

# Evaluation von Komponenten eines Fahrzeugprototypen mit digitalen Sonderausstattungen

## Praxisbericht

Studiengang Elektrotechnik

Studienrichtung Fahrzeugelektronik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Alexander Köhn

Abgabedatum:	1. September 2022
Bearbeitungszeitraum:	04.04.2022 - 31.08.2022
Matrikelnummer:	216 5691
Kurs:	TFE20-2
Ausbildungsfirma:	Mercedes Benz AG
Betreuer der Ausbildungsfirma:	M.Sc. Christian Bootz
Gutachter der Dualen Hochschule:	Prof. Dr.-Ing. Thomas Kibler

# Sperrvermerk

gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 25.07.2018:

Der Inhalt dieser Arbeit darf weder als Ganzes noch in Auszügen Personen außerhalb des Prüfungsprozesses und des Evaluationsverfahrens zugänglich gemacht werden, sofern keine anders lautende Genehmigung vom Dualen Partner vorliegt.

Stuttgart, den 1. September 2022

---

ALEXANDER KÖHN

# Erklärung

gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 25.07.2018.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Projektarbeit mit dem Thema:

*Evaluation von Komponenten eines Fahrzeugprototypen mit digitalen Sonderausstattungen*

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Stuttgart, den 1. September 2022

---

ALEXANDER KÖHN



# Kurzfassung

Die folgende Arbeit untersucht die Komponenten eines Fahrzeugprototypen anhand von definierten Kriterien, das für die Erzeugung einer künstlerischen Gesamtinszenierung des Fahrzeuges mit unterschiedlichen Bildschirmen, Videoprojektoren und Lichterzeugern ausgestattet ist. Die Untersuchungsergebnisse wurden durch eigenständige Recherche und mit Fachleuten für einzelne Gebiete ermittelt. Das Ziel der Untersuchung ist mit den Ergebnissen Konzepte für die Ansteuerung der Komponenten an bestehende Fahrzeugarchitekturen zu entwickeln und diese unterschiedlichen Konzepte bewerten. Das Konzept mit einer Anbindung der hoch auflösenden Elemente an Automotive Ethernet oder MOST und die Anbindung der weniger Datenintensiven Elemente an den CAN Bus wurde unter den Aspekten als das effektivsten bewertet.

# Abstract

The following work examines the components of a vehicle prototype based on defined criteria, which is equipped with different screens, video projectors and light generators to create an artistic overall staging of the vehicle. The test results were determined through independent research and interviews with experts for individual areas. The aim of the investigation is to use the results to develop concepts for controlling the components in existing vehicle architectures and to evaluate these different concepts.

The concept with a connection of the high-resolution elements to Automotive Ethernet or MOST and the connection of the less data-intensive elements to the CAN bus was rated as the most effective in terms of aspects.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Menschliche Wahrnehmung . . . . .	2
2.1.1	Visuelle Wahrnehmung . . . . .	3
2.1.2	Haptische Wahrnehmung . . . . .	4
2.1.3	Akustische Wahrnehmung . . . . .	5
2.1.4	Olfaktorische Wahrnehmung . . . . .	6
2.2	Technologien . . . . .	7
2.2.1	Lumineszenzdiode . . . . .	7
2.2.2	LED-Matrix . . . . .	8
2.2.3	Bildschirmtechnologien . . . . .	9
2.2.4	Videoprojektoren . . . . .	9
2.2.5	Elektronisches Papier . . . . .	10
2.3	Bordnetz . . . . .	11
2.3.1	Controller Area Network (CAN ) . . . . .	11
2.3.2	Local Interconnect Network (LIN) . . . . .	12
2.3.3	FlexRay . . . . .	12
2.3.4	Media Oriented Systems Transport (MOST ) . . . . .	13
2.3.5	Automotive Ethernet . . . . .	13
2.3.6	WLAN . . . . .	13
2.3.7	Bluetooth . . . . .	13
2.3.8	Vergleich der einzelnen Bussysteme . . . . .	13

<b>3</b>	<b>Fahrzeugprototyp</b>	<b>14</b>
3.1	Vision . . . . .	14
3.2	Gesamtkonzept . . . . .	14
3.3	Beschreibung . . . . .	16
3.4	Exterieur Komponenten . . . . .	16
3.4.1	E-Papier in der Frontschürze . . . . .	17
3.4.2	LED-Streifen in der Frontschürze . . . . .	17
3.4.3	E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen . . . . .	18
3.4.4	LED-Streifen in den Radkästen . . . . .	18
3.4.5	Videoprojektoren in den Außenspiegeln . . . . .	18
3.4.6	Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern . . . . .	19
3.4.7	LED-Streifen in der Heckleuchte . . . . .	19
3.4.8	E-Papier in der Heckleuchte . . . . .	20
3.5	Interieur Komponenten . . . . .	20
3.5.1	LED-Streifen im Interieur . . . . .	21
3.5.2	LED Türtafeln . . . . .	21
3.5.3	Bildschirme in der Einstiegsleiste . . . . .	21
3.5.4	Videoprojektoren im Fußraum . . . . .	22
3.5.5	Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole . . . . .	22
3.5.6	Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster . . . . .	22
3.5.7	LED-Matrix im Dachhimmel . . . . .	22
3.5.8	Duftflakons im Innenraum . . . . .	23
3.5.9	Bildschirmoberflächen im Cockpit . . . . .	23
3.5.10	Soundplayer im Innenraum . . . . .	23
3.6	Ansteuerung . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Analyse der Komponenten des Prototypen</b>	<b>25</b>
4.1	Kriterien für den Einbau der Komponenten in Serienfahrzeuge . . . . .	26
4.1.1	Rechtliche Kriterien . . . . .	26
4.1.2	Wirtschaftliche Kriterien . . . . .	27
4.1.3	Technische Kriterien . . . . .	28
4.2	Analyse der Exterieur Komponenten . . . . .	30
4.2.1	E-Papier in der Frontschürze . . . . .	30
4.2.2	LED-Streifen in der Frontschürze . . . . .	31



4.2.3	E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen . . . . .	32
4.2.4	LED-Streifen in den Radkästen . . . . .	32
4.2.5	Videoprojektoren in den Außenspiegeln . . . . .	33
4.2.6	Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern . . . . .	34
4.2.7	LED-Streifen in der Heckleuchte . . . . .	35
4.2.8	E-Papier in der Heckleuchte . . . . .	35
4.3	Analyse der Interieur Komponenten . . . . .	36
4.3.1	LED-Streifen im Interieur . . . . .	36
4.3.2	LED Türtafeln . . . . .	37
4.3.3	Bildschirme in der Einstiegsleiste . . . . .	37
4.3.4	Videoprojektoren im Fußraum . . . . .	38
4.3.5	Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole . . . . .	38
4.3.6	Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster . . . . .	39
4.3.7	LED-Matrix im Dachhimmel . . . . .	39
4.3.8	Duftflakons im Innenraum . . . . .	39
4.3.9	Bildschirmoberflächen im Cockpit . . . . .	40
4.3.10	Soundplayer im Innenraum . . . . .	40
4.3.11	Zusammenfassung Analyse . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Konzeptentwurf für eine informationstechnische Anbindung der Komponenten</b>	<b>45</b>
5.1	Einteilung der Komponenten . . . . .	45
5.2	Lösungsansätze unterschiedlicher Konzeptentwurf . . . . .	46
5.3	Vergleich der unterschiedlichen Lösungsansätze . . . . .	47
<b>6</b>	<b>Verifikation und Diskussion</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>49</b>
	<b>Literatur</b>	<b>50</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>51</b>
	<b>Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>52</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>54</b>

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>55</b>
<b>Anhang A</b>	<b>56</b>
A.1 Einheiten von Bit und Byte . . . . .	56
A.2 Einheiten . . . . .	56
A.3 Weitere Details, welche im Hauptteil den Lesefluss behindern . . . . .	56
<b>Anhang B</b>	<b>58</b>
B.1 Versuchsanordnung . . . . .	58
B.2 Liste der verwendeten Messgeräte . . . . .	58
B.3 Übersicht der Messergebnisse . . . . .	58
B.4 Schaltplan und Bild der Prototypenplatine . . . . .	58
<b>Anhang C</b>	<b>60</b>
C.1 Struktogramm des Programmentwurfs . . . . .	60
C.2 Wichtige Teile des Quellcodes . . . . .	60
<b>Anhang D</b>	<b>61</b>
D.1 Einbinden von PDF-Seiten aus anderen Dokumenten . . . . .	61

# 1 Einleitung

Das Ziel dieser Arbeit ist, basierend auf einer Analyse von technischen Komponenten eines Fahrzeugprototypen, unter unterschiedlichen Kriterien Anforderungen zu stellen, welche Entwicklungen an den definierten Komponenten und Fahrzeugen für eine Serienreife benötigt werden. Serienreife bedeutet in dieser Arbeit, dass die nötigen Bedingungen für eine Vorentwicklung und Serienentwicklung erfüllt sind.

Mit Hilfe dieser Arbeit wird eine Diskussionsgrundlage für die weitere Verwendung der Technologien und Komponenten des Prototypen geschaffen, um das Gesamtkonzept des Prototypen in die Fahrzeugserienentwicklung zu integrieren.

Der Prototyp ist ein Forschungsfahrzeug, das durch eingebaute Komponenten im Interieur und Exterieur sein Erscheinungsbild für Beobachter und Beobachterinnen dynamisch verändern kann. Dynamisch bedeutet in diesem Fall, dass das Fahrzeug erstens dynamische visuelle und akustische Effekte besitzt und zweitens diese Effekte auf andere Erscheinungsbilder umschaltbar sind. Die Arbeit ist wie folgt gegliedert:

Zuerst werden im Kapitel 2 Grundlagen zu den wichtigsten in dieser Arbeit behandelten Technologien vermittelt, um auf Diesen den Fahrzeugprototyp mit seinen Komponenten im Kapitel 3 näher beschreiben zu können. Daneben wird in diesem Kapitel noch näher auf die Vision und das Grundkonzept des Prototypen eingegangen, um den Sinn der Komponenten zu erklären.

Aufbauend auf den Erläuterungen zu den einzelnen Komponenten des Fahrzeuges werden diese im Kapitel 4 durch zuerst definierte Kriterien überprüft, um mit dieser Analyse anschließend Anforderungen an die weitere Entwicklung der Komponenten und an das Fahrzeug im Kapitel 5 zu stellen.

Im Kapitel 6 werden diese Anforderungen unter dem gesamten Leitbild betrachtet und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Szenarien vorgestellt. Abschließend wird im Kapitel 7 die Arbeit auf die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst.

## 2 Grundlagen

Im folgenden werden für diese Arbeit notwendige Grundlagen zu unterschiedlichen Technologien und Wissensbereiche erarbeitet. Zuerst wird die menschliche Wahrnehmung erläutert, da diese die Grundlage für eine Evaluierung von Komponenten bietet, wenn diese Komponenten die Sinne des Nutzers ansprechen sollen. Anschließend werden die Technologien der Komponenten des Prototypen vorgestellt, um einen Einblick auf die Funktionsweise und wichtigen Kriterien zur Bewertung der Technologien und Techniken zu liefern.

### 2.1 Menschliche Wahrnehmung

Menschliche Wahrnehmung ist die „Tätigkeit oder Vorgang der Informationsaufnahme durch unsere Sinne“ [BSS17, Seite 12]. Dieser Prozess beschränkt sich dabei nicht nur auf die Aufnahme von Informationen, sondern auch auf die Auswahl und Bewertung der Informationsdaten nach Relevanz. Die Aufnahme der Informationen geschieht über Sinnesorgane, die die Informationen über unterschiedliche Techniken in Reize wandeln. Die Auswahl und Bewertung erfolgt hauptsächlich im zentralen Nervensystem und dem Gehirn. [BSS17, Vgl. Seite 12]

Mit 70 % der wahrgenommenen Umweltreize ist das Auge, das bedeutendste Sinnesorgan des Menschen vor der Haut, Nase, Ohr oder Zunge. Unsere Wahrnehmung ist dabei immer eine Interpretation der erhaltenen Sinnesreize aller Sinnesorgane. Unsere visuelle Wahrnehmung ist daher nicht nur durch die Augen bestimmt, sondern auch durch die Ohren, der Nase, der Zunge und der Haut. Daneben spielen unsere Erfahrungen und

emotionale Lage einen Einfluss auf die Wahrnehmung. [BSS17, Vgl. Seite 13 f.] Das bedeutet, dass die Wahrnehmung ganzheitlich betrachtet werden muss, da die einzelnen Wahrnehmungsarten miteinander in Wechselwirkung stehen.

