeben. Durch die große Abdeckung ist es dabei auch über große Distanzen möglich hohe Datenraten von bis zu mehreren 100 Mbit/s erreicht [11, S. 3]. Die Kompatibilität mit Handys ist dabei sehr gut, da jedes Handy primär über Mobilfunk kommuniziert. Anders sieht es bei Laptops oder Tablets aus, welche deutlich seltener Mobilfunk unterstützen. Da das als Klare Anforderung definiert wurde, ist die Kompatibilität nur als mangelhaft zu bewerten. Die Nutzerfreundlichkeit ist dagegen gegeben. Ähnlich wie bei WLAN ist der Verbindungsaufbau sehr einfach und der Nutzer kann über den Browser auf den Webserver zugreifen [15, S. 234]. Das Handling bleibt dabei sehr einfach trotz eines sehr hohen Sicherheitsstandards. Die Daten werden stark verschlüsselt, bevor sie auf einen Server hochgeladen werden. Dieser Server übernimmt die Authentifizierung [15, S. 258]. Dadurch wird jedoch der Entwicklungsaufwand enorm. Neben der Entwicklung für Schaltplan und Layout der LTE-Module und dem Vorsehen einer Simkarte und der Software zum Senden der Daten und dem Verwalten der Verbindung, muss der Server zur Verfügung gestellt werden, über welchen der Nutzer auf die Daten zugreifen. Dadurch steigen auch die Kosten und der benötigte Bauraum enorm an. Neben den Zusätzlichen Modulen zur LTE-Kommunikation, welche meist nicht nur sehr groß, sondern auch teuer sind, muss für das Kart eine Simkarte vorgesehen werden, um die Daten an den Server zu senden. Diese benötigt nicht nur viel platz, sondern ist meist an einen Vertrag gekoppelt, was den Preis durch Laufende Kosten in die Höhe treibt. Auch der Energieverbrauch steigt deutlich an durch die Verwendung von LTE und liegt bei bis zu 500 mA.

Diese Gewichtung der Kriterien wie sie gerade erläutert wurde, ist in Abbildung 16 dargestellt und zeigt die Verwendung von WLAN als die geeignetste, um die Funktionalität der Datenübertragung zu liefern. Während LoRa als Übertragungsstandard für große Distanzen und wenige Daten ungeeignet ist, scheidet LTE vor allem durch die hohen Kosten und Aufwand, sowie die unnötige Komplexität aus. WLAN sticht gegenüber Bluetooth vor allem Nutzerfreundlichkeit, Reichweite und Entwicklungsaufwand hervor und kann auch bei der Kompatibilität mit den meisten Geräten überzeugen.

Nutzwertanalyse		Bluetooth		Wlan		LoRa		LTE	
Kriterien	Normiert	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Übertragungsrate	0.1222222	2	0.2444444	3	0.3666667	0	0	3	0.3666667
Kosten	0.0888889	3	0.3666667	3	0.3666667	2	0.2444444	0	0
Entwicklungsaufwand	0.0222222	1	0.1222222	2	0.2444444	1	0.1222222	0	0
Reichweite	0.0666667	1	0.1222222	2	0.2444444	3	0.3666667	3	0.3666667
Nutzerfreundlichkeit	0.1666667	1	0.1222222	3	0.3666667	0	0	3	0.3666667
Energieverbrauch	0.0444444	3	0.3666667	1	0.1222222	2	0.2444444	0	0
Störsicherheit	0.1222222	1	0.1222222	2	0.2444444	3	0.3666667	3	0.3666667
Bauraum	0	3	0.3666667	3	0.3666667	2	0.2444444	1	0.1222222
Kompatibilität	0.1666667	3	0.3666667	3	0.3666667	0	0	1	0.1222222
Sicherheit	0.2	1	0.1222222	2	0.2444444	0	0	3	0.3666667
		2.322222222		2.933333333		1.588888889		2.077777778	
		2		1		4		3	

Abbildung 16: Nutzwertanalyse zur Ermittlung des geeignetsten Konzepts für die Kabellosen Datenschnittstelle

Nach der Betrachtung der Konzepte für die Kabellose Datenübertragung soll es nun um die zweite Möglichkeit zur Darstellung von Daten gehen und eine Auswahl für ein Display getroffen werden. Für dieses gibt es 3 Konzepte, welche verglichen und gegeneinander abgewogen werden sollen.

Das erste Mögliche Display ist ein einfaches Monochromes Liquid Crystal Display (LCD). Bei diesem besteht das Display aus einem Raster aus Pixel mit einer definierten Auflösung, zum Beispiel 64x128 Pixel. Jeder dieser Pixel ist dabei einzeln steuerbar. Über diese Pixel können Buchstaben und Zahlen in Begrenzter Auflösung dargestellt werden. Alle Pixel dabei dieselbe Farbe definiert durch das Licht der Hintergrundbeleuchtung [16, S. 48]. Möglichkeiten zur Darstellung von Graphen gibt es nicht. Auch Eine Möglichkeit zu Bedienung als Touchdisplay ist bei dieser Art von Display nicht vorgesehen. Punkten kann diese Art von Display durch seine Einfache Technik und die günstige Beschaffung. Der Entwicklungsaufwand ist minimal, da es meist Librarys zur Darstellung gängiger Zeichen gibt. Auch die Ansteuerung unterstützt meist gängige Protokolle wie I²C oder SPI [16, S. 112]. Entsprechend der geringen Auflösung ist auch der Energieverbrauch sehr gering. Dasselbe gilt für den Bauraum, welcher sich meist auf die Größe des Displays beschränkt. Auch bewegt sich der Preis für diese Module im niedrigen Eurobereich.

Die nächste Stufe bilden OLED-Displays. Bei diesen besteht jeder Pixel aus einer eigenen organic light emitting diode (OLED). Im Gegensatz zu den LCD-Pixeln, welche nur Licht blockieren oder durchlassen, leuchtet hier die LED selbst. Dadurch können sehr viel höhere Kontraste als beim LCD dargestellt werden [17, S. 145]. Zudem ermöglicht OLED mehrfarbige Darstellungen. Durch die kleinen Dioden wird eine sehr hohe Auflösung erreicht, sodass einfache Graphen erzeugt werden können[17, S. 140f]. Zudem bringt dieses Verfahren Vorteile für den Energieverbrauch. So benötigen die LED nur Strom, solange sie auch leuchten und nicht dauerhaft, wie die LCDs aufgrund der

Hintergrundbeleuchtung [17, S. 138]. Diese Displays sind aber nur in sehr kleinen Größen erhältlich, was es schwierig macht, detailreiche Graphen zu erstellen. In der Anschaffung sind diese Displays teurer als die monochromen LCDs, da sie in ihrer Darstellung sehr viel fortgeschrittener sind. Der Entwicklungsaufwand unterscheidet sich kaum, da auch hier viele Librarys vorhanden sind, um Buchstaben, Zeichen und Formen darzustellen. Lediglich die Darstellung variabler Graphen erfordert etwas mehr Entwicklungsaufwand. Selten gibt es OLED-Displays mit Touchfunktion. Diese bieten eine einfache Bedienbarkeit, jedoch zulasten des Entwicklungsaufwands.

Die Fortgeschrittensten Displays sind TFT-LCDs. Diese sind eine Weiterentwicklung der klassischen LCDs. Jeder Pixel wird hier über einen Transistor angesteuert, dadurch lassen sich farbige Pixel bei sehr hoher Auflösung darstellen [16, S. 145]. Durch die Verfügbarkeit dieser Displays in sehr vielen verschiedenen Größen lassen sich sehr detailreiche Graphen darstellen. Durch die großen Möglichkeiten an Darstellungen ist der Entwicklungsaufwand für diese Displays meist höher, obwohl es hier ebenfalls fertige Librarys zur Steuerung und Darstellung von Formen und Zeichen gibt. Dazu kommt, dass diese Displays sehr oft als Touchdisplay verfügbar sind, was den Entwicklungsaufwand erhöht, da neben der Steuerung des Displays auch die Auswertung des Touch Controllers übernommen wird. Dadurch wird die Bedienbarkeit jedoch optimal für das Projekt möglich. All das trägt zu einem höheren Preis bei, weshalb diese Displays meist deutlich teurer sind als OLED-Displays oder LCDs. Im Gegensatz zu OLED-Displays haben diese auch einen deutlich höheren Stromverbrauch, da dauerhaft das Display über das Hintergrundlicht beleuchtet werden muss.

Nutzwertanalyse		Monochrome LCD Display		OLED Display		TFT-LCD Display	
Kriterien	Normiert	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Kosten	0.1428571	3	0.4285714	2	0.2857143	1	0.1428571
Entwicklungsaufwand	0	3	0	2	0	1	0
Bauraum	0.0952381	3	0.2857143	3	0.2857143	2	0.1904762
Energieverbrauch	0.047619	3	0.1428571	2	0.0952381	1	0.047619
Darstellung	0.2619048	0	0	2	0.5238095	3	0.7857143
Bedienbarkeit	0.2619048	0	0	2	0.5238095	3	0.7857143
Größe	0.1904762	3	0.5714286	1	0.1904762	3	0.5714286
		1.428571429		1.904761905		2.523809524	
		3		2		1	

Abbildung 17: Nutzwertanalyse zur Ermittlung des geeignetsten Konzepts für das Display

Die Betrachtung all dieser Bewertungen führt in Abbildung 17 zu dem Ergebnis, dass sich das TFT-LCD aufgrund seiner Verfügbarkeit als Touchdisplay und der Möglichkeit hochauflösende Farben und Graphen darzustellen als die geeignetste Lösung

herauskristallisiert. Das monochrome LCD rutscht vor allem Aufgrund der fehlenden Touchfunktion aus der Auswahl. Hierbei müssten die Eingabemöglichkeiten über Knöpfe realisiert werden, was den Verkabelungs- und Entwicklungsaufwand, sowie die Mechanische Komplexität unnötig erhöhen würde. Gegenüber dem OLED-Display sticht das TFT-LCD vor allem durch seine höhere Auflösung und detailreicheren Darstellungsmöglichkeiten hervor.

Für die Auswahl eines RFID-Readers werden zwei mögliche Konzepte betrachtet. Zum einen wird die aktuell Verwendete Lösung eines RFID-Readers mit Integrierter CAN-Schnittstelle betrachtet. Diese bietet, dadurch, dass sie bereits in Verwendung ist, die Optimalen Voraussetzungen für Kompatibilität und Verschlüsselung. Allerdings bleiben auch weiterhin die großen Probleme wie die teure Anschaffung bestehen. Auch der Stromverbrauch ist weiterhin recht hoch durch das Integrierte CAN-Interface [18]. Dieses trägt auch zum sehr niedrigen Entwicklungsaufwand bei. Die Option 1 muss nicht als Schnittstelle zwischen RFID-Reader und Steuergerät fungieren. Anders sieht es beim Aufsteckmodul aus. Dieses erhält die Daten über eine SPI-Schnittstelle, sodass die Daten der SPI-Schnittstelle ausgewertet werden müssen, um im korrekten Format als CAN-Nachricht an das Steuergerät gesendet zu werden. Das Aufsteckmodul überzeugt dabei vor allem durch die deutlich geringeren Kosten, welche fast 97% niedriger ausfallen [19]. Zudem fällt der Bauraum deutlich geringer aus, da das Modul in das Gehäuse integriert wird. Auch die Energieversorgung wird minimal, da das Modul keine integrierte Peripherie besitzt, welche dauerhaft Strom verbraucht. Allerdings bietet das Aufsteckmodul keinerlei Kompatibilität zum bisherigen System, da es weder die bisher verwendeten DesFire EV3 Karten auslesen kann noch den Sicherheitsstandard der bisherigen Karten erfüllen kann.

Nutzwertanalyse		RFID-Reader mit CAN-Interface		RFID-Aufsteckmodul	
Kriterien	Normiert	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Kosten	0.2	0	0	3	0.6
Entwicklungsaufwand	0	3	0	1	0
Kompatibilität	0.3	3	0.9	0	0
Energieverbrauch	0.1	1	0.1	3	0.3
Bauraum	0.1	1	0.1	3	0.3
Verschlüsselung	0.3	3	0.9	0	0
		2		1.2	
		1		2	

Abbildung 18: Nutzwertanalyse zur Ermittlung des geeignetsten Konzepts für den RFID-Reader

Aus diesen Gründen zeigt Abbildung 18 die bisherige Lösung als die beste, um auch weiterhin die geforderten Anforderungen zu erfüllen, trotz dem viel höheren Preis im Vergleich zur Alternative. Um zukünftig die Kosten senken zu können, wird eine Schnittstelle für einen via SPI Kommunizierenden RFID-Reader vorgesehen, um in Zukunft mit einem alternativen Modul, welches die Anforderungen erfüllen kann, auf eine günstigere Alternative umzusteigen.