

# Evaluation von Komponenten eines Fahrzeugprototypen mit digitalen Sonderausstattungen

## Projektarbeit T3\_2000

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 auf Basis von definierten Kriterien im Bereich rechtlich, wirtschaftlich und technisch. Das untersuchte Fahrzeug besitzt für die Erzeugung einer künstlerischen Gesamtinszenierung unterschiedliche digitale Medien, wie zum Beispiel Bildschirme, Videoprojektoren und Lichterzeuger.

Die Untersuchungsergebnisse wurden durch eigenständige Recherche und in Absprache mit Fachleuten ermittelt. Das Ziel der Untersuchung ist zum einen erste Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Komponenten zu erhalten. Zum anderen ist das Ziel im speziellen mit den Analyseergebnissen Konzepte für die Ansteuerung der Komponenten an Fahrzeugbusarchitekturen zu entwickeln und diese unterschiedlichen Konzepte bewerten.

In der Analyse wurde festgestellt, dass die Komponenten ein leistungsstarkes Bussystem, wie zum Beispiel MOST (Media Oriented Systems Transport) oder Automotive Ethernet, zur Erfüllung der Anforderungen brauchen. Der Konzeptentwurf mit einer dezentralen Speicherung der Daten ist im Vergleich die effektivste Architektur, da dort geringere Datenraten der Bussysteme benötigt werden.

# Abstract

The following work examines the components of a vehicle prototype on the basis of defined criteria in the areas of legal, economic and technical. The examined vehicle has different digital media for the creation of an overall artistic presentation, such as screens, video projectors and light generators.

The test results were determined through independent research and in consultation with experts. The aim of the investigation is, on the one hand, to obtain initial findings for the further development of the components. On the other hand, the goal is to use the analysis results to develop concepts for controlling the components in vehicle bus architectures and to evaluate these different concepts.

The analysis found out that the components need a powerful bus system, such as MOST (Media Oriented Systems Transport) or Automotive Ethernet, to meet the given requirements. The conceptual design with a decentralized storage of the data is the most effective architecture in comparison, since lower data rates of the bus systems are required there.

# 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 . . . . .	4
2.1.2	Haptische Wahrnehmung . . . . .	6
2.1.3	Akustische Wahrnehmung . . . . .	8
2.1.4	Olfaktorische Wahrnehmung . . . . .	9
2.2	Technologien . . . . .	11
2.2.1	Lumineszenzdiode . . . . .	11
2.2.2	LED-Matrix . . . . .	12
2.2.3	Bildschirmtechnologien . . . . .	12
2.2.4	Videoprojektoren . . . . .	13
2.2.5	Elektronisches Papier . . . . .	13
2.3	Bordnetz . . . . .	16
2.3.1	Controller Area Network (CAN) . . . . .	16
2.3.2	Local Interconnect Network (LIN) . . . . .	17
2.3.3	FlexRay . . . . .	17
2.3.4	Media Oriented Systems Transport (MOST) . . . . .	17
2.3.5	Automotive Ethernet . . . . .	18
2.3.6	Vergleich der einzelnen Bussysteme . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Fahrzeugprototyp</b>	<b>19</b>
3.1	Gesamtkonzept . . . . .	19
3.2	Beschreibung . . . . .	21

3.3	Exterieur-Komponenten . . . . .	23
3.3.1	E-Papier in der Frontschürze . . . . .	23
3.3.2	LED-Streifen in der Frontschürze . . . . .	24
3.3.3	E-Papiere über den vorderen Radkästen . . . . .	25
3.3.4	LED-Streifen in den Radkästen . . . . .	26
3.3.5	Videoprojektoren in den Außenspiegeln . . . . .	26
3.3.6	Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern . . . . .	26
3.3.7	LED-Streifen in der Heckleuchte . . . . .	27
3.3.8	E-Papier in der Heckleuchte . . . . .	27
3.4	Interieur-Komponenten . . . . .	27
3.4.1	LED-Streifen im Interieur . . . . .	28
3.4.2	LED Türtafeln . . . . .	28
3.4.3	Bildschirme in der Einstiegsleiste . . . . .	29
3.4.4	Videoprojektoren im Fußraum . . . . .	29
3.4.5	Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole . . . . .	29
3.4.6	Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster . . . . .	30
3.4.7	LED-Matrix im Dachhimmel . . . . .	30
3.4.8	Duftflakons im Innenraum . . . . .	30
3.4.9	Bildschirmoberflächen im Cockpit . . . . .	30
3.4.10	Soundplayer im Innenraum . . . . .	30
3.5	Ansteuerung . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Anforderungsanalyse der Komponenten des Prototypen für eine Serien-</b>	
	<b>implementierung</b>	<b>33</b>
4.1	Kriterien für den Einbau der Komponenten in Serienfahrzeuge . . . . .	34
4.1.1	Rechtliche Kriterien . . . . .	34
4.1.2	Wirtschaftliche Kriterien . . . . .	35
4.1.3	Technische Kriterien . . . . .	36
4.2	Analyse der Exterieur-Komponenten . . . . .	38
4.2.1	E-Papier in der Frontschürze . . . . .	38
4.2.2	LED-Streifen in der Frontschürze . . . . .	39
4.2.3	E-Papiere über den vorderen Radkästen . . . . .	40
4.2.4	LED-Streifen in den Radkästen . . . . .	41
4.2.5	Videoprojektoren in den Außenspiegeln . . . . .	42



4.2.6	Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern . . . . .	42
4.2.7	LED-Streifen in der Heckleuchte . . . . .	43
4.2.8	E-Papier in der Heckleuchte . . . . .	44
4.3	Analyse der Interieur-Komponenten . . . . .	44
4.3.1	LED-Streifen im Interieur . . . . .	45
4.3.2	LED-Türtafeln . . . . .	45
4.3.3	Bildschirme in der Einstiegsleiste . . . . .	46
4.3.4	Videoprojektoren im Fußraum . . . . .	46
4.3.5	Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole . . . . .	47
4.3.6	Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster . . . . .	47
4.3.7	LED-Matrix im Dachhimmel . . . . .	48
4.3.8	Duftflakons im Innenraum . . . . .	48
4.3.9	Bildschirmoberflächen im Cockpit . . . . .	48
4.3.10	Soundplayer im Innenraum . . . . .	49
4.4	Zusammenfassung Analyse . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Konzeptentwurf für eine informationstechnische Anbindung der Komponenten</b>	<b>54</b>
5.1	Einteilung der Komponenten . . . . .	54
5.2	Anforderungen an Konzeptentwürfe . . . . .	58
5.3	Implementierungsoptionen . . . . .	59
5.4	Berechnung der erforderlichen Datenraten für die zwei Speicherorte . . .	60
5.4.1	Berechnung für das erste Architekturmodell . . . . .	61
5.4.2	Berechnung für das zweite Architekturmodell . . . . .	63
5.5	Vergleich der beiden Konzeptentwürfe . . . . .	67
5.6	Realisierungsoptionen . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Verifikation und Diskussion</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>70</b>
	<b>Literatur</b>	<b>71</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>73</b>
	<b>Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>74</b>

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>76</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>78</b>
<b>Anhang</b>	<b>79</b>
A.1 Einheiten von Bit und Byte . . . . .	79