Mit Medien können visuelle, auditive, haptische, motorische und olfaktorische Sinneskanäle angesprochen werden. Das Ziel der Medien ist dabei die Aufmerksamkeit des Menschen auf das Objekt zu richten und den erwünschten Einfluss auf den Menschen zu schaffen. Visuelle Inhalte können Schriften, Grafiken, Animationen oder Farben sein. Auditive sind Musik oder Geräusche. Haptische Inhalte sind fühlbare Strukturen und Oberflächen, während motorische Inhalte bewegliche Teile sind. Olfaktorische Reize sind Düfte und Gerüche. [BSS17, Vgl. Seite 3]

In den nächsten Unterkapiteln werden die unterschiedlichen menschlichen Wahrnehmungsarten vertieft erläutert, wobei der Fokus auf die visuelle Wahrnehmung gerichtet ist, da dort der Schwerpunkt der späteren Arbeit liegt. Zu allen Wahrnehmungen wird auf der Physiologie der Sinne eingegangen und für diese Arbeit relevante Details.

### 2.1.1 Visuelle Wahrnehmung

Die visuelle Wahrnehmung basiert hauptsächlich auf den Sinneseindrücken durch unser Auge, das lichtempfindliche Zellen besitzt und daneben wie oben erwähnt, auch aus dem Zusammenspiel der anderen Sinnesorgane.

Die Zellen werden dabei zwischen Stäbchen und Zapfen unterschieden. Die Mehrzahl an Zellen bilden die spektral unempfindlichen Stäbchen, mit ca. 120 Millionen pro Auge, während nur eine geringe Anzahl von 7 Millionen pro Auge farbempfindliche Zapfen sind. Durch den Unterschied in der Anzahl ist das Sehen bei Dunkelheit eher schwarz-weiß, da die Anzahl der Zapfen nicht ausreicht, um genügend Licht zu erhalten und ein Farbbild zu erzeugen. Dabei ist ein Zapfen immer nur für eine der drei Lichtfrequenzbereiche rot (langwellig), grün (mittelwellig) oder blau (kurzwellig) lichtempfindlich. Die Farben in der menschlichen Wahrnehmung sind daher ein Ergebnis der Signalverarbeitung der drei unterschiedlichen Zapfenarten. [BSS17, Vgl. Seite 14]

Menschen können dabei nicht von ihrem Standpunkt aus den gesamten Raum betrachten, sondern durch biologischen Gegebenheiten immer nur ein Feld, das in der Horizontalen ca.  $180^\circ$  abdeckt und in der Vertikalen  $120^\circ$ . Von diesem Blickfeld sind nur ca.  $1,5^\circ$  in

beiden Dimensionen als scharfes Bild abgedeckt. Durch Bewegungen des Auges und des Kopfes werden verschiedene scharfe Bereiche abgedeckt, die unser Gehirn zusammenfügt, um ein ganzheitliches scharfes Blickbild zu erzeugen. [BSS17, Vgl. Seite 14]

### 2.1.2 Haptische Wahrnehmung

Die haptische Wahrnehmung ist ein Teilbereich der Somatosensorik. Die Sinneszellen der Somatosensorik werden in drei Bereiche eingeteilt:

- Exterozeption, Wahrnehmung der Außenwelt
- Propriozeption, Wahrnehmung der Stellung der Gliedmaßen
- Interozeption, Wahrnehmung des inneren Körpers

Die somatosensorische Wahrnehmung verbindet diese drei Arten, die zum Teil bewusst oder unbewusst vom Körper aufgenommen werden. Besonders relevant für diese Arbeit im Bereich der haptischen Wahrnehmung ist die Exterozeption beziehungsweise die Oberflächensensibilität. [Spr20, Vgl. Seite 26]

Die haptische Wahrnehmung erfolgt durch Rezeptoren in der Haut, die die Form, Oberfläche und Position von Objekten registrieren. Die Rezeptoren können unterschieden werden in

- Thermorezeptoren für relative Temperaturunterschiede zur Körperbefindlichkeit,
- Chemorezeptoren für Stoffe,
- Nozirezeptoren für starke Temperaturunterschiede oder Drücke bis zur Gewebeschädigung und
- Mechanorezeptoren für Empfindung von Oberflächen und Druck.

Die Mechanorezeptoren können wiederum in unterschiedliche Arten eingeteilt werden, die auf Druck, Berührung oder Vibration reagieren. [Spr20, Vgl. Seite 26 f.]

Die Verteilung der unterschiedlichen Rezeptoren ist im Körper ungleichmäßig. In der Handinnenflächen gibt es zum Beispiel Areale mit unterschiedlicher Empfindsamkeit „auf Druckintensität, Geschwindigkeit einer Veränderung an der Haut oder einer Vibration.“ [Spr20, Seite 29]

Die Empfindungsschwelle gibt Auskunft darüber, wie stark eine Hautstelle gedrückt werden muss, damit eine Berührung wahrgenommen wird. Durch das Berühren der Haut mit zwei Tastpunkten in bestimmter Entfernung kann das räumliche Auflösungsvermögen bestimmt werden. [Spr20, Vgl. Seite 28]

Die Wahrnehmung von Oberflächen geschieht über alle Sinneseindrücke. Zuerst werden die Hauptmerkmale Oberflächenstruktur, wie glatt oder rau, wahrgenommen und die Größe des Objektes durch die visuelle Wahrnehmung erfasst und im zweiten Schritt die gefühlte Temperatur. [Spr20, Vgl. Seite 33]

„Die Verknüpfung der haptischen Wahrnehmung mit projizierten Simulationen zeigt letztendlich den Wunsch nach Kombinationen zu multisensuellen Interfaces, die allerdings nicht mehr die audiovisuelle Wahrnehmung als strikt dominant betrachten und die haptische Wahrnehmung ausschließlich als unterstützenden Sinn zur verbesserten Immersion heranziehen. Über die Haptik sollen direkt und unabhängig von anderen Sinnen Informationen gegeben wie auch erfahren werden, die in Kombination mit den anderen Sinnen kräftigere Informationsträger sind und somit auch als multisensuelle Kombinationen erforscht werden.“ [Spr20, Seite 263]

### 2.1.3 Akustische Wahrnehmung

Der Mensch ist in der Lage mit den Ohren Schallwellen zwischen 20 Hertz und 20 Kilohertz zu hören. Schallwellen sind Druckwellen eines Mediums wie Luft oder Wasser in longitudinaler Richtung. Das bedeutet, die Druckamplitudenrichtung ist parallel zur Ausbreitungsrichtung. [Sch13, Vgl. Seite 217]

„Über den äußeren Gehörgang gelangt die Schallwelle zum Trommelfell. Die Schwingungen des Trommelfells werden über die Kette der drei Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss, Steigbügel) an das ovale Fenster übertragen, dessen Membran die mit Flüssigkeit

gefüllte Schnecke (Cochlea) abschließt. Die Cochlea ist ein schneckenförmiger Kanal, der in das überaus harte Felsenbein eingebettet ist und die Basilarmembran enthält. Schall-schwingungen erregen eine längs dieser Membran entlang fortschreitende Welle. Durch diese Auslenkung der Basilarmembran werden die Haarzellen angesprochen, die in einem geometrischen Muster längs der Basilarmembran angeordnet sind und das Muster der Anregung an das Gehirn übertragen. “ [Ber19, Seite 71f.]

### 2.1.4 Olfaktorische Wahrnehmung

Unser Körper ist in der Lage Gerüche schon bei sehr geringen Konzentrationen zu unterscheiden und Unterschiedlichkeiten wahrzunehmen. In der menschlichen Nase befinden sich Riechzellen in der Riechschleimhaut, die durch chemische Reize in den Rezeptoren spezifische Entladungsmuster an evolutionär ältere Gehirnareale und das limbische System senden. Das limbische System ist maßgeblich für die Emotionen des Menschen verantwortlich. [Sch13, Vgl. Seite 102]

Gerüche werden oft nach dem Stoff benannt mit dem sie assoziiert werden, zum Beispiel ein blumiger Geruch bei Gerüchen, die dem Geruch von Blumen ähneln. Diese Klassifikation bei Gerüchen ist dabei nicht eindeutig, da die Zuordnung von Gerüchen mit Objekten Überschneidungen mit anderen Gerüchen haben können. Eine bessere Differenzierung von Gerüchen in Kategorien ist die Bewertung von Gerüchen nach angenehm und unangenehm. Da die olfaktorische Wahrnehmung und Gefühle eng miteinander verbunden sind. Angenehme Gerüche verursachen eine positive Stimmung und eine anziehende Gestik. [Sch13, Vgl. Seite 105f]

„Konzepte zur Beduftung der Innenräume von Automobilen werden u.a. unter dem Aspekt des allgemeinen Erregungszustandes des Fahrers vertreten. Gemeinsam mit Beleuchtung und Beschallung sollen Düfte den Menschen am Steuer etwa stimulieren oder beruhigen.“ [Sch13, Seite 122f]

„Beduftung mag als verlockende Strategie emotional wirksamer Gestaltung erscheinen, ist jedoch nicht nur aus ethischen Gründen, sondern in Rücksicht auf das Wohlbefinden unfreiwillig Betroffener problematisch. [...] Schließlich ist daran zu erinnern, dass wegen der innigen Verbindung von Gefühl und Geruch Momente der visuellen, akustischen und taktil-haptischen Gestaltung indirekt auch auf das Riechen wirken.“ [Sch13, Seite 123]



## 2.2 Technologien

In den folgenden Unterbereichen werden jeweils die einzelnen Technologien, die in dieser Arbeit behandelt werden, auf Funktionsweise, Beschaffenheit und Aufbau vorgestellt. Daneben werden die wichtigsten Kenngrößen zur Beurteilung der Technologien erläutert.

### 2.2.1 Lumineszenzdiode

Lumineszenzdioden (LED) sind lichtemittierende Dioden, die Strahlen im sichtbaren oder infraroten Spektralbereich erzeugen. Dioden sind die einfachste Form von elektronischen Bauteilen und bestehen aus dotierten Halbleitermaterial mit einer pn-Schicht. Das Halbleiter-Grundmaterial bestimmt den abgestrahlten Spektralbereich des Lichtes. Liegt eine Spannung in Durchlassrichtung der Dioden an, strahlt diese in ihrem Frequenzbereich Photonen ab. [LNS20, Vgl. Seite 193 f.]

Ein einfaches Beispiel soll den Zusammenhang zwischen Material und Farbe des emittierten Lichts verdeutlichen. Für die Energie von Photonen gilt nach der Einstein'schen Gleichung:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2.1)$$

Die Energie eines Photons ist das Produkt des Plank'schen Wirkungsquantums  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  durch die Wellenlänge  $\lambda$  des Photons. Durch Umstellung folgt die Wellenlänge des Photons:

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{E} \quad (2.2)$$

Galliumphosphid hat zum Beispiel eine Bandlücke von 2,25 eV, wodurch Licht mit der Wellenlänge von

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,25 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 551 \text{ nm} \quad (2.3)$$

im blau-grünen Spektrum emittiert wird. Die meisten LEDs sind SMD-Bauteile (Surface-mounted device) und sitzen in einem Kunststoff-, Keramik- oder Epoxidharzgehäuse. Um eine Hintergrundbeleuchtung mit Hilfe von LEDs zu erzeugen kann ein Leuchtkörper mit einer Vielzahl an LEDs hinter einer Streulichtscheibe verbaut werden, wodurch ein gleichmäßiges Licht entsteht. [LNS20, Vgl. Seite 194]

Zum Erzeugen von weißem Licht strahlen drei verschiedene LEDs mit den Farben rot, grün und blau gleich hell und erst im Auge entsteht durch die Kombination ein weißes Licht. Da hier aber drei LEDs genutzt werden, ist diese Variante teurer. Der Vorteil ist, dass bei variabler Einstellung der Helligkeit der einzelnen Dioden unterschiedliche Farben für den Betrachter angezeigt werden können.

Günstiger sind Weißlicht-LEDs (WLED), bei denen in der Produktion auf Basis von blauen LEDs noch ein fluoreszierender Konverterstoff beigemischt wird. Dieser Stoff wird durch das blaue Licht angeregt und strahlt einen breiten Spektralbereich wieder aus, wodurch ein weißes Licht aus Primär- und Sekundärlicht entsteht. Bei WLEDs ist die Farbe nicht variabel. [LNS20, Vgl. Seite 194]

Organische LED (OLED) besitzen einen veränderten Schichtaufbau, bei dem zwischen p- und n-Schicht eine organische Schicht aufgebracht ist. OLEDs sind dünner als normale LEDs und dadurch leichter und flexibel, wodurch sich neue Einsatzbereiche ergeben. Daneben besitzen sie eine hohe Helligkeit bei starkem Kontrast. [LNS20, Vgl. Seite 195]

### 2.2.2 LED-Matrix

Eine LED-Matrix ist eine bestimmte Anordnung von LEDs in zwei orthogonalen Richtungen auf einer Ebene. Somit entsteht ein zwei dimensionales Bild.

Die Pixeldichte beschreibt, wie viele einzelne LEDs auf einer bestimmten Fläche sind. Häufig wird die Größe „pixels per inch“ (ppi) herangezogen. Je näher der Betrachter an der Anzeigefläche steht, desto höher muss die Pixeldichte sein, damit der Betrachter einzelne Pixel nicht erkennt.

### 2.2.3 Bildschirmtechnologien

Unter den Bildschirmtechnologien werden folgend zwei unterschiedliche Realisierungen vorgestellt. Die erste Technologie sind aktive OLED-Displays und die Zweite passive Flüssigkristallanzeigen (LCD).

Durch die schnellen Entwicklungen bei Bildschirmtechnologien ist es nicht möglich, alle unterschiedlichen Techniken vorzustellen. Die folgenden Absätze sollen ein Grundverständnis für die möglichen Funktionsweisen liefern.

Aktiv bedeutet in diesem Fall, dass die Pixel das Licht selbst erzeugen, während passive Displays auf ein Hintergrundlicht angewiesen sind, da sie nur Licht abdunkeln oder durchlassen können.

„OLED-Displays bestehen aus einem zweidimensionalen Array weißes Licht abstrahlender OLEDs, denen Farbfilter (RGB) vorgelagert sind.“[LNS20, Seite 347] Eine weitere Möglichkeit wären OLEDs mit unterschiedlichen Grundfarben (rot, grün und blau), die zusammen ein Pixel erzeugen.

Flüssigkristallanzeigen besitzen einen mehrschichtigen Aufbau. Die Zentrale Schicht ist eine Flüssigkristallschicht, die bei Anlegen einer Spannung an den Elektroden schichten der Flüssigkristalle ausrichtet und die Polarisierung des einfallenden Lichtes in eine bestimmte Richtung lenkt, sodass das Licht bei einem nach geführten Polarisationsfilter entweder absorbiert oder transmittiert wird. [LNS20, Vgl. Seite 346 f.] Je nach Ausführung kann das Licht bei angelegter Spannung oder spannungslos transmittieren. Die Richtung und Technik der Beleuchtung der LCD variiert je nach Technik.

### 2.2.4 Videoprojektoren

Videoprojektoren können auf Basis unterschiedlicher Technologien für die Situation angepasst eingesetzt werden. Unterschiedliche Arten von Projektoren sind zum Beispiel LCD-, DLP- (Digital Light Processing), LED-, LCoS- und Laser-Projektoren.

Zur Unterscheidung von Projektionsverfahren können diese wieder in aktive und passive Systeme eingeteilt werden. Heutzutage werden vorwiegend passive Systeme, sogenannte Lichtventilprojektoren, eingesetzt. [Sch21, Vgl. Seite 551]

Für die Auswahl des richtigen Projektors ist die Einsatzumgebung von Bedeutung. Je

nach Helligkeit des Raumes ist die Helligkeit und der Kontrast unterschiedlich auszuwählen. Bei hoher Umgebungshelligkeit ist ein Projektor mit hoher Helligkeit vorzuziehen. Dabei ist ein niedrigerer Kontrast durch die Aufhellung der dunklen Bildbereiche durch das Umgebungslicht nicht negativ. [Sch21, Vgl. Seite 562]

### 2.2.5 Elektronisches Papier

Als Elektronisches Papier (E-Papier) bezeichnet man Bildschirme deren visuelle Anmutung Papier entspricht. Häufig sind diese Displays passiv, also reflektieren nur Licht und erzeugen keines. Bei manchen E-Papieren ist seitlich eine Hintergrundbeleuchtung, die über eine Folie das Display beleuchtet. Im folgenden wird die häufig verwendete Technologie der Elektrophorese für die Displays erläutert.

„Elektronisches Papier lässt sich vereinfacht als dünne, flexible Folie beschreiben, in der in Flüssigkeit eingelagerte, elektrisch geladene Partikel (als elektronische Tinte bezeichnet) ein schwarz-weißes oder allgemein zweifarbiges Bild ergeben. Dies wird ermöglicht, indem über Elektroden elektrische Felder auf die Partikel wirken, die sich entsprechend der Ladung des angelegten Feldes ausrichten.“ [SK02, Seite 568]

Pro Pixel eines Bildes wird eine Mikrokapsel genutzt in der sich mehrere positiv geladene weiße Partikel und negativ geladene schwarze Partikel befinden. Auf beiden Seiten der Folie befinden sich Elektroden, wovon eine auf der Betrachtungsseite transparent ist. Wird auf der transparenten Elektrode eine negative Spannung und auf der inneren Elektrode eine positive, richten sich die Mikrokapseln dementsprechend aus, dass die positiven Partikel nach außen zeigen. Das Bild ist dementsprechend weiß. [SK02, Vgl. Seite 567 f.]

E-Papier benötigt nur beim ändern der Polarität der Pixel elektrische Energie, wodurch der Strombedarf bei seltene Bildschirmänderungen gering ist. Vorteile gegenüber LCD-Displays sind die niedrigeren Herstellungskosten, geringeres Gewicht und die bessere Lesbarkeit. [SK02, Vgl. Seite 569] Da bei E-Papieren vorwiegend Bilder dargestellt werden, soll im folgenden die Berechnung der Dateigröße eines Bildes für ein mögliches E-Papier erläutert werden. Als Beispiel dient ein Schwarz-Weiß E-Papier mit einer Farbtiefe von 16 Stufen. Die Farbtiefe  $FT$  beträgt bei 16 Stufen zwar nur 5 Bit, um aber auf gängige Datengrößen zu kommen, sollte für die Berechnung 8 Bit pro Pixel und damit

1 Byte angenommen werden. Das Dateiformat JPEG nutzt 8 Bit Pro Farbkanal. Die Pixelanzahl pro Zeile  $P$  beträgt 1920 Pixel und Zeilenanzahl  $Z$  1080 Pixel. Der Komprimierungsfaktor  $KF$  ist eine Zahl, die angibt wie stark die reine Datenmenge des Bildes noch durch digitale Komprimierungsverfahren reduziert werden kann. Wir benutzen hier einen Komprimierungsfaktor von 12. [BSS18, Vgl. Seite 22]

$$\text{Datenmenge} = \frac{P \times PZ \times FT}{KF} \quad (2.4)$$

$$= \frac{1920 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1080 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{12} \quad (2.5)$$

$$= 1382400 \text{ Bit} = 1,3824 \text{ MBit} = 172,8 \text{ KByte} \quad (2.6)$$

## 2.3 Bordnetz

Moderne Fahrzeuge besitzen an allen Stellen des Fahrzeuges Steuergeräte. Zur Kommunikation zwischen den Steuergeräten werden Bussysteme genutzt, um die Informationen auszutauschen. Im folgenden werden die gängigen Bussysteme in der Fahrzeugtechnik vorgestellt. Zuerst werden die draht-gebundenen und danach die drahtlosen Techniken vorgestellt. Im Anschluss erfolgt ein Vergleich zwischen den Merkmalen der einzelnen Bussysteme.

### 2.3.1 Controller Area Network (CAN )

CAN wird zum Austausch von Mess-, Steuer- und Regelsignalen genutzt. Er ist ein bitstrom-orientiertes System. Er basiert auf Differenzsignalübertragung und benutzt dazu verdrehte Leiterpaare. Der High-Speed CAN besitzt Bitrate von  $250 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$  bis zu  $1 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$ . Der Low-Speed CAN besitzt Bitraten kleiner als  $125 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$ . Der CAN verfügt über Fehlererkennung und Sicherungssysteme. Das Senden von Nachrichten erfolgt über eine Priorisierung der Nachrichten. [ZS14, Vgl. Seite 57 ff.]

**Performance** Je nach Ausschöpfung der Nutzdatenmenge pro Botschaft liegt die maximale Übertragungsgeschwindigkeit zwischen  $7,7 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$  bei einem Byte Nutzdaten pro Botschaft und  $29,6 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$  bei acht Byte Nutzdaten. Die Latenz einer Botschaft ist nicht deterministisch bestimmbar und ist abhängig von der aktuellen Buslast und der Priorität der Botschaft. Die Übertragungsdauer einer Botschaft mit maximaler Nutzdatenmenge bei  $500 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$  Bittakt liegt bei  $270 \mu\text{s}$ . Durch den Einsatz von der weiterentwickelten CAN-Version CAN FD (CAN with Flexible Data Rate) kann die Übertragungsgeschwindigkeit durch größere Nutzdatenmengen und höherer Bittakte auf bis zu  $260 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$  gesteigert werden. [ZS14, Vgl. Seite 76 ff.]

### 2.3.2 Local Interconnect Network (LIN)

Der LIN soll mit einem einfacheren Aufbau eine kostengünstige Alternative zum CAN für Low Speed Sensor Aktor Anwendungen bieten. LIN ist ein Master-Slave gesteuertes Netzwerk, worin der Master die gesamte Kommunikation steuert. Die Bitrate beträgt üblicherweise  $19,2 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$  [ZS14, Vgl. Seite 79 ff.]

**Performance** Für Botschaften mit acht Byte Nutzdaten werden Sendezeitraster von 10 ms benötigt. [ZS14, Vgl. Seite 94 f.]

### 2.3.3 FlexRay

Mit dem Hintergrund, dass bei bei CAN keine deterministischen Aussagen zur Latenz getroffen werden können, wurde der FlexRay zum Austausch zeitkritischer Mess-, Steuer- und Regelsignalen mit hoher Fehlersicherheit. Die Bitraten beim FlexRay betragen zwischen  $2,5 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$  und  $10 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$ . [ZS14, Vgl. Seite 96 ff.]

### 2.3.4 Media Oriented Systems Transport (MOST )

MOST ist für Telematik- und Multimedia- Anwendungen mit hohen Übertragungsbandbreiten konzipiert worden. Die Bitraten betragen in unterschiedlichen Stufen 25, 50 und 150  $\frac{\text{MBit}}{\text{s}}$ .

**Performance** Nutzdatenrate bei MOST25 bei  $2,6 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$ , MOST50  $5,6 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$  und MOST150 bei  $17,8 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$ .

[ZS14, Vgl. Seite 119 ff.]

### 2.3.5 Automotive Ethernet

Paar ungeschirmt verdrehte Drahtleitungen. Bis zu 1500 Byte Nutzdaten pro Frame möglich [ZS14, Vgl. Seite 138 ff.]

### 2.3.6 WLAN

### 2.3.7 Bluetooth

### 2.3.8 Vergleich der einzelnen Bussysteme

## 3 Fahrzeugprototyp

### 3.1 Vision

Das Gesamtkonzept für den Fahrzeugprototypen basiert auf der Vision eines „Fahrzeuges als Leinwand“ (englisch: „Car as a canvas“). Das Zielbild dieser Vision ist ein Fahrzeug, das auf vollständige Weise seine Wahrnehmung auf den Menschen verändern kann. Besonders die visuelle Wahrnehmung ist hier im Vordergrund der Vision, wobei die anderen Wahrnehmungsarten die visuelle Wahrnehmung unterstützen sollen.

Unter der übergeordneten Vision, das Fahrzeug als Leinwand zu betrachten, bildet das Gesamtkonzept des Prototypen einen möglichen ersten Schritt in Richtung der Vision.

### 3.2 Gesamtkonzept

Das Gesamtkonzept beruht im Kern auf digitaler Kunst im Fahrzeug. Kunden können unterschiedliche digitale Kunstinhalte, sogenannte Kollektionen, erwerben und diese Kollektionen in ihrem Fahrzeug aktivieren. Die Kollektionen bestehen aus mehreren inhaltlichen Bestandteilen, welche auf neuartigen und bestehenden Fahrzeugkomponenten im Fahrzeug dargestellt werden. Die Darstellung der Inhalte der Kollektionen kann entweder durchgehend sein oder nur durch bestimmte Trigger, wie zum Beispiel das Entriegeln der Türen, ausgelöst werden.

Neben optischen Komponenten unterstützen haptische, olfaktorische und akustische Komponenten die Kollektionen. Dazu bilden Augmented Reality (AR) Anwendungen



weitere Darstellungen der Kollektionen mit Hilfe einer eigenen App auf einem Mobiltelefon.

Die App ist für den Besitzer das zentrale Steuersystem, in der unterschiedliche Aktionen auf den einzelnen Seiten verfügbar sind:

- Kollektionen können auf digitalen Börsen gehandelt werden.
- Gekaufte Kollektionen können im Fahrzeug aktiviert werden oder durch AR auf dem Mobiltelefon gezeigt werden.
- Zusätzliche AR Inhalte zu den Kollektionen können auf dem Mobiltelefon gezeigt werden.
- Einzelne Komponenten der aktivierten Kollektion können deaktiviert werden.
- Über ein eigenes Profil kann mit anderen Besitzern von Kollektionen Bilder durch ein soziales Netzwerk ausgetauscht werden.

Im Gegensatz zu bisherigen Individualisierungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel Ambientebeleuchtung oder LED-Scheinwerfer, können die Kollektionen in diesem Gesamtkonzept zum einen dynamisch ihre Inhalte verändern und zum anderen das gesamte Erscheinungsbild des Fahrzeuges ganzheitlich verändern.

Für das Gesamtkonzept wurden vier Kollektionen erstellt, die daneben pro Kollektion bis zu fünf unterschiedliche Inhalte pro Komponente besitzen. In der folgenden Arbeit soll bei Berechnungen davon ausgegangen werden, dass ein Betrachter zehn Kollektionen besitzt.

Daneben bietet das Gesamtkonzept ein Ökosystem für den Handel und die Interaktion für Kollektionen als digitale Wertgegenstände, was im folgenden nicht näher beleuchtet wird.

### 3.3 Beschreibung

Der Prototyp wurde unter den Leitlinien des Gesamtkonzeptes entwickelt. Aufbauend auf einem produzierten elektrischen Serienfahrzeug wurden im Exterieur und Interieur Teile ergänzt und teilweise mit anderen Komponenten ausgetauscht, die das Gesamtkonzept des Prototypen umsetzen. Die Serienfunktionen wurden zum größten Teil durch die Umbauten nicht beeinträchtigt.

Durch Zeit- und Budgetknappheit besitzt das Fahrzeug nicht alle Ideen des Gesamtkonzeptes. Bei den Hardware-Komponenten gibt es keine mit olfaktorischen Sinneseindrücken. Die App besitzt alle oben beschriebenen Funktionen zumindest als Schaubilder, aber hat nur die Auswahl und Steuerung der Kollektionen und AR Inhalte als Funktionen implementiert.

### 3.4 Exterieur Komponenten

Das Fahrzeug hat sowohl im Exterieur als auch im Interieur Komponenten verbaut. Zuerst werden die Komponenten im Exterieur und dann im Interieur vorgestellt. Die Komponenten wurden nach der verwendeten Technik und dem Ort benannt und nicht nach den Markennamen. Die Einteilung erfolgt nach der Betrachtungsweise innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs der Komponenten. Exterieur Komponenten werden von Beobachtern außerhalb des Fahrzeugs betrachtet. Interieur Komponenten entsprechend von innen.

Im Exterieur sind dies:

- ein E-Papier und ein durchgehendes LED-Streifen in der Frontschürze
- E-Papier Embleme über den beiden vorderen Radkästen
- LED-Streifen in allen vier Radkästen
- Videoprojektoren in den beiden Außenspiegel

- nach außen gerichtete Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern
- ein LED-Streifen in der Heckleuchte und zwei kleine E-Papiere unterhalb der Heckleuchte

Im folgenden werden alle Exterieur Komponenten näher betrachtet:

#### 3.4.1 E-Papier in der Frontschürze

Das E-Papier befindet sich hinter einer Scheibe mit einem Markenlogo in der Mitte der Fahrzeugfront und schließt an den Seiten über eine Abmaskierung auf die beiden Frontlichter an. Das E-Papier bewirkt mit der Laminierung an der Scheibe einen räumlichen Effekt, wonach das Markenlogo vor dem E-Papier erscheint.

Auf dem E-Papier werden graphische Designs dargestellt, die Betrachter vor dem Auto sehen können. Dafür muss das Bild aus einer Entfernung von 1 m für den Betrachter scharf sein.

Das E-Papier hat ein Format von 16:9 und eine Auflösung von 2560 Pixel/Zeile  $\times$  1440 Zeilen, wovon ein Teil des Bildschirms am Rand durch eine Abmaskierung nicht sichtbar ist. Mit dieser Auflösung wirkt das Bild scharf auf der oben beschriebenen Distanz.

#### 3.4.2 LED-Streifen in der Frontschürze

Der LED-Streifen ist dreiteilig aufgeteilt. Die zwei äußeren Teile befinden sich in den Frontleuchten und schließen auf gleicher Höhe mit dem mittleren Streifen an. Der mittlere Streifen befindet sich oberhalb des E-Papiers in der Frontschürze.

Auf dem Streifen werden dynamische bunte Lichtsequenzen gezeigt. Für den Betrachter sollen die einzelnen LED aus einer Entfernung von 1 m nicht sichtbar sein und die Animationen flüssig erscheinen. Flüssig bedeutet, dass die Bildwiederholungsrate hoch genug ist, damit das Auge aus den einzelnen Bildern eine Bewegung erkennt.

Zusammen mit dem E-Papier in der Frontschürze bilden diese zwei Komponenten die

Darstellung der Kollektionen im Frontbereich. Der mittlere Teil besitzt 130 Bildpunkte und die äußeren Teile 101 Punkte. Mit insgesamt 332 LEDs lassen sich die einzelnen Punkte nicht erkennen.

#### 3.4.3 E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen

Oberhalb der Radkästen befinden sich in einem ca. 20 cm breitem und 8 cm hohen Ausschnitt E-Papiere. An dieser Stelle befand sich vorher ein Emblem der Fahrzeugbezeichnung.

Die E-Papiere werden genutzt, um den Namen der verwendeten Kollektion anzuzeigen. Dafür müssen Sie 20 Zeichen in einer Zeile mit einer Größe anzeigen, die ein Betrachter von mindestens 8 m Entfernung erkennt.

Die E-Papiere haben ein Format von 4:3 und eine Auflösung von 1600 Pixel/Zeile  $\times$  1200 Zeilen, wodurch auch bei näherer Betrachtung noch ein scharfes Bild sichtbar ist.

#### 3.4.4 LED-Streifen in den Radkästen

In allen vier Radkästen befinden sich LED-Streifen am äußeren Rand und strahlen durch eine Leiste nur in den Radkasten Innenraum auf den oberen Halbkreis des Reifenprofils. Der Betrachter sieht nicht den LED-Streifen, sondern nur das vom Reifen und Radkasten reflektierte Licht.

Pro Radkasten befinden sich 196 LEDs. Die Anzahl soll so hoch sein, dass die Beleuchtung ein homogenes Lichtbild gibt.

#### 3.4.5 Videoprojektoren in den Außenspiegeln

In den Außenspiegeln wurde der Innenraum mit der Spiegelmechanik ausgebaut und Videoprojektoren eingebaut. Der nach unten ausgerichtete Videoprojektor bestrahlt die Flächen durch ein Loch an der Unterseite des Außenspiegels vor den vorderen Türen.

Durch den Videoprojektor können Videos auf dem Boden gezeigt werden. Der Betrachter soll hierbei aus einer kurzen Entfernung vom Fahrzeug das Bild scharf auf unterschiedlichen Böden und Lichtverhältnissen sehen können.

Die Videoprojektoren haben ein Format von 16:10 und eine Auflösung von 1280 Pixel/Zeile  $\times$  800 Zeilen.

#### 3.4.6 Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern

In den hinteren Seitenfenstern befinden sich an den unbeweglichen Nebenscheiben, die mit einer Leiste von den beweglichen Hauptglasscheiben getrennt sind, Bildschirme. Diese können von außen betrachtet werden. Die Rückseite der Bildschirme ist von innen mit einer schwarzen Kunststoffverkleidung für die Passagiere abgedeckt.

Zusammen mit den LED-Streifen in den Radkästen und den Videoprojektoren in den Außenspiegeln bilden die Bildschirme in den Seitenfenstern die optische Darstellung der Kollektionen im Seitenbereich. Die Bildschirme haben ein Verhältnis von 16:10 und eine Auflösung von 1280 Pixel/Zeile  $\times$  800 Zeilen, womit Betrachter aus 1 m Entfernung ein scharfes Bild sehen.

#### 3.4.7 LED-Streifen in der Heckleuchte

In der Serienheckleuchte wurde das rote Leuchtband mit einem LED-Streifen getauscht. Der Streifen ist dreigeteilt mit dem mittleren Teil in der Heckklappe und den zwei äußeren Teilen im hinteren Kotflügel.

Der mittlere Streifen besitzt 219 LEDs und die äußeren Streifen 86 LEDs. Insgesamt sind in der Heckleuchte 391 LEDs verbaut.

### 3.4.8 E-Papier in der Heckleuchte

Direkt unterhalb der Heckleuchten sind zwei E-Papiere in der Heckklappe eingebaut. Diese E-Papiere haben einen ähnlich großen Ausschnitt wie die E-Papiere oberhalb der Radkästen und werden genutzt, um den Namen der Kollektionen zu zeigen. Das Format und die Auflösung sind identisch zu diesen mit 4:3 und 1600 Pixel/Zeile  $\times$  1200 Zeilen. Zusammen mit dem LED-Streifen in der Heckleuchte bilden die E-Papiere die Heckansicht der Kollektion für Betrachter.

## 3.5 Interieur Komponenten

Im Interieur sind folgende Komponenten verbaut:

- ein durchgehender LED-Streifen von den hinteren Türen über die vorderen Türen bis über das gesamte Cockpit
- in den Türen ein LED Feld
- Bildschirme in der Einstiegsleiste der vorderen Türen
- Videoprojektoren im Fußraum der Frontsitze
- Benutzeroberflächen für den Fahrer- und den Zentralbildschirm
- eine morphende Oberfläche in der Mittelkonsole
- einen durchsichtigen Bildschirm im Dachfenster
- eine LED-Matrix im Dachhimmel

Daneben sind weitere Komponenten Duftflakons und ein Soundplayer im Innenraum.

Im folgenden werden alle Interieur Komponenten näher vorgestellt.

#### 3.5.1 LED-Streifen im Interieur

Der LED-Streifen besteht aus fünf Teilen und erstreckt sich im oberen Bereich der vier Türverkleidungen und schließt über das Cockpit zu einem einheitlichen Band ab. Der Streifen befindet sich hinter einer Streulichtscheibe, damit der Betrachter die einzelnen LED nicht erkennen kann.

Der Streifen spielt dynamische Inszenierungen für die Fahrzeuginsassen ab. Die Leisten in den Türen haben eine Auflösung von 115 Pixel, während das mittlere Stück 259 Pixel besitzt. Insgesamt besteht der LED-Streifen aus 719 Pixel.

#### 3.5.2 LED Türtafeln

In allen vier Türverkleidungen befinden sich unterhalb des LED-Streifens ein LED-Feld hinter einer Abdeckung mit durchsichtigen Sternen. Die Sterne können somit mit unterschiedlichen Farben angestrahlt werden, womit diese die Wirkung des LED-Streifens unterstützen.

#### 3.5.3 Bildschirme in der Einstiegsleiste

Anstelle einer Edelstahlabdeckung mit einem Schriftzug befinden sich in den vorderen Türen Bildschirme in der Einstiegsleiste. Die Bildschirme können bei geöffneter Türe Inhalte dem Fahrzeuginsassen und Betrachter außerhalb des Fahrzeuges darstellen. Die Größe reicht aus, um lange Wörter oder mehrere kurze Wörter leserlich darzustellen. Die Auflösung der Bildschirme beträgt 1280 Pixel/Zeile  $\times$  1024 Zeilen .

### 3.5.4 Videoprojektoren im Fußraum

Für die vorderen Fußraumböden wurden zwei Videoprojektoren verbaut. Der linke Videoprojektor befindet sich unterhalb der Lenksäule, der rechte unterhalb des Handschuhfachs. Beide Videoprojektoren strahlen den Fußraum an und können dynamisch Inhalte abspielen.

Die Videoprojektoren haben ein Format von 16:10 und eine Auflösung von 1280 Pixel/Zeile  $\times$  800 Zeilen, womit für den Betrachter der Fußraumbodens ein scharfes Bild erscheint.

### 3.5.5 Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole

In der Mittelkonsole wurde das Ablagefach und die abgelederte Abdeckung durch eine neuartige Vorrichtung ersetzt, die von innen mit Hilfe von Formteilen auf die Oberfläche drückt und somit von außen optisch und haptisch spürbar ist. In der Vorrichtung befinden sich in einem Revolver drei Formteile mit unterschiedlicher Ausgestaltung.

### 3.5.6 Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster

An das Dachfenster wurde ein durchsichtiger Bildschirm geklebt, das bei Betrachten von innen Grafiken darstellen kann. Der Bildschirm ist Full HD (Full High Definition) mit einer Auflösung von 1920 Pixel/Zeile  $\times$  1080 Zeilen, damit es bei kurzen Entfernungen von unter 50 cm zum Betrachter scharf ist.

### 3.5.7 LED-Matrix im Dachhimmel

Im Dachhimmel unter der Stoffverkleidung befindet sich eine LED-Matrix. Das Feld kann dynamische Farbeffekte erzeugen. Insgesamt besitzt die LED Matrix eine Auflösung von 192 Pixel/Zeile  $\times$  96 Zeilen.



### 3.5.8 Duftflakons im Innenraum

Im Innenraum befinden sich Duftflakons, die jeweils für eine bestimmte Kollektion erstellt wurden. Es ist kein technischer Aufbau zur automatischen Beduftung des Innenraumes vorhanden.

### 3.5.9 Bildschirmoberflächen im Cockpit

Das zentrale Kombiinstrument und das digitale Fahrerdisplays haben die Möglichkeit unterschiedliche Bildschirmoberflächen anzuzeigen.

### 3.5.10 Soundplayer im Innenraum

Das Soundsystem im Innenraum kann extern über den Zentralrechner angesteuert werden und MP3-Dateien abspielen.

## 3.6 Ansteuerung

Die Ansteuerung der Komponenten erfolgt über einen zentralen Rechner mit Windows-Betriebssystem, der sich im Kofferraum des Fahrzeuges befindet und die Informationen für die Komponenten in einem lokalen Verzeichnis gespeichert hat. Die Komponenten sind entweder direkt über Leitungen vom Mainboard oder der Grafikkarte oder über eine Wireless Local Area Network (WLAN) Schnittstelle mit dem Rechner verbunden. In dem Diagramm 3.1 befindet sich der Computer zentral in der Mitte.

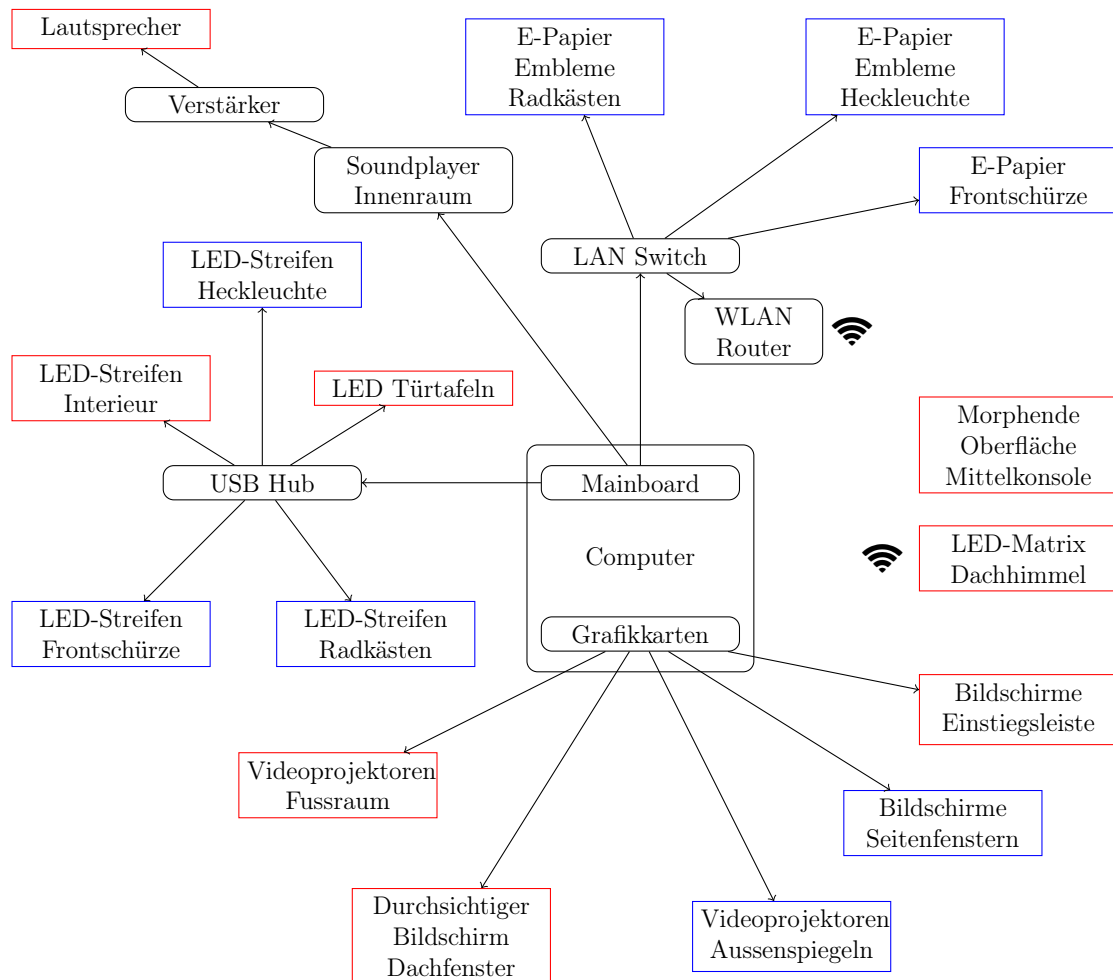
Die Displays und Beamer sind über HDMI (High Definition Multimedia Interface) mit dem Computer verbunden. Die Lichtleisten sind über USB (Universal Serial Bus) mit dem Rechner über ein USB Hub kontaktiert. Die E-Papier Displays werden von Raspberry Pis angesteuert und sind mit dem Rechner über LAN (Local Area Network) verbun-

den. Der Dachhimmel wird über WLAN vom Computer aus angesteuert. Die Lautsprecher werden über einen Verstärker und ein USB Audio Interface mit dem Computer verbunden.

An dem Computer ist ein Mobiltelefon über WLAN angeschlossen, das mit Hilfe einer App unterschiedliche Inhalte für die Komponenten auswählen kann.

Der Computer hat einen Zugriff auf das Bordnetz des Fahrzeugs, um einzelne Signale herauslesen zu können. Durch bestimmte Signaländerungen löst der Computer Sequenzen von Inhalten in den Komponenten aus.

Die Komponenten des Prototypen sind damit nicht über das Serienbordnetz des Fahrzeug angeschlossen, sondern sind gesamt von diesem abgekoppelt.



**Abbildung 3.1:** Ansteuerung Komponenten im Prototypen

## 4 Analyse der Komponenten des Prototypen

Nachfolgend werden alle Komponenten unter den von 4.1 genannten Kriterien analysiert. Im Zuge der Analyse werden im nächsten Kapitel Entwürfe für die Weiterentwicklung der Komponenten dargestellt.

Die Analyse basiert auf den Komponenten des Prototypen, aber beschränkt sich nicht auf die einzeln verbaute Technologie, sondern geht auf den Gesamtkontext der Komponente ein. Grundsätzlich richtet sich die Analyse nach dem sinnlichen Darstellungszweck und dessen Bedarf an technischen Eigenschaften.

Ein Beispiel dieser Herangehensweise ist der Bildschirm in der Einstiegsleiste. Die genaue Größe einer möglichen Serienimplementierung muss nicht gleich des Prototypen sein, aber sie muss eine Größe haben, die für die Darstellung der Inhalte geeignet ist.

Die Kriterien für den Einbau und die spätere Analyse basieren zum Einen auf einer selbstständigen Recherche über die Komponenten und den relevanten Bedingungen. Zum Anderen wurden Informationen von Experten in den einzelnen Fachgebieten der Karosserieinnenentwicklung, Individualisierung, After-Sales-Produktentwicklung herangezogen, um die Kriterien im Bereich rechtlich, wirtschaftlich und technische anzuwenden.

Für einen Überblick über die Erkenntnisse fasst das Unterkapitel 4.3.11 die Analyse zusammen.

## 4.1 Kriterien für den Einbau der Komponenten in Serienfahrzeuge

Die folgenden Kriterien richten sich zum einen an die Komponenten und zum anderen an die Fahrzeugentwicklung. Anhand der Kriterien kann eine Analyse des Ist-Zustandes durchgeführt werden.

Da für den Verkauf und Betrieb von Fahrzeugen die gültigen Gesetze und Normen eingehalten werden müssen, haben die rechtlichen Kriterien die oberste Priorität. Wenn alle rechtlichen Bedingungen erfüllt sind, stellen sich betriebswirtschaftliche Fragestellungen, ob die Komponenten in Ihrer Funktion einen Nutzen für den Kunden und für das Unternehmen haben. Dies können hier besonders auch optische Vorteile sein. Zuletzt müssen technische Kriterien von der Seite der Fahrzeugentwicklung und der Komponenten erfüllt sein, damit die Weiterentwicklung der Komponenten in Erwägung gezogen werden kann.

Durch den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit und dem fachlichen Schwerpunkt in elektrotechnischen Systemen, liegt der Fokus der Analyse in der technischen Analyse des Strombedarfs und des Informationsbedarfs. Dennoch soll diese Arbeit die wichtigsten Aspekte und eine Einordnung der anderen Fachbereiche liefern.

Nachfolgend werden mit der gleichen Reihenfolge wie oben die Kriterien definiert.

### 4.1.1 Rechtliche Kriterien

Unter rechtlichen Kriterien finden sich alle Bedingungen für die Fahrzeugentwicklung, die auf Basis von Gesetzen und Normen für eine Zulassung erfüllt werden müssen. Diese Kriterien gewährleisten zugleich Rechtssicherheit für den Hersteller.

Aus Gründen des Überblicks wird in der folgenden Arbeit nur auf einzelne Themen von rechtlichen Kriterien eingegangen. Ein Beispiel für rechtliche Kriterien ist die europäische Richtlinie ECE R48 für Lichter am Fahrzeug. [Eur16, Vgl. Seite 1 ff.]

Im Rahmen einer weiteren Entwicklung von Komponenten für eine Fahrzeugserie sind die rechtlichen Bedingungen unbedingt frühzeitig von internen oder externen Juristen und Juristinnen zu prüfen.

### 4.1.2 Wirtschaftliche Kriterien

Unter wirtschaftliche Kriterien fallen sowohl betriebswirtschaftliche Betrachtungen als auch kundenspezifische Anforderungen. Diese Aspekte sind Grundvoraussetzungen für eine Erstellung eines positiven Geschäftsplan und sollen somit einen Rahmen in diesem Bereich bieten. Die weiteren Schritte nach Erfüllung dieser Kriterien sind Absprachen mit Produktstrategen, Marketingexperten und Kalkulatoren.

Unter dem betriebswirtschaftlichen Kriterium steht in erster Linie die Gewinnerzielungsabsicht, das heißt die Kosten des Produkts sollen geringer als die möglichen Einnahmen sein. Kosten können neben den Entwicklungskosten und Produktionskosten für die Komponente, auch Verwaltungskosten über den Lebenszyklus des Produkts und Anpassungskosten anderer Bauteile im Fahrzeug sein.

Einnahmen sind neben dem Verkauf der Komponente als Sonderausstattung weitere sekundäre Möglichkeiten durch digitale Produkte spezifisch zu den Komponenten. Daneben können es auch nicht monetäre Einnahmen geben, die das gesamte Produkt und die Marke in ihrem Ansehen stärken.

Um einen Gewinn zu erwirtschaften, muss die Komponente mit ihren Fixkosten, wie die Entwicklung, und ihren variablen Kosten, wie den Produktionskosten, gering sein, aber dennoch einen großen Mehrwert für den Kunden liefern, damit die Nachfrage an der Komponente steigt.

Die Entwicklungskosten sind abhängig vom aktuellen Reifegrad vorhandener Technik und der Komplexität der Technik, während Anpassungskosten abhängig sind von dem entstehenden Bedarf an Architekturveränderungen. Die Produktionskosten sind abhängig von den Einkaufspreisen der Komponenten und der Montage.

Auf der Seite der Einnahmen steht im Mittelpunkt das Kundeninteresse für den Kauf solcher Komponenten. Kriterien für den Kauf von Komponenten durch Kunden können durch Probandenstudien gewonnen werden oder aus Erfahrung von ähnlichen Projekten herangezogen werden.

Diese wirtschaftlichen Kriterien werden in dieser Arbeit nach der technischen Analyse gesammelt betrachtet. Das Gesamtkonzept für das Fahrzeug fordert eine ganzheitliche Inszenierung des Fahrzeugs, wofür mehrere Komponenten benötigt werden, um diesen Effekt zu erzielen. Aus diesem Hintergrund ist es sinnvoll die Entwicklung der Komponenten ganzheitlich wirtschaftlich zu bewerten.

### 4.1.3 Technische Kriterien

Unter technischen Kriterien fallen alle relevanten Gebiete für eine erste Untersuchung für die Produktentwicklung:

1. Physikalische Dimensionierung
2. Stabilität
3. Gewicht
4. Elektrischer Energiebedarf
5. Informationsbedarf
6. Optik
7. Wartungsfähigkeit

Je nach Beschaffenheit der Komponenten können diese Gebiete unterschiedlich ins Gewicht fallen.

**Physikalische Dimensionierung** Zur erfolgreichen Integration der Komponente in ein Fahrzeug muss an der gewünschten Stelle genügend Bauraum zur Verfügung stehen.

**Stabilität** Die Komponente muss an der Einbaustelle befestigt werden können. Alle Stabilität- und Crashtests müssen positiv ausfallen.

**Gewicht** Das Fahrzeug muss das zusätzliche Gewicht der Komponenten an dieser Stelle aufnehmen können.

**Elektrischer Energiebedarf** Die Komponente soll einen möglichst geringen Strombedarf haben, während das Fahrzeug diesen an der Stelle zur Verfügung stellen muss.

**Informationsbedarf** Zur Steuerung der Komponente muss an der Stelle eine Möglichkeit vorhanden sein, mit dem Gesamtfahrzeug zu kommunizieren. Kriterien sind zum einen die benötigte Bandbreite der Komponenten und die Geschwindigkeit des Informationsaustausches.

In der folgenden Arbeit wird bei Videos mit einer Frame-Rate von 24 Bilder pro Sekunde ausgegangen und einer Farbtiefe pro Farbe von einem Byte. Bei Bildern wird ein Kompressionsfaktor von zehn genutzt. Wie bei 3 erwähnt, sollen zehn Kollektionen mit fünf Inhalten im System gespeichert sein und in Echtzeit aufgerufen werden können. Ein Inhalt kann ein Bild oder ein Video mit einer Länge von zehn Sekunden sein. Die Berechnung des Speicherbedarfes dient als erste Abschätzung für die Speicherdimensionierung und kann vom tatsächlichen Bedarf abweichen, da die Rechnung Prüf- und Steuerdaten nicht beachtet.

**Optische Kriterien** Unter optischen Kriterien fallen alle allgemein gültige Designprinzipien in der Produktentstehung. Darunter versteht sich die Harmonie der Komponenten in der Umgebung, die Vermeidung von Bildschirmrändern, usw.

**Wartungsfähigkeit** Unter Wartungsfähigkeit fällt der leichte Ein- und Ausbau der Komponente bei Bedarf und der Austausch von Verschleißgegenständen.

## 4.2 Analyse der Exterieur Komponenten

Im folgenden werden die Exterieur Komponenten an Hand der oben beschriebenen einzelnen Kriterien geprüft. Die wirtschaftlichen Kriterien werden in einem separaten Abschnitt gesammelt betrachtet.

### 4.2.1 E-Papier in der Frontschürze

Rechtlich ist zu Prüfen, ob das E-Papier als Leuchte gilt und danach behandelt werden muss. Daneben sind die rechtlichen Grundlagen für das Ändern der Bildschirminhalten in unterschiedlichen Fahrmodi, wie zum Beispiel Parken oder Fahren, zu analysieren.

Wirtschaftlich betrachtet ist diese Komponente ein zentraler Bestandteil des Fahrzeugkonzeptes, da durch die Größe und Lage der Kunde die Inhalte stark wahrnimmt.

Mit einer physikalischen Dimensionierung über die gesamte Breite zwischen den Frontlichtscheinwerfern und somit eine mögliche Breite bei unterschiedlichen Fahrzeugmodellen von 80 cm bis 1 m und einer Höhe von 50 cm bis 60 cm ist die Stabilität des E-Papiers zu prüfen, da die Lage im Kotflügel besonders transponiert ist.

Das zusätzliche Gewicht des Bildschirms ist an der vorderen Kotflügelbefestigung aufzunehmen.

Der Strombedarf des E-Papier ist, wie in 2 beschrieben, nur gering. Ein Mikrocontroller zur Steuerung benötigt zum Beispiel eine Spannung von 12V Gleichstrom.

Mit einer Auflösung von 2560 Pixel pro Zeile zu 1440 Zeilen und einer Farbtiefe von 16 Stufen benötigt das Display mit der Formel 2.4 pro Bild einen Speicher S von 368,64 kByte.

$$S = \frac{2560 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1440 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.1)$$

$$= 368,64 \text{ kByte} \quad (4.2)$$

Bei zehn Kollektionen mit jeweils fünf Bildern benötigt man einen Speicher von 18,432 MByte. Durch die Position ist die gezielte Brechung bei Crashes relevant für die Sicherheit von Passanten. Daneben ist zu Prüfen, ob die Radarsensorik von dem E-Papier gestört wird.



### 4.2.2 LED-Streifen in der Frontschürze

Unter den rechtlichen Kriterien gilt bei Lichtern die europäische Richtlinie ECE R48. Farbliche Lichter außerhalb der zulässigen Verbauten sind dabei nicht gestattet. Daher gilt es zu prüfen, welche weitere Möglichkeiten dieser Darstellungsart es gibt. Optionen sind beispielsweise schwarz-weiße Lichter oder farbliche Bildschirme ohne aktive Beleuchtung.

Für eine Farbtiefe von 256 Stufen pro Farbe benötigt jede einzelne LED 24 Bit an Speicher, da es drei mal acht Bit benötigt. Bei 332 LEDs bedeutet das einen Speicher pro Bild von 996 Byte.

$$S = \frac{332 \text{ Pixel} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{1} \quad (4.3)$$

$$= 996 \text{ Byte} \quad (4.4)$$

Für ein 10 Sekunden Video wird ein Speicher S von

$$S = 996 \text{ Byte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.5)$$

$$= 239,04 \text{ kByte} \quad (4.6)$$

benötigt. Bei insgesamt 50 Inhalten bedeutet das 11,952 MByte an Speicherbedarf.

Eine farbige LED, die pro Pixel vier Dioden (Rot, Grün, Blau und Weiß) enthält, hat einen Leistungsaufnahme von 320 mW. Die LED-Streifen benötigen mit einer Anzahl von 500 LED eine Leistung von 160 W. Im 12 V Bordnetz beträgt die Stromstärke 13,3 A. Daneben muss eine Ansteuerungslogik dort verbaut werden.

### 4.2.3 E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen

Die E-Papiere an den Fahrzeugseiten müssen, wie oben erwähnt, geprüft werden, ob sie als Beleuchtung gelten.

Aus Sicht der Kunden ist die Lage neben den Fronttüren ideal, um Dinge anzuzeigen. Da auf diesen E-Papieren vorwiegend Text angezeigt wird, ist ein breites und in der Höhe schmales Display von Vorteil, da dort eine Zeile leserlich angezeigt werden kann.

Um bei Beschädigung oder bei Defekt das E-Papier auszutauschen, ist die Möglichkeit über den Zugriff vom Motorraum aus zu prüfen.

Das Gewicht des E-Papiers ist relativ gering und zu vernachlässigen. Da das E-Papier nur bei Änderung des Inhaltes Strom verbraucht, muss nur eine geringe Leistungsaufnahme von  $x$  mW sichergestellt werden.

Die E-Papier Embleme benötigen mit einer Auflösung von 1600 Pixel pro Zeile zu 1200 Zeilen einen Speicher pro Bild von 192 kByte.

$$S = \frac{1600 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1200 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.7)$$

$$= 192 \text{ kByte} \quad (4.8)$$

Insgesamt benötigt der Speicher eine Größe von 9,6 MByte für 50 Bilder.

### 4.2.4 LED-Streifen in den Radkästen

Wie bei den anderen Leuchteinrichtungen im Exterieur sind hier die Marktregularien zu prüfen. Bei Möglichkeit kann auch ein eingeschränkter Modus von schwarz-weißem Licht oder nur die Anzeige im abgestellten Zustand des Fahrzeuges gewählt werden.

Die Verschmutzung des Lichtleiters ist durch eine geeignete Konstruktion zu verhindern und daneben auch der Beschädigung durch geschleuderte Steine oder ähnliches.

Daneben muss aus Kundensicht geprüft werden, ob die Betonung des Schmutzfänger Bereichs gewünscht ist, oder nur in bestimmten Situationen. Bei einer Anzahl von 200 LED pro Radkasten benötigt ein LED Streifen eine Leistung von 64 W. Ein dynamisches Lichtspiel für 10 Sekunden benötigt pro Radkasten bei einer Bildwiederholungsrate von

24 fps einen Speicher von 144 kByte.

$$S = \frac{200 \text{ Pixel} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{1} \quad (4.9)$$

$$= 600 \text{ Byte} \quad (4.10)$$

$$S = 600 \text{ Byte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.11)$$

$$= 144 \text{ kByte} \quad (4.12)$$

Für 50 Videos beträgt die Speichergröße 7,2 MByte. Die Vernetzung an dieser Stelle ist eine Herausforderung.

#### 4.2.5 Videoprojektoren in den Außenspiegeln

Die Verfügbarkeit des Bauraums in dem Außenspiegel ist zu prüfen, indem der Bauraum von aktuellen Standbildprojektoren mit den benötigten Videoprojektoren verglichen wird. Daneben ist die Zulässigkeit von solchen Projektionen und deren Lichtaustrittsfläche rechtlich abzuprüfen.

Die angestrahlte Fläche auf dem Boden reicht im besten Fall über die gesamten Seitentüren und bis zu 2 m weg vom Fahrzeug. Der Betrachter soll bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen noch ein möglichst kontrastreiches und helles Bild erkennen.

Der Strombedarf pro Videoprojektor liegt im Bereich zwischen  $XX \text{ W}$  und  $XX \text{ W}$ . Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1280 und 800 Zeilen ein Speichergröße von ca. 256 kByte.

$$S = \frac{1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 800 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.13)$$

$$= 307,2 \text{ kByte} \quad (4.14)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt eine Videoprojektor einen Speicher von 73,728 MByte.

$$S = 307,2 \text{ kByte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.15)$$

$$= 73,728 \text{ MByte} \quad (4.16)$$

Insgesamt wird ein Speicher in Höhe von 3,6864 GByte benötigt.

## 4.2.6 Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern

Rechtlich ist die Zulässigkeit wegen möglicher Ablenkungen von Straßenverkehrsteilnehmern zu prüfen. Das Verkleinern der Fensterfläche ist abzu prüfen, ob dies mit Kundeninteressen vereinbar ist. Die Crashesicherheit an dieser Stelle und die Stabilität ist wichtig, da sich diese Komponente in unmittelbarer Nähe zu den Fahrzeuginsassen befindet. Jedes Display hat eine ungefähre Leistung von  $XX \text{ W}$ . Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1280 und von 800 Zeilen ein Speichergröße von ca. 307,2 kByte.

$$S = \frac{1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 800 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.17)$$

$$= 307,2 \text{ KByte} \quad (4.18)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 73,728 MByte.

$$S = 307,2 \text{ kByte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.19)$$

$$= 73,728 \text{ MByte} \quad (4.20)$$

Insgesamt wird ein Speicher pro Bildschirm von 3,6864 GByte benötigt.

### 4.2.7 LED-Streifen in der Heckleuchte

Wie bei den LED-Streifen in der Frontschürze sind die rechtlichen und wirtschaftlichen Fragestellungen gleich.

Grundsätzlich gilt es zu prüfen, ob die vorhandenen Steuergeräte für die Lichter Kapazitäten für dynamische Lichtstreifen frei haben. Die weiteren technischen Kriterien verhalten sich wie oben erläutert.

Für ein Bild benötigt man einen Speicher von 1,173 kByte.

$$S = \frac{391 \text{ Pixel} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{1} \quad (4.21)$$

$$= 1,173 \text{ kByte} \quad (4.22)$$

Für eine zehn Sekunden Inszenierung sind 281,52 kByte erforderlich.

$$S = 1,173 \text{ kByte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.23)$$

$$= 281,52 \text{ kByte} \quad (4.24)$$

Insgesamt wird ein Speicher von 14,076 MByte benötigt.

### 4.2.8 E-Papier in der Heckleuchte

Ähnliche Anforderungen wie die E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen haben diese E-Papiere in der Heckleuchte. Diese E-Papiere in der Heckleuchte haben ähnliche Eigenschaften, wie die E-Papier Embleme über den vorderen Seitenkästen, in Bezug auf die rechtlichen Kriterien. Durch die Position in der Nähe der Heckleuchten kann von dort die Stromversorgung und Busanbindung bezogen werden. Der Strombedarf und Datenspeicherbedarf von 160 kByte pro Bild sind gleich mit dem anderen E-Papier.

$$S = \frac{1600 \text{ PixelproZeile} \times 1200 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.25)$$

$$= 192 \text{ kByte} \quad (4.26)$$

Für 50 Bilder sind es dementsprechend 9,6 MByte.

## 4.3 Analyse der Interieur Komponenten

Im folgenden werden die einzelnen Interieur Komponenten mit den Kriterien analysiert.

### 4.3.1 LED-Streifen im Interieur

Rechtlich ist bei den Animationen im LED-Streifen die Vermeidung von Ablenkung des Fahrers oder der Fahrerin zu gewährleisten. Durch die Länge des Streifens muss für die Crashesicherheit eventuelle Sollbruchstellen sichergestellt werden.

Bei einer Anzahl von 719 LED pro Radkasten benötigt ein LED Streifen eine Leistung von  $XX\text{ W}$ . Für eine Inszenierung von zehn Sekunden Länge benötigt der LED-Streifen Speicherplatz in der Höhe von 25,884 MByte.

$$S = \frac{719 \text{ Pixel} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{1} \quad (4.27)$$

$$= 2,157 \text{ kByte} \quad (4.28)$$

$$S = 2,157 \text{ kByte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.29)$$

$$= 517,68 \text{ kByte} \quad (4.30)$$

Für 50 Videos beträgt die Speichergröße 25,884 MByte.

### 4.3.2 LED Türtafeln

Rechtlich gesehen ist zu prüfen, ab welchem Helligkeitsgrad und Farbinszenierung der Fahrer oder die Fahrerin durch die LED zu stark abgelenkt werden.

Im Moment wird nur eine LED pro Türtafel genutzt, wodurch Möglichkeiten der Inszenierung im Vergleich zu einer LED-Matrix nicht genutzt werden. Die LEDs benötigen eine Leistung von  $XX$  W pro Türe. Die Ansteuerung der Türtafeln kann durch die Nähe zu den LED-Streifen im Interieur zusammen gesteuert werden.

### 4.3.3 Bildschirme in der Einstiegsleiste

Unter den rechtlichen Aspekten gibt es in einer ersten Untersuchung keine Beschränkungen, da der Bildschirm nur bei geöffneter Türe und dementsprechend im Stand betrachtet werden kann. Die technische Umsetzbarkeit ist durch Bestätigung in ersten Voruntersuchungen (wie Kugelfalltest, Bauraum, Shaker) positiv. Technische Herausforderungen an dieser Stelle sind Feuchtigkeitsschutz, Temperaturempfindlichkeit, und die Kratzfestigkeit.

Jedes Display hat eine ungefähre Leistung von  $XX$  W. Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1280 und von 1024 Zeilen ein Speichergröße von ca. 393,216 kByte.

$$S = \frac{1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1024 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.31)$$

$$= 393,216 \text{ KByte} \quad (4.32)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 94,37184 MByte. Insgesamt bei 50 Videos beträgt der benötigte Speicher 4,718592 GByte.

#### 4.3.4 Videoprojektoren im Fußraum

Unter den rechtlichen Fragestellungen ergibt sich die Vermeidung von Ablenkung für den Fahrer oder die Fahrerin. Aus Kundenperspektive ist die angestrahlte Oberfläche eventuell nicht geeignet, da diese stärker verschmutzt sein kann.

Unter den technischen Kriterien ist die Verfügbarkeit des Bauraums mit der benötigten Kühlung zu prüfen. Eine Herausforderung ist die Befestigung des Videoprojektors, da dieser sich bei Fahrt relativ zum Auto nicht bewegen darf. Jeder Videoprojektor hat eine ungefähre Leistung von  $XX\text{ W}$ . Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1280 und von 800 Zeilen ein Speichergröße von ca. 307,2 kByte.

$$S = \frac{1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 800 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.33)$$

$$= 307,2 \text{ kByte} \quad (4.34)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 73,728 MByte. Insgesamt bei 50 Videos beträgt der benötigte Speicher 3,6864 GByte.

#### 4.3.5 Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole

Die tatsächlich verwendete technische Realisierung der morphenden Oberfläche ist eine Übergangslösung für eine neue Technik, die einzelne Element auf einer Fläche gesteuert hoch und herunterfahren kann. Diese Technik ist derzeit in der Entwicklung. Wie die Farbtiefe bei einem Bildschirm kann die Höhe der einzelnen Punkte eingestellt werden. Mit 8 Bit Höhentiefe benötigt ein Feld mit 20 auf 20 einzelnen Punkten einen Speicher in der Größe von 400 Byte. Eine weitere technische Weiterentwicklung kann Animationen auf der Mittelkonsole abspielen. Die Datenmenge steigert sich dementsprechend mit der Bildwiederholungsrate und der Dauer der Animation. Bei einer Bildwiederholungsrate von 24 fps und 10 Sekunden Dauer beträgt der benötigte Speicher 96 kByte.



### 4.3.6 Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster

Rechtlich betrachtet ist die Technische Herausforderungen sind die Temperaturentwicklung durch Sonneneinstrahlung und die Kontaktierung bei Bewegung des Glasdaches. Das Display hat eine ungefähre Leistung von  $XX$  W. Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1920 und von 1080 Zeilen ein Speichergröße von ca. 207,36 kByte.

$$S = \frac{1920 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1080 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.35)$$

$$= 207,36 \text{ kByte} \quad (4.36)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 49,7664 MByte. Insgesamt bei 50 Videos beträgt der benötigte Speicher 2,488320 GByte.

### 4.3.7 LED-Matrix im Dachhimmel

Die LED-Matrix hat eine ungefähre Leistung von  $XX$  W. Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 192 und von 96 Zeilen ein Speichergröße von ca. 55,296 kByte.

$$S = \frac{192 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 96 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{1} \quad (4.37)$$

$$= 55,296 \text{ kByte} \quad (4.38)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 13,27104 MByte. Insgesamt bei 50 Videos beträgt der benötigte Speicher 663,552 MByte.

### 4.3.8 Duftflakons im Innenraum

Eine technische Verbreitung unterschiedlicher individueller Düfte ist in diesem Konzept nicht realisiert. Ein aktueller technischer Aufbau besteht aus einem Set mit unterschied-

lichen Duftflakons, die einzeln geöffnet werden. Dadurch ist die Anzahl der Düfte beschränkt auf die Set-Größe.

### 4.3.9 Bildschirmoberflächen im Cockpit

Das Anzeigen individualisierter Bildschirmoberflächen auf vorhandenen Displays ist unter den oben beschriebenen Kriterien schon im Fahrzeug möglich und benötigt keine weitere Analyse.

### 4.3.10 Soundplayer im Innenraum

Das Abspielen individualisierter Sounds durch vorhandene Lautsprecher ist unter den oben beschriebenen Kriterien schon im Fahrzeug möglich und benötigt keine weitere Analyse.

### 4.3.11 Zusammenfassung Analyse

In der Tabelle 4.1 werden die Komponenten, die visuelle oder haptische Anzeigen sind, mit dem benötigten Speicher für die Anzeige eines Bildes dargestellt. Die Berechnung erfolgt mit der Gleichung 2.4. Die unterschiedlichen Datenmengen zwischen 12 Byte und 393,216 kByte für ein Bild, machen deutlich, dass eine Abwägung zwischen hoher Pixelanzahl und Farbtiefe gemacht werden muss. Die benötigte Speichergröße wird neben dem Leistungsbedarf in der Tabelle 4.2 dargestellt. Es wird deutlich, dass das Anzeigen von bewegt Bildern mehr Daten benötigt. In diesem Abschnitt werden die Komponenten als Gesamtes unter den wirtschaftlichen Kriterien betrachtet, weil die Komponenten nicht als einzelne Sonderausstattung, sondern als Ganzes oder Gebündelt vertrieben werden soll. Daher ist eine Gesamtbetrachtung der wirtschaftlichen Kriterien sinnvoll.

In Tabelle 4.3 werden alle Komponenten mit den nötigen Anpassungen in der Serienent-

wicklung in den bestimmten Bereichen auf Basis der vorherigen technischen Analyse.

**Tabelle 4.1:** Berechnung des Speicherbedarfes für ein Bild

Komponente	Pixel	Bit pro Pixel	Kompression	Speicher
E-Papier in der Frontschürze	$2560 \times 1440$	8	10	368,64 kByte
E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen	$1600 \times 1200$	8	10	192 kByte
E-Papier in der Heckleuchte	$1600 \times 1200$	8	10	192 kByte
LED-Streifen in der Frontschürze	$332 \times 1$	24	1	996 Byte
LED-Streifen in den Radkästen	$200 \times 1$	24	1	600 Byte
LED-Streifen in der Heckleuchte	$391 \times 1$	24	1	1,173 kByte
LED-Streifen im Interieur	$719 \times 1$	24	1	2,157 kByte
LED Türtafeln	$4 \times 1$	24	1	12 Byte
Videoprojektoren in den Außenspiegeln	$1280 \times 800$	24	10	307,2 kByte
Videoprojektoren im Fußraum	$1280 \times 800$	24	10	307,2 kByte
Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern	$1280 \times 800$	24	10	307,2 kByte
Bildschirme in der Einstiegsleiste	$1280 \times 1024$	24	10	393,216 kByte
Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster	$1920 \times 1080$	8	10	207,36 kByte
LED-Matrix im Dachhimmel	$192 \times 96$	24	1	55,296 kByte
Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole	$20 \times 20$	8	1	400 Byte

**Tabelle 4.2:** Liste der Komponenten mit den oben festgestellten Werte

<b>Komponente</b>	Leistungs- bedarf	Speicher- größe
E-Papier in der Frontschürze	<i>X W</i>	18,432 MByte
E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen	<i>X W</i>	9,6 MByte
E-Papier in der Heckleuchte	<i>X W</i>	9,6 MByte
LED-Streifen in der Frontschürze	<i>X W</i>	11,952 MByte
LED-Streifen in den Radkästen	<i>X W</i>	7,2 MByte
LED-Streifen in der Heckleuchte	<i>X W</i>	14,076 MByte
LED-Streifen im Interieur	<i>X W</i>	25,884 MByte
LED Türtafeln	<i>X W</i>	144 KByte
Videoprojektoren in den Außenspiegeln	<i>X W</i>	3,6864 GByte
Videoprojektoren im Fußraum	<i>X W</i>	3,6864 GByte
Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern	<i>X W</i>	3,6864 GByte
Bildschirme in der Einstiegsleiste	<i>X W</i>	4,718592 GByte
Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster	<i>X W</i>	2,48832 GByte
LED-Matrix im Dachhimmel	<i>X W</i>	663,552 MByte
Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole	<i>X W</i>	4,8 MByte

**Tabelle 4.3:** Liste der Komponenten mit den nötigen Eingriffen in die Fahrzeugentwicklung

Komponente	Karosserie	E/E Architektur	Software
E-Papier in der Frontschürze	X	X	X
LED-Streifen in der Frontschürze	X	X	X
E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen	X	X	X
LED-Streifen in den Radkästen	X	X	X
Videoprojektoren in den Außenspiegeln	X	X	X
Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern	X	X	X
LED-Streifen in der Heckleuchte		X	X
E-Papier in der Heckleuchte	X	X	X
LED-Streifen im Interieur		X	X
LED Türtafeln		X	X
Bildschirme in der Einstiegsleiste		X	X
Videoprojektoren im Fußraum		X	X
Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole		X	X
Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster		X	X
LED-Matrix im Dachhimmel	X	X	X
Bildschirmoberflächen im Cockpit			X
Soundplayer im Innenraum		X	X
Duftflakons im Innenraum		X	X

# 5 Konzeptentwurf für eine informationstechnische Anbindung der Komponenten

Auf Basis der unter 4 gewonnenen Erkenntnissen zum Strombedarf und Informationsbedarf der Komponenten werden in diesem Kapitel Entwürfe erarbeitet, wie die Komponenten in eine Fahrzeugarchitektur implementiert werden können.

## 5.1 Einteilung der Komponenten

Im ersten Schritt werden die durch die Analyse gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um Komponenten nach ihren Eigenschaften zu sortieren. Die erste Gruppe an Komponenten benötigt einen Speicher für 50 Inhalten von weniger als 50 MByte. Die zweite Gruppe an Komponenten benötigt einen Speicher von weniger als 1 GByte. Die letzte Gruppe benötigt einen Speicher von mehr als 1 GByte.

Eine weitere Unterscheidung ist die Einteilung der Komponenten nach der Darstellungsart zwischen Bildern und Videos.

Abweichend von der Betrachtungsweise der verwendeten Technologie und des Einbauortes, ist es sinnvoll nach den Art der Informationsbedarfes zu unterteilen. Die Unterteilung Die Anforderungen an die Komponenten sind gleich. Jede Komponente muss in Echtzeit

auf mindestens 10 Kollektionen umschalten können.

## 5.2 Lösungsansätze unterschiedlicher Konzeptentwurf

Eine Komponente besteht in diesem Fall immer aus einer Anzeigefläche mit einer dazugehörigen Steuerung, die aus Bild oder Videodateien die einzelnen Bildpunkte setzt.

Die Kollektionen werden über eine Drahtlose Verbindung zwischen einem zentralen Steuergerät aus dem Internet geladen und müssen auf den Komponenten im Fahrzeug dargestellt werden. Das zentrale Abspeichern der Daten und anzeigen der Daten bei Auswahl ist eine mögliche Option. Die Daten können auch über das Fahrzeugnetzwerk vom zentralen Steuergerät auf verteilte Steuergeräte, die direkt an den Komponenten sind, geladen werden, wenn die Daten zu dem Zeitpunkt nicht angezeigt werden sollen. Bei Aktivierung der Kollektion müssen dann nur Steuersignale den Steuergeräten die Information zur Aussendung der Kollektion geben. Relevant für die möglichen Optionen, sind die Latenz eines Steuersignals und der Dauer eines kompletten Downloads der Daten. Der Anschluss der Komponenten an eine bestimmte Architektur ist unter unterschiedlichen Gesichtspunkten zu bewerten.

Es gibt unterschiedliche Varianten die Geräte anzuschliessen.

Die erste Form von Komponenten sind diejenigen, die nicht dafür ausgelegt sind neue Inhalte in Echtzeit vom zentralen System herunterzuladen. Die zweite Form sind Komponenten, die in Echtzeit neu Inhalte vom System herunterladen müssen und direkt anzeigen.

Echtzeit bedeutet in diesem Fall, dass das System neue Inhalte anzeigt, die der Benutzer über das Zentraldisplay oder Drittgerät ausgewählt hat. Durch diese Unterscheidung kann die zur Verfügung gestellte Bandbreite deutlich unterschiedlich sein. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die Geschwindigkeit zum



Architekturdiagramm einer Möglichen Variante:

Computer

**Abbildung 5.1:** Netzwerkarchitektur Ansteuerung Komponenten

## 5.3 Vergleich der unterschiedlichen Lösungsansätze

# 6 Verifikation und Diskussion

... Verifikation, Auswertung, Lösungsbewertung, Diskussion der Ergebnisse

## 7 Zusammenfassung

... Text Zusammenfassung und Ausblick: In der Zusammenfassung unbedingt klare Aussagen zum Ergebnis der Arbeit nennen, im Optimalfall quantitative Angaben. Die Inhalte müssen sich auf die Fragestellung aus der Einleitung beziehen. ...

# Literatur

- [Ber19] Herbert Bernstein. *Elektroakustik: Mikrofone, Klangstufen, Verstärker, Filterschaltungen und Lautsprecher*. 2., aktualisierte Auflage. Springer eBook Collection. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019. ISBN: 9783658251741. DOI: 10.1007/978-3-658-25174-1.
- [BSS17] Peter Bühler, Patrick Schlaich und Dominik Sinner. *Visuelle Kommunikation: Wahrnehmung - Perspektive - Gestaltung*. Bibliothek der Mediengestaltung / Peter Bühler, Patrick Schlaich, Dominik Sinner. Berlin: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-53770-1.
- [BSS18] Peter Bühler, Patrick Schlaich und Dominik Sinner. *Digitales Bild: Bildgestaltung - Bildbearbeitung - Bildtechnik*. Bibliothek der Mediengestaltung Ser. Berlin, Heidelberg: Vieweg, 2018. ISBN: 9783662538937.
- [Eur16] Europäische Union. *Regelung Nr. 48 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich des Anbaus der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen [2016/1723]: ECE R48*. 30.09.2016.
- [LNS20] Martin Löffler-Mang, Helmut Naumann und Gottfried Schröder. *Handbuch Bauelemente der Optik: Grundlagen, Werkstoffe, Geräte, Messtechnik*. 8., überarbeitete Auflage. Hanser eLibrary. München: Hanser, 2020. ISBN: 9783446461260. DOI: 10.3139/9783446461260. URL: <https://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446461260>.
- [Sch13] Rainer Schönhammer. *Einführung in die Wahrnehmungspsychologie: Sinne, Körper, Bewegung*. 2., überarb., aktualisierte und erw. Aufl. Bd. 3142. utb-studi-e-book Psychologie. Stuttgart und Wien: UTB GmbH und Facultas,

2013. ISBN: 9783838540764. DOI: 10.36198/9783838540764. URL: <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.36198/9783838540764>.
- [Sch21] Ulrich Schmidt. *Professionelle Videotechnik: Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, UHD, HDR, IP*. 7. Aufl. 2021. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021. ISBN: 9783662639443. URL: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1879086>.
- [SK02] Guido Schryen und Jürgen Karla. “Elektronisches Papier — Displaytechnologie mit weitem Anwendungsspektrum”. In: *Wirtschaftsinformatik* 44.6 (2002), S. 567–574. ISSN: 1861-8936. DOI: 10.1007/BF03250875. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03250875>.
- [Spr20] Sebastian Sprenger. *Haptik am User Interface: Interfacedesign in der zeitgenössischen Medienkunst zwischen Sinnlichkeit und Schmerz*. 1st ed. Bd. v.73. Edition Medienwissenschaft. Bielefeld: Transcript Verlag, 2020. ISBN: 9783839451342. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6266820>.
- [ZS14] Werner Zimmermann und Ralf Schmidgall. *Bussysteme in der Fahrzeugtechnik: Protokolle, Standards und Softwarearchitektur*. 5., aktualisierte und erweiterte Auflage. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN: 9783658024192. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=1783365>.

# Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

$a$ .....	Beschleunigung
AR .....	Augmented Reality
E-Papier .....	Elektronisches Papier
E-Papier .....	Elektronisches Papier
E/E Architektur	Elektrik/Elektronik Architektur
E/E Architektur	Elektrik/Elektronik Architektur
EMF .....	Enhanced Metafile
f. ....	folgende Seite
ff. ....	fortfolgende Seiten
HDMI .....	High Definition Multimedia Interface
JPG .....	Joint Photographic Experts Group
LAN .....	Local Area Network
LED .....	Lumineszenzdiode
LED .....	Lumineszenzdiode
PDF .....	Portable Document Format
PNG .....	Portable Network Graphics
USB .....	Universal Serial Bus
vgl. ....	vergleiche
WLAN .....	Wireless Local Area Network

## Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

---

$F$	.....	Kraft
$m$	.....	Masse
$P$	.....	Leistung
$R$	.....	Widerstand
$U$	.....	Spannung

# Abbildungsverzeichnis

3.1	Ansteuerung Komponenten im Prototypen . . . . .	24
5.1	Netzwerkarchitektur Ansteuerung Komponenten . . . . .	47



# Tabellenverzeichnis

4.1	Berechnung des Speicherbedarfes für ein Bild . . . . .	42
4.2	Liste der Komponenten mit den oben festgestellten Werten . . . . .	43
4.3	Liste der Komponenten mit den nötigen Eingriffen in die Fahrzeugentwicklung . . . . .	44
A.1	Liste der Einheiten von Bit und Byte . . . . .	56
A.2	Liste physikalischer Größen . . . . .	57

# Anhang A

## A.1 Einheiten von Bit und Byte

**Tabelle A.1:** Liste der Einheiten von Bit und Byte

Einheit	Anzahl an Bit	Anzahl an Byte	Anzahl an Kilobit	Anzahl an Kilobyte
1 Bit	1	-	-	-
1 Byte	8	1	-	-
1 kBit	1.000	125	1	-
1 kByte	8.000	1.000	8	1
1 MBit	1.000.000	125.000	1.000	125
1 MByte	8.000.000	1.000.000	8.000	1.000
1 Gbit	1.000.000.000	125.000.000	1.000.000	125.000
1 GByte	8.000.000.000	1.000.000.000	8.000.000	1.000.000

## A.2 Einheiten

## A.3 Weitere Details, welche im Hauptteil den Lesefluss behindern

**Tabelle A.2:** Liste physikalischer Größen

Größe	Formelzeichen	Einheitszeichen	Berechnung
Länge	$\vec{s}$	m	-
Zeit	$t$	s	-
Masse	$m$	kg	-
Geschwindigkeit	$\vec{v}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$
Beschleunigung	$\vec{a}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{s}}{(\Delta t)^2}$
Kraft	$\vec{F}$	N	$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$
Arbeit	$W$	J	$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$
Leistung	$P$	W	$P = \frac{W}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$

# Anhang B

B.1 Versuchsanordnung

B.2 Liste der verwendeten Messgeräte

B.3 Übersicht der Messergebnisse

B.4 Schaltplan und Bild der Prototypenplatine

Diese Seite wurde eingefügt, um zu zeigen, wie sich der Inhalt der Kopfzeile automatisch füllt.

# Anhang C

C.1 Struktogramm des Programmentwurfs

C.2 Wichtige Teile des Quellcodes

# Anhang D

## D.1 Einbinden von PDF-Seiten aus anderen Dokumenten

Auf den folgenden Seiten wird eine Möglichkeit gezeigt, wie aus einem anderen PDF-Dokument komplette Seiten übernommen werden können. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass sämtliche Formateinstellungen (Kopfzeilen, Seitenzahlen, Ränder, etc.) auf diesen Seiten nicht angezeigt werden. Die Methode wird deshalb eher selten gewählt. Immerhin sorgt das Package „*pdfpages*“ für eine korrekte Seitenzahleinstellung auf den im Anschluss folgenden „nativen“ L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-Seiten.

Eine bessere Alternative ist, einzelne Seiten mit „*\includegraphics*“ einzubinden. Z.B. wenn Inhalte von Datenblättern wiedergegeben werden sollen.