# 1 Einleitung

Das Ziel dieser Arbeit ist, basierend auf einer Analyse von technischen Komponenten eines Fahrzeugprototypen, unter unterschiedlichen Kriterien Erkenntnisse zu erhalten, 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 der Komponenten 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 als digitale Sonderausstattung 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 Konzepte für die informationstechnische Anbindung der Komponenten im Kapitel 5 zu stellen. Im Kapitel 6 werden diese Konzepte 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

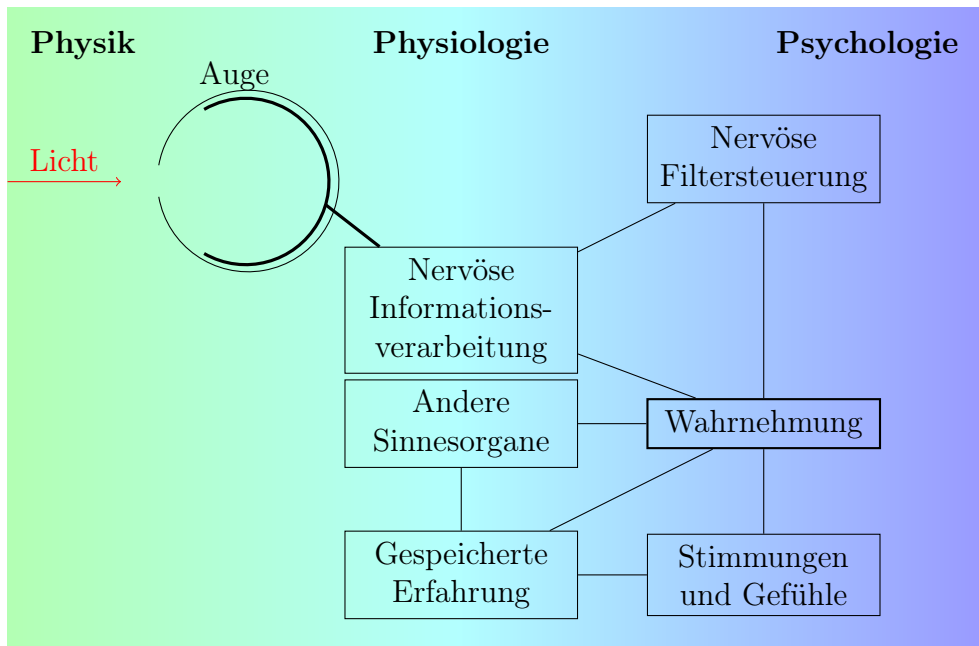
Im folgenden werden für diese Arbeit notwendige Grundlagen zu unterschiedlichen Technologien und Wissensbereiche erarbeitet. Zuerst wird die menschliche Wahrnehmung erläutert, da auf diesen die Kriterien zur Evaluierung der Komponenten klassifiziert werden. Anschließend werden die Technologien der Komponenten des Prototypen vorgestellt, um einen Einblick auf die Funktionsweise zu liefern. Mit den technischen Grundlagen können Kriterien zur Bewertung der Technologien aufgestellt werden. Zuletzt werden die vorhandenen Bussysteme in Fahrzeugen vorgestellt und miteinander verglichen.

### 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. [Ste20, Vgl. Seite 10 ff.] Abbildung 2.1 veranschaulicht diesen Zusammenhang mit der optischen Informationsaufnahme über die Physik, Physiologie und der Psychologie. [BSS17, Vgl. Seite 13 f.]



**Abbildung 2.1:** Visuelle Wahrnehmung

Ein bekanntes Beispiel für das Zusammenwirken zwischen den Sinnen, ist die Ausrichtung der Augen und des Kopfes durch das Hören von besonderen Geräuschen, wie einer Explosion.

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 Wahrneh-

mungsarten vertieft erläutert. Der Fokus ist auf die visuelle Wahrnehmung gerichtet, da dort der Schwerpunkt der späteren Arbeit liegt. Zu allen Wahrnehmungen wird auf die 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 und daneben, wie oben erwähnt, aus dem Zusammenspiel der anderen Sinnesorgane.

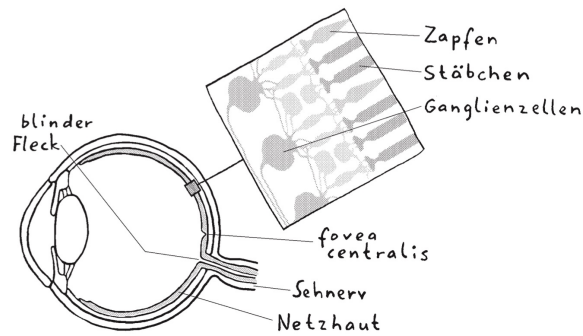
Das Auge besitzt lichtempfindliche Zellen. Die Zellen werden dabei zwischen Stäbchen und Zapfen unterschieden. Die Mehrzahl an Zellen bilden die spektral unempfindlichen Stäbchen, mit ca. 120 Millionen pro Auge, während nur eine geringe Anzahl von 7 Millionen pro Auge farbempfindliche Zapfen sind. Durch den Unterschied in der Anzahl ist zum Beispiel 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 einen 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]

Abbildung 2.2 zeigt eine schematische Darstellung eines Auges mit der Vergrößerung eines Teilbereiches. In dem Teilbereich sind die Stäbchen und Zapfen dargestellt.

Menschen können dabei nicht von ihrem Standpunkt aus den gesamten Raum betrachten, sondern durch biologischen Gegebenheiten immer nur ein eingeschränktes Feld. Das Blickfeld deckt in der Horizontalen ca.  $180^\circ$  und in der Vertikalen  $120^\circ$  ab. Von diesem Blickfeld sind nur ca.  $1,5^\circ$  in beiden Dimensionen als scharfes Bild sichtbar.

Durch Bewegungen des Auges und des Kopfes werden verschiedene scharfe Bereiche abgedeckt. Unser Gehirn fügt diese Bereiche zusammen, um ein ganzheitliches scharfes Blickbild zu erzeugen. [BSS17, Vgl. Seite 14]

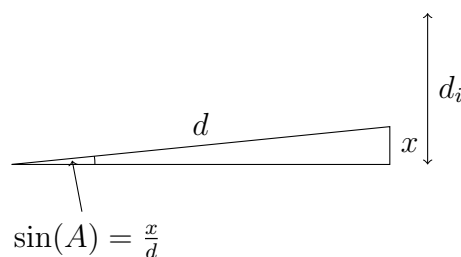
Interessant für die Bewertung der optischen Komponenten ist das Sehvermögen des Auges, Pixel bei einer bestimmten Distanz noch zu erkennen. Das Auflösungsvermögen beschreibt den kleinsten Winkel zwischen zwei Punkten, die noch als getrennt wahrgenommen werden. In der Literatur wird das Auflösungsvermögen  $A$  des menschlichen



**Abbildung 2.2:** Schematische Darstellung eines Auges mit den Nervenzellen [Sch13, Seite 141]

Auges auf  $1' = \frac{1}{3000}^\circ = 0,0167^\circ$  angegeben. Mithilfe von trigonometrischen Rechnungen kann der Abstand  $x$  der zwei Punkte bei einer bestimmten Entfernung  $d$  und die dazu gehörige Pixeldichte  $P$  in ppi (pixel per inch) berechnet werden. Die Bezugslänge  $d_i$  für die Pixeldichte ist häufig ein Inch. [LNS20, Vgl. Seite 209 f.]

Als ein Bewertungskriterium von zweidimensionalen Anzeigen dient die Pixeldichte. Die Pixeldichte beschreibt, wie viele einzelne LEDs in einer bestimmten Richtung vorhanden sind. Je näher der Betrachter an der Anzeigefläche steht, desto höher muss die Pixeldichte sein, damit der Betrachter einzelne Pixel nicht erkennt. Bei Bildschirmen besteht die Möglichkeit, dass die Pixeldichte in die Höhe und in die Breite unterschiedlich ist. Wenn dies der Fall ist, wird häufig die Pixeldichte in diagonaler Richtung bestimmt. Die Skizze 2.3 beschreibt die Zusammenhänge der genannten Größen.



**Abbildung 2.3:** Skizze zur Berechnung der Pixeldichte

$$x = \sin(A) \cdot d \quad (2.1)$$

$$P = \frac{d_i}{x} \quad (2.2)$$

Die Tabelle 2.1 bildet eine Aufstellung über die Entfernung zwischen dem Auge und der Oberfläche mit der benötigten Pixeldichte.

**Tabelle 2.1:** Berechnung der benötigten Pixeldichte bei einer bestimmten Entfernung

Entfernung	Pixeldichte
0,3 m	291 ppi
0,5 m	175 ppi
1,0 m	87 ppi
2,0 m	44 ppi
3,0 m	29 ppi
5,0 m	17 ppi
8,0 m	11 ppi
10 m	9 ppi

### 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.

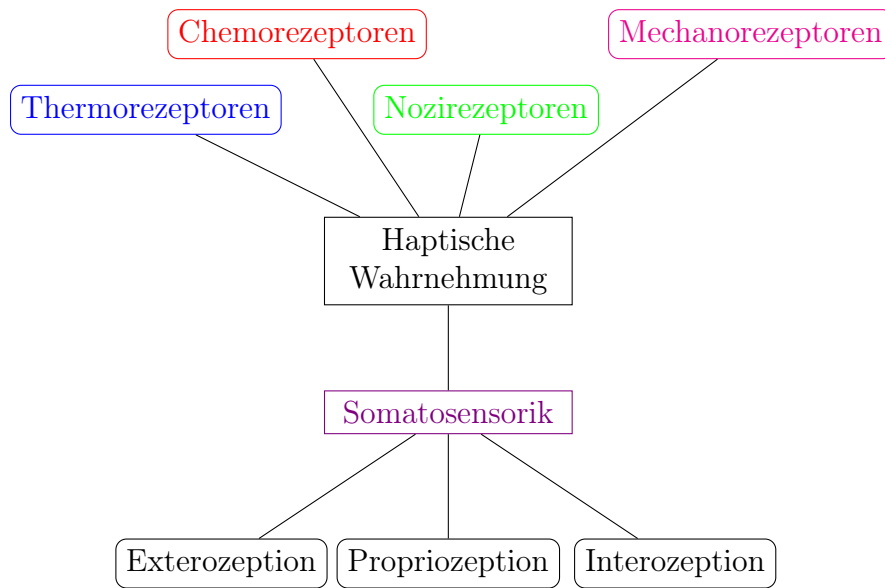
Die Mechanorezeptoren können wiederum in unterschiedliche Arten eingeteilt werden, die auf Druck, Berührung oder Vibration reagieren. [Spr20, Vgl. Seite 26 f.]

Eine Übersicht bietet die Grafik 2.4. Oben sind die unterschiedlichen Rezeptoren für die haptische Wahrnehmung zu sehen, während unten die Einteilung der Sinneszellen in die unterschiedlichen Wahrnehmungsarten erfolgt. 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]

Das folgende Zitat beschreibt deutlich die Relevanz der haptischen Wahrnehmung für



**Abbildung 2.4:** Haptische Wahrnehmung

eine multisensuelle Gesamtinszenierung.

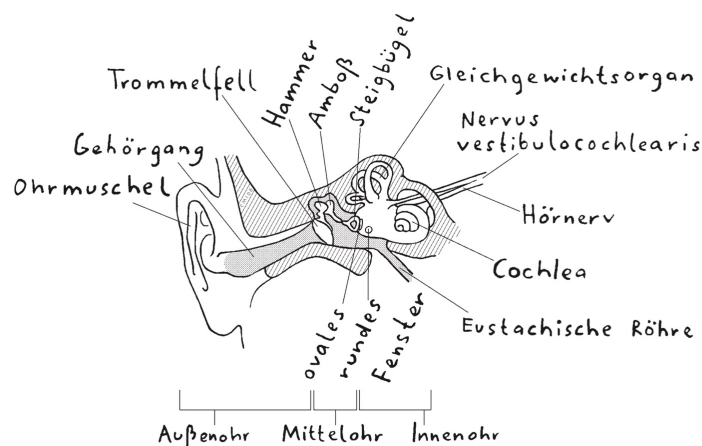
„Die Verknüpfung der haptischen Wahrnehmung mit projizierten Simulationen zeigt letztendlich den Wunsch nach Kombinationen zu multisensuellen Interfaces, die allerdings nicht mehr die audiovisuelle Wahrnehmung als strikt dominant betrachten und die haptische Wahrnehmung ausschließlich als unterstützenden 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 und 20.000 Hertz 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, Am-

boss, 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.] Das Bild 2.5 zeigt einen schematischen Aufbau des Gehörgangs mit den oben beschriebenen Teilen.

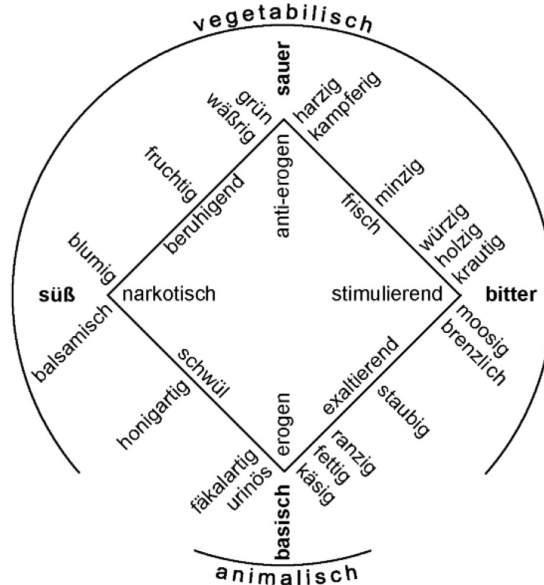


**Abbildung 2.5:** Schematische Darstellung des Gehörgangs mit den unterschiedlichen Bereichen [Sch13, Seite 219]

### 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. Durch chemische Reize in den Rezeptoren der Zellen werden spezifische Entladungsmuster an evolutionär ältere Gehirnareale und das limbische System gesendet. 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. Der Begriff „blumig“ beschreibt Gerüchen, die dem Geruch von Blumen ähneln. [Kel19, Vgl. Seite



**Abbildung 2.6:** Duftkreis nach P. Jellinek [Sch13, Seite 105]

29 ff.] Diese Klassifikation bei Gerüchen ist dabei nicht eindeutig, da die Zuordnung von Gerüchen zu Objekten Überschneidungen mit anderen Gerüchen haben können. Eine bessere erste 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 105 f.]

Paul Jellinek klassifiziert Gerüche auf einer zweidimensionalen Karte 2.6 zwischen süß - bitter und basisch - sauer. [Sch13, Vgl. Seite 104]

Erste Überlegungen zur gesteuerten Stimulierung von Fahrzeuginsassen bildet das folgende Zitat: „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 122 f.]

Dabei ist der Einsatz von Düften in Fahrzeugen stets behutsam anzuwenden.

„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.]

Die meisten LEDs sind SMD-Bauteile (Surface-mounted device) und sitzen in einem Kunststoff-, Keramik- oder Epoxidharzgehäuse. Damit besitzen sie eine kompakte Bauform im Vergleich zu klassischen Glühlampen.

Um eine Hintergrundbeleuchtung mit Hilfe von LEDs zu erzeugen kann ein Leuchtkörper mit einer Vielzahl an LEDs hinter einer Streulichtscheibe verbaut werden. Dadurch wird für eine homogene Darstellung eine geringe Pixeldichte benötigt. [LNS20, Vgl. Seite 194] Zum Erzeugen von weißem Licht strahlen drei verschiedene LEDs mit den Farben rot, grün und blau gleich hell. 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.

### 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 nachgeführten 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 Herstellung.

### 2.2.4 Videoprojektoren

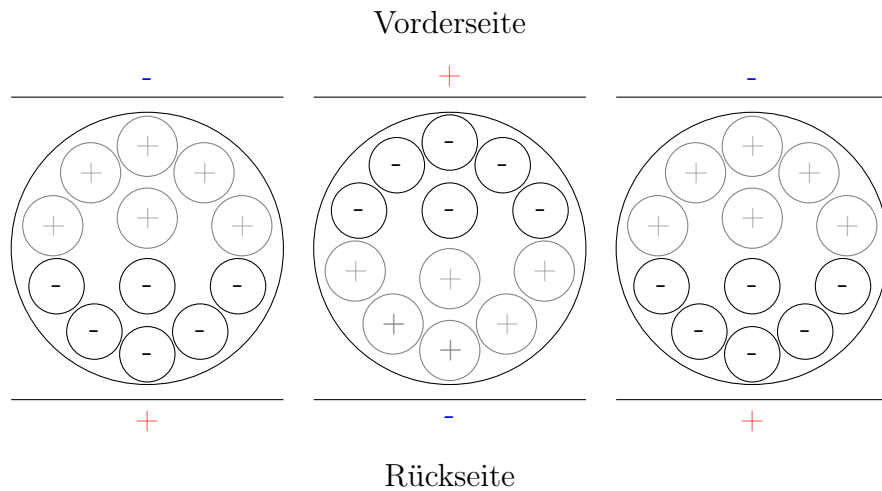
Videoprojektoren können auf Basis unterschiedlicher Technologien, die für differenzierte Situation angepasst sind, eingesetzt werden. Unterschiedliche Arten von Projektoren sind zum Beispiel LCD-, DLP- (Digital Light Processing), LED-, LCoS- und Laser-Projektoren.

Zu 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

Elektronisches Papier (E-Papier) ist eine Bezeichnung für Bildschirme, deren visuelle Anmutung Papier entspricht und deren Inhalt durch Elektronik gesteuert wird. 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 be-



**Abbildung 2.7:** Schichtaufbau eines E-Papiers

leuchtet. 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.]

Die Abbildung 2.7 zeigt den Schichtaufbau eines E-Papiers.

E-Papiere benötigen 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.



**Berechnung der Datengröße eines Bildes** Zur Berechnung der Datengröße eines Bildes kann die Rohdatenmenge für jeden Pixel herangezogen werden. Jedes Pixel benötigt Informationen, wie es leuchten soll. Bei schwarz-weiß Displays benötigt ein Pixel nur die Information wie stark es leuchten soll, bzw. wie stark abdunkeln. Bei farbigen Displays werden für die drei Grundfarben Informationen benötigt. Diese Informationen werden als Farbtiefe bezeichnet.

Die Farbtiefe gibt an, wie viele unterschiedliche Farben gespeichert werden können. Bei einer Farbtiefe von 8 Bit können 256 unterschiedliche Farben dargestellt werden. Je größer die Farbtiefe desto höher ist die Datenmenge. Die Farbtiefe sollte danach ausgelegt werden, welche Farbqualität für ein Bild gewünscht ist und welche Genauigkeit das Anzeigemedium zur Verfügung stellt. Die Rohdatenmenge ist das Produkt aus der Anzahl der Pixel und der Farbtiefe. [Sto19, Vgl. Seite 297 f.]

Durch Algorithmen kann diese Datenmenge komprimiert werden, indem Informationen gelöscht werden, die eine Geringe Relevanz für die Betrachter besitzen, oder strukturelle Wiederholungen im Datenspeichersatz gekürzt werden. Die Datenkompression kann je nach Kompressionsalgorithmus eingeteilt werden in verlustbehaftete und verlustfreie Kompression. Bei einer verlustfreien Kompression kann das originale Bild aus dem Komprimierten wiederhergestellt werden, was bei verlustbehafteten Kompression nicht der Fall ist.

Kompression benötigt für eine Dateneinsparung Rechenleistung bei der Kompression und Dekompression. Deswegen ist abzuwägen, wie stark die Datenkompression bei Daten eingesetzt werden soll.

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. Für den Komprimierungsfaktor  $KF$  wird hier ein Mittelwert von 12 angenommen. [BSS18, Vgl. Seite 22]

$$\text{Datenmenge} = \frac{P \times PZ \times FT}{KF} \quad (2.3)$$

$$= \frac{1920 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1080 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{12} \quad (2.4)$$

$$= 1.382.400 \text{ Bit} = 1,3824 \text{ MBit} = 172,8 \text{ KByte} \quad (2.5)$$

## 2.3 Bordnetz

Zur Kommunikation zwischen Steuergeräten von Fahrzeugkomponenten werden unterschiedliche Bussysteme genutzt.

Im folgenden werden die gängigen Bussysteme in der Fahrzeugtechnik vorgestellt, um für den späteren Konzeptentwurf die notwendigen Grundlagen zu kennen. Im Anschluss erfolgt ein Vergleich zwischen den Merkmalen der einzelnen Bussysteme. [Sch16, Vgl. Seite 124 ff.]

### 2.3.1 Controller Area Network (CAN)

CAN wird zum Austausch von Mess-, Steuer- und Regelsignalen genutzt. Es ist ein bitstrom-orientiertes System. Es basiert auf Differenzsignalübertragung und benutzt dazu verdrehte Leiterpaare. Als ereignisgesteuertes System wird das Senden von Nachrichten durch ein Ereignis ausgelöst. [Wol18, Vgl. Seite 15 ff.]

Der High-Speed CAN besitzt Bitraten 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 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. [Bor21, Vgl. Seite 138 ff.] LIN ist ein Master-Slave gesteuertes Netzwerk, worin der Master die gesamte Kommunikation steuert, indem er die Slaves nach einem Zeitplan Berechtigungen zum Senden gibt. 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. Die Nutzdatenmenge beträgt dementsprechend ca.  $800 \frac{\text{Byte}}{\text{s}}$ . [ZS14, Vgl. Seite 94 f.]

### 2.3.3 FlexRay

Mit dem Hintergrund, dass bei CAN keine deterministischen Aussagen zur Latenz getroffen werden können, wurde der FlexRay zum Austausch zeitkritischer Mess-, Steuer- und Regelsignalen mit hoher Fehlersicherheit entwickelt. 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.]

**Performance** Die Nutzdatenmenge beträgt je nach Bitrate  $1000 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$  pro Kanal bei einem Bittakt von  $10 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$ . [ZS14, Vgl. Seite 118 f.]

### 2.3.4 Media Oriented Systems Transport (MOST)

MOST ist für Telematik- und Multimedia- Anwendungen mit hohen Übertragungsbandbreiten konzipiert. Die Botschaften werden dabei nach Kanälen, in denen sich Audio-, Video- oder andere Daten befinden, gruppiert. Die Bitraten betragen in unterschiedlichen Stufen  $25 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$ ,  $50 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$  und  $150 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$ .

**Performance** Nutzdatenrate liegt 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

Automotive Ethernet ist standardisiert in der IEEE 802.3 und basiert auf dem normalen Ethernet Protokoll. Der Unterschied besteht im Nutzen von einem Paar ungeschirmt verdrehte Drahtleitungen durch eine

**Performance** Es sind bis zu 1500 Byte Nutzdaten pro Frame möglich. Es ergibt sich eine maximal mögliche Nutzdatenmenge bei einem Bittakt von  $10 \frac{\text{MBit}}{\text{s}}$  von ca.  $10 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$ . [ZS14, Vgl. Seite 138 ff.]

### 2.3.6 Vergleich der einzelnen Bussysteme

Im folgenden werden die oben vorgestellten Bussysteme miteinander verglichen in Tabelle 2.2 anhand der Bittakt- und Nutzdatenrate.

**Tabelle 2.2:** Vergleich der Bittakt- und Nutzdatenraten der Bussysteme

Bussystem	Bittakt	Nutzdatenrate
LIN	$19,2 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$	$0,8 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$
CAN Low-Speed	$125 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$	$7,4 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$
CAN High Speed	$500 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$	$29 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$
FlexRay	$10.000 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$	$1.000 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$
MOST25	$25.000 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$	$2.600 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$
MOST50	$50.000 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$	$5.600 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$
MOST150	$150.000 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$	$17.800 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$
Automotive Ethernet	$100.000 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$	$10.000 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$

## 3 Fahrzeugprototyp

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 sein Erscheinungsbild verändern kann.

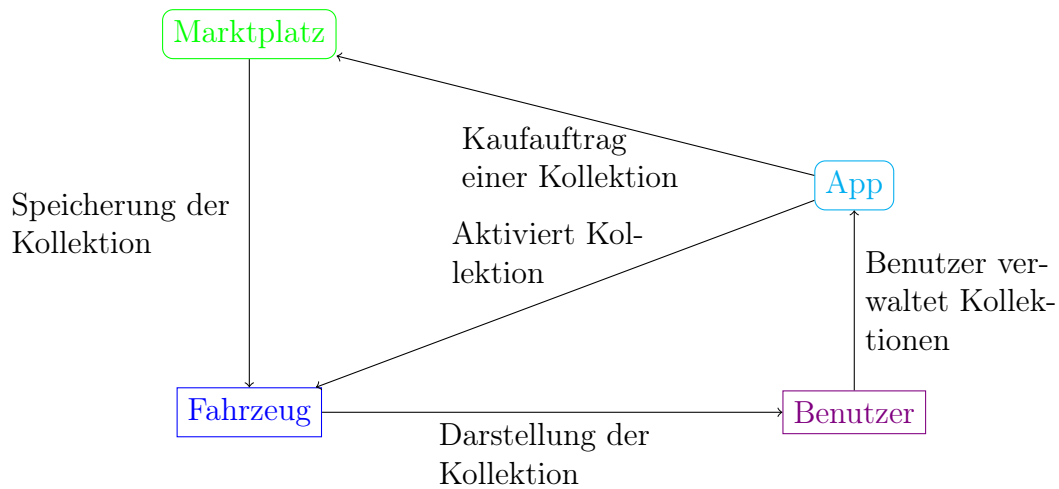
Unter der übergeordneten Vision, das Fahrzeug als Leinwand zu betrachten, bildet das Gesamtkonzept des Prototypen einen möglichen ersten Schritt in Richtung der Vision.

### 3.1 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 Bestandteile werden als „Collectible“ bezeichnet. Die Gesamtinszenierung der Kollektion wird durch bestimmte Trigger, wie zum Beispiel das Entriegeln der Türen, aktiviert.

Das Zusammenspiel zwischen den einzelnen Domänen im Kauf und der Verwaltung der Kollektion, beschreibt das Diagramm 3.1. Der Benutzer interagiert mit einer App. Durch den Kaufauftrag vom Benutzer in der App, wird die gewünschte Kollektion auf das Fahrzeug geladen. Durch Aktivierung der Kollektion in der App, wird die Kollektion dem Benutzer angezeigt.

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



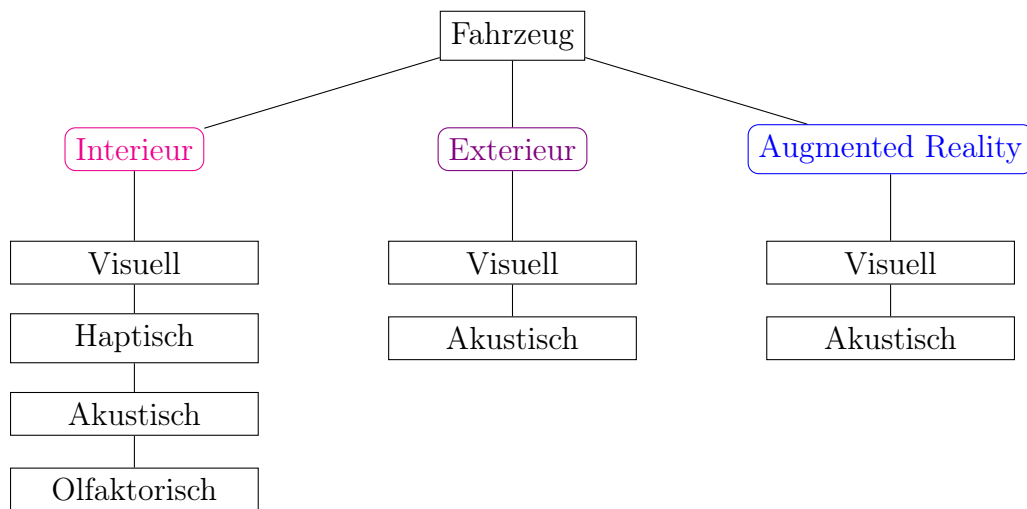
**Abbildung 3.1:** Blockdiagramm Kollektionsverwaltung Gesamtkonzept

Collectibles der Kollektionen. Diese werden mit Hilfe einer eigenen App auf einem Mobiltelefon angezeigt. Weitere Informationen zu den Grundlagen von AR finden sich in den Literaturquellen [Dör+19], [Gra20] und [Has+22].

Die App ist für den Besitzer das zentrale Bediensystem, 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 Collectibles zu den Kollektionen können auf dem Mobiltelefon gezeigt werden.
- Einzelne Collectibles 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 Fahrzeugs ganzheitlich verändern.



**Abbildung 3.2:** angesprochene Sinne nach Fahrzeugbereich

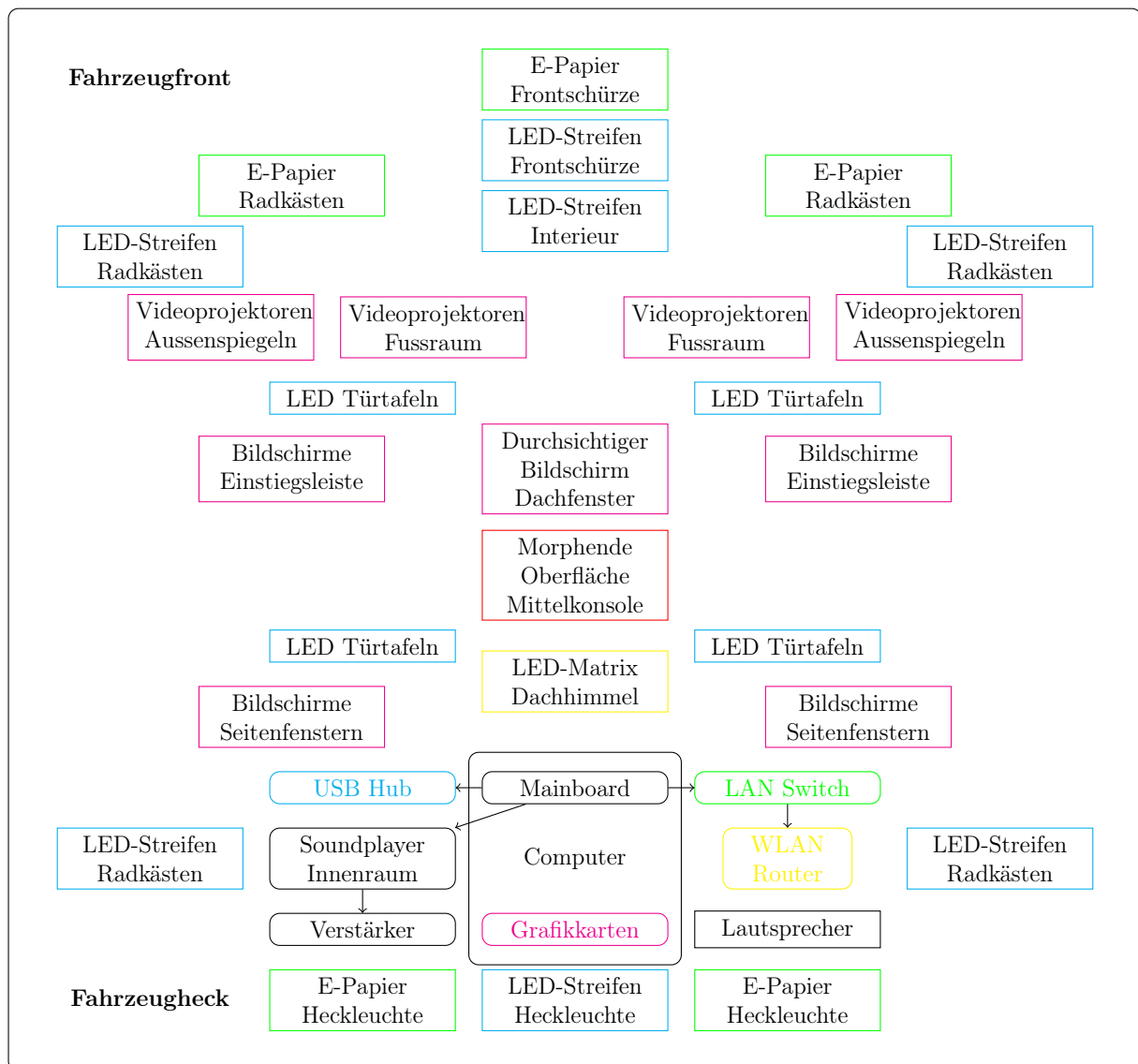
Das Diagramm 3.2 teilt den drei Grundbereichen die verwendeten Sinneseindrücke zu. Für das Gesamtkonzept wurden vier unterschiedliche Kollektionen erstellt. Die Collectibles zeigen je nach Trigger unterschiedliche Inhalte trotz gleicher Kollektion. Das Gesamtkonzept beinhaltet ein Ökosystem für den Handel und die Interaktion für Kollektionen als digitale Wertgegenstände.

## 3.2 Beschreibung

Der Prototyp wurde unter den Leitlinien des Gesamtkonzeptes entwickelt. Die Basis des Prototypen bildet ein produziertes elektrisches Serienfahrzeug. An dem Fahrzeug wurden im Exterieur und Interieur entweder Teile ergänzt oder mit neuen Komponenten getauscht, 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, sondern nur passende Düfte für die Kollektionen. 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.

Die Grafik 3.3 zeigt alle Komponenten im Fahrzeug aus der Vogelperspektive. Die Farben zeigen, von welchem Bauteil die Komponenten angesteuert werden.



**Abbildung 3.3:** Anordnung der Komponenten im Fahrzeug aus der Vogelperspektive



## 3.3 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.

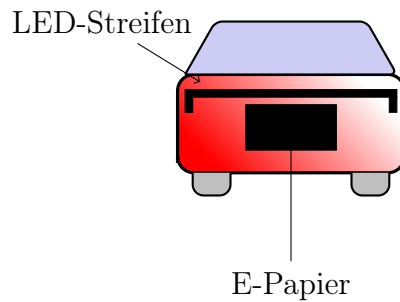
Im Exterieur sind dies:

- ein E-Papier und ein durchgehendes LED-Streifen in der Frontschürze
- E-Papier 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

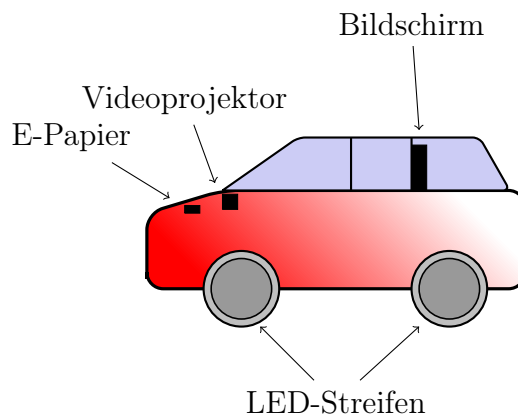
Die folgende Grafiken zeigen die Front-, Seiten- und Heckansicht des Fahrzeugs (3.4, 3.5 und 3.6). Im folgenden werden alle Exterieur Komponenten näher betrachtet:

### 3.3.1 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 Front-



**Abbildung 3.4:** Frontansicht des Fahrzeugs mit den Komponenten



**Abbildung 3.5:** Seitenansicht des Fahrzeugs mit den Komponenten

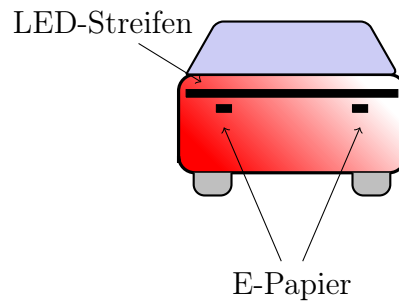
lichter ab. Das E-Papier bewirkt mit der Laminierung an der Scheibe einen räumlichen Effekt, wonach das Markenlogo vor dem E-Papier erscheint.

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  $2560 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1440 \text{ Zeilen}$ , wovon ein Teil des Bildschirms am Rand durch eine Abmaskierung nicht sichtbar ist.

#### 3.3.2 LED-Streifen in der Frontschürze

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



**Abbildung 3.6:** Heckansicht des Fahrzeugs mit den Komponenten

Auf dem Streifen können dynamische bunte Lichtsequenzen gezeigt werden. 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.

#### 3.3.3 E-Papiere 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 können genutzt werden, 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  $1600 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1200 \text{ Zeilen}$ , wodurch auch bei näherer Betrachtung noch ein scharfes Bild sichtbar ist.

### 3.3.4 LED-Streifen in den Radkästen

In allen vier Radkästen befinden sich LED-Streifen am äußeren Rand und strahlen durch eine Leiste in den Innenraum Radkasten 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.

### 3.3.5 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  $1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 800 \text{ Zeilen}$ .

### 3.3.6 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.

#### 3.3.7 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.

#### 3.3.8 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.

### 3.4 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.

#### 3.4.1 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.

#### 3.4.2 LED Türtafeln

In allen vier Türverkleidungen befinden sich unterhalb des LED-Streifens ein LED-Feld hinter einer Abdeckung mit durchsichtigen Sternen. Die Sterne können mit unterschied-

lichen Farben angestrahlt werden, womit sie die Wirkung des LED-Streifens unterstützen.

#### 3.4.3 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  $1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1024 \text{ Zeilen}$ .

#### 3.4.4 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  $1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 800 \text{ Zeilen}$ , womit für den Betrachter des Fußraumbodens ein scharfes Bild erscheint.

#### 3.4.5 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.

### **3.4.6 Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster**

An das Dachfenster wurde ein durchsichtiger Bildschirm geklebt, der 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.

### **3.4.7 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.

### **3.4.8 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.

### **3.4.9 Bildschirmoberflächen im Cockpit**

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

### **3.4.10 Soundplayer im Innenraum**

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



## 3.5 Ansteuerung

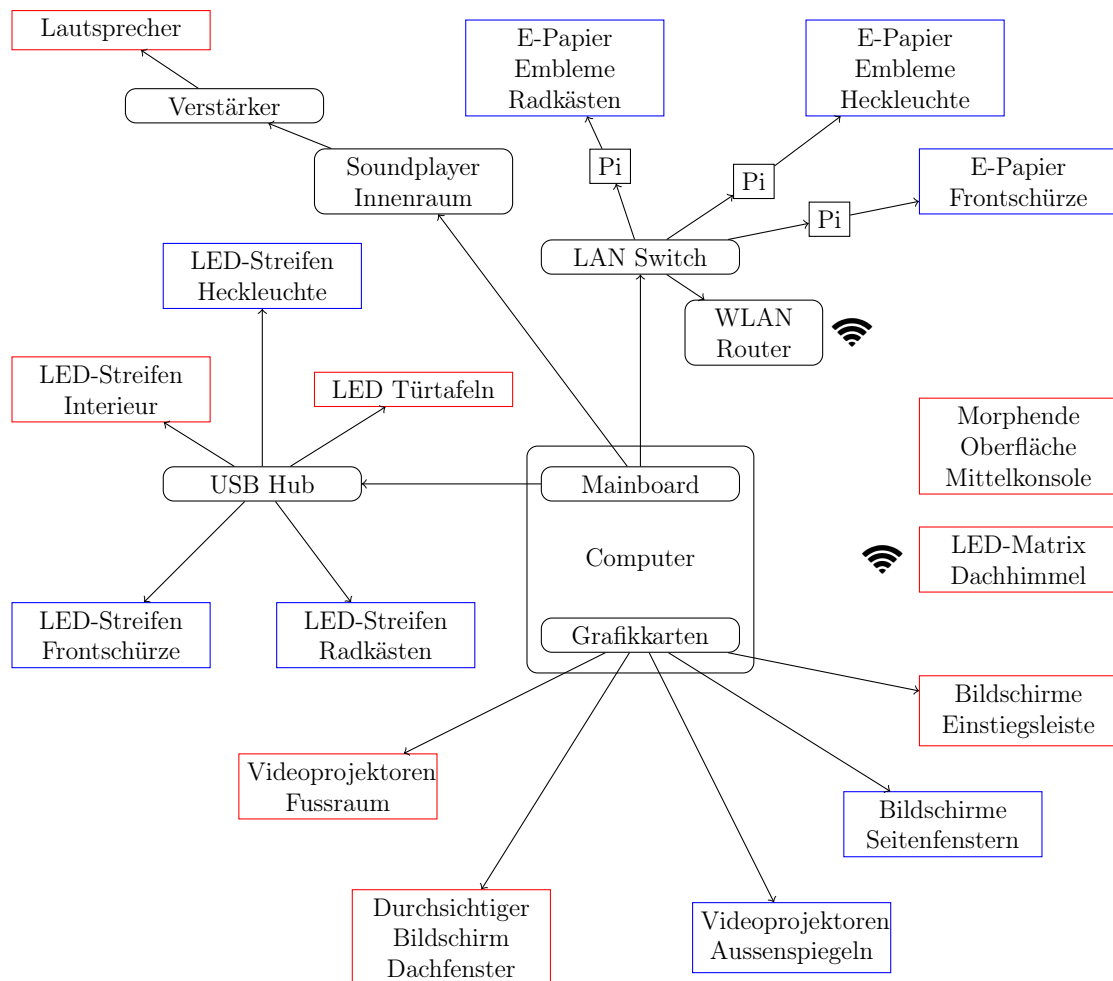
Die Ansteuerung der Komponenten erfolgt über einen zentralen Computer mit Windows-Betriebssystem, der sich im Kofferraum des Fahrzeuges befindet. Dieser hat die Informationen für die Komponenten in einem lokalen Verzeichnis gespeichert. Die Komponenten sind mit dem zentralen Computer verbunden. In dem Diagramm 3.7 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 per USB (Universal Serial Bus) am Computer über ein USB Hub kontaktiert. Die E-Papier Bildschirme werden von Raspberry Pis (Pi) angesteuert und sind mit dem Rechner über LAN (Local Area Network) angeschlossen. Der Dachhimmel wird über WLAN (Wireless Local Area Network) 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 3.7:** Ansteuerung Komponenten im Prototypen

## 4 Anforderungsanalyse der Komponenten des Prototypen für eine Serienimplementierung

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

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

Am Beispiel des Bildschirms in der Einstiegsleiste wird die Größe im Prototyp in Bezug auf seine Funktionalität hinsichtlich der Darstellung der vorgesehenen Inhalte geprüft.

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 Eignung nach rechtlichen, wirtschaftlichen und technischen Kriterien zu bewerten.

Für einen Überblick über die Erkenntnisse fasst das Unterkapitel 4.4 die Analyse zusammen.

## 4.1 Kriterien für den Einbau der Komponenten in Serienfahrzeuge

Mit den folgenden Kriterien kann eine Analyse des Ist-Zustandes der Komponenten 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 in der Beurteilung der Machbarkeit. 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. 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 in der technischen Analyse des Informationsbedarfs. Zusätzlich 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 Vorgaben 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 Grundvoraussetzung für die Erstellung eines positiven Geschäftsplans, in Abstimmung mit Produktstrategen, Marketingexperten und Kalkulatoren.

In einer ersten Produktbewertung können alle möglichen Leistungen zu den Kosten verglichen werden.

**Leistungen** Zu den Leistungen gehören in erster Linie zusätzliche Umsatzerlöse durch den Verkauf der Komponenten als Sonderausstattung und der digitalen Inhalte. Darüber hinaus werden nicht monetäre Leistungen durch Imageverbesserung erzielt.

**Kosten** Kosten entstehen durch Entwicklung, Beschaffung, Logistik Produktion, Verwaltung und Marketing.

**Gesamtbetrachtung** In der folgenden Tabelle 4.1 werden die möglichen Einnahmen den Kosten gegenüber gestellt. Diese wirtschaftlichen Kriterien werden in dieser Arbeit

**Tabelle 4.1:** Mögliche Einnahme- und Kostenquellen

Kosten	Leistungen
Entwicklung	Verkauf als Sonderausstattung
Beschaffung	Verkauf von Kollektionen
Logistik	Verkauf von digitalen Diensten
Produktion	Aufwertung des Markenimages
Verwaltung	
Marketing	

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. Optik
6. Wartungsfähigkeit
7. Informationsbedarf

Je nach Beschaffenheit der Komponenten können diese Gebiete unterschiedlich relevant sein.

**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, die das Fahrzeug hinreichend zur Verfügung stellen kann.

**Optische Kriterien** Unter optischen Kriterien fallen alle allgemein gültigen Designprinzipien in der Produktentstehung. Darunter versteht sich die Harmonie der Komponenten mit der Umgebung, die Vermeidung von Bildschirmrändern usw.. Daneben ist die Einhaltung einer genügend hohen Pixeldichte nach der Formel aus Kapitel 2 zu gewährleisten.

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

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

**Berechnungsannahmen** Für die Berechnung des Informationsbedarfs und des Speicherbedarfes müssen Annahmen getroffen werden, da in dieser Projektphase diese noch nicht getroffen wurden.

Als erste Annahme sind genau zehn Kollektionen im Fahrzeug gespeichert. Jede Kollektion hat aber nicht nur einen Inhalt pro Komponente, sondern möglicherweise angepasste Inhalte für unterschiedliche Trigger. Deshalb soll für die Speicherabschätzung mit fünf Inhalten pro Komponente ausgegangen werden.

Inhalte können entweder Bilder oder Videos sein. Bei Bildern und Videos wird ein Kompressionsfaktor von zehn genutzt, da dieser Wert ein üblicher Mittelwert in der Kompression zum Beispiel mit JPEG ist. Bei Anzeigeflächen mit geringer Pixelanzahl wird ohne Kompressionsfaktor gerechnet, da dort die Datenmengen von vornherein gering sind.

Die Farbtiefe wird mit 8 Bit pro Farbe angesetzt, da dies zum Beispiel bei JPEG genutzt wird. Bei Videos wird mit einer Frame-Rate von 24 Bildern pro Sekunde ausgegangen und einer Länge von zehn Sekunden.

## 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 Bildschirminhalte 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.

Bei einer physikalischen Dimensionierung mit einer möglichen Breite bei unterschiedlichen Fahrzeugmodellen von 80 bis 100 cm und einer Höhe von 50 bis 60 cm ist die Stabilität des E-Papiers zu prüfen, da die Lage im Kotflügel besonders exponiert ist.

Das zusätzliche Gewicht des Bildschirms ist an der vorderen Kotflügelbefestigung auf-



zunehmen.

Mit einer Auflösung von 2560 Pixel pro Zeile zu 1440 Zeilen und einer Farbtiefe von 16 Stufen benötigt das Display mit der Formel 2.3 pro Bild einen Speicher  $S$  von 369 kByte.

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

$$= 369 \text{ kByte} \quad (4.2)$$

Bei zehn Kollektionen mit jeweils fünf Bildern benötigt man einen Speicher von 18 MByte. Die Pixeldichte des Bildschirms beträgt bei einer Breite von 691,2 mm und einer Höhe von 388,8 mm:

$$P = \frac{2560 \text{ Pixel}}{27,2 \text{ inch}} = 94 \text{ ppi} \quad (4.3)$$

Mit dieser Pixeldichte wirkt das Bild scharf bis zu einer Entfernung von einem Meter. 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.

$$S = 332 \text{ Pixel} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}. \quad (4.4)$$

$$= 996 \text{ Byte} \quad (4.5)$$

Für ein Video von zehn Sekunden Länge wird ein Speicher  $S$  von

$$S = 996 \text{ Byte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.6)$$

$$= 239 \text{ kByte} \quad (4.7)$$

benötigt. Bei insgesamt 50 Inhalten bedeutet das 12 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.

### 4.2.3 E-Papiere über den vorderen Radkästen

Bei den E-Papieren an den Fahrzeugseiten muss, wie oben erwähnt, geprüft werden, ob sie als Beleuchtung gelten.

Aus Sicht der Kunden ist die Lage neben den Fronttüren ideal, um Objekte 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 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 Stromversorgung 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.

$$S = \frac{1600 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1200 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.8)$$

$$= 192 \text{ kByte} \quad (4.9)$$

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

Die Pixeldichte beträgt bei einer Breite von 20 cm ca. 200 ppi. Bis zu einem halben Meter Distanz ist das Bild für den Betrachter scharf.

#### 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 und Beschädigung des Lichtleiters ist durch eine geeignete Konstruktion zu verhindern.

Aus Kundensicht muss geprüft werden, ob die Betonung des Schmutzfänger Bereichs generell 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 zehn Sekunden benötigt pro Radkasten bei einer Bildwiederholungsrate von 24 fps einen Speicher von 144 kByte.

$$S = 200 \text{ Pixel} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}} \quad (4.10)$$

$$= 600 \text{ Byte} \quad (4.11)$$

$$S = 600 \text{ Byte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.12)$$

$$= 144 \text{ kByte} \quad (4.13)$$

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 zu bewerten.

Die angestrahlte Fläche auf dem Boden reicht im besten Fall über die gesamten Seitentüren und bis zu 1 m vom Fahrzeug weg. Der Betrachter soll bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen noch ein möglichst kontrastreiches und helles Bild erkennen.

Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1280 und 800 Zeilen ein Speichergröße von ca. 256 kByte.

$$S = \frac{1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 800 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.14)$$

$$= 307 \text{ kByte} \quad (4.15)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt eine Videoprojektor einen Speicher von 74 MByte.

$$S = 307 \text{ kByte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.16)$$

$$= 74 \text{ MByte} \quad (4.17)$$

Insgesamt wird ein Speicher in Höhe von 3,7 GByte benötigt.

Die Projektionsfläche auf dem Boden beträgt in der Breite ca. 1,20 m und in der Höhe 0,75 m. Damit ergibt sich eine Pixeldichte von 27 ppi. Die Pixeldichte reicht bis zu einer Entfernung von ca. drei Metern aus.

### 4.2.6 Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern

Rechtlich ist die Zulässigkeit wegen möglicher Ablenkungen von Straßenverkehrsteilnehmern zu prüfen. Das Verkleinern der Fensterfläche ist dahingehend zu bewerten, ob dies mit Kundeninteressen vereinbar ist. Die Crashesicherheit an dieser Stelle und die Stabili-

tät ist wichtig, da sich diese Komponente in unmittelbarer Nähe zu den Fahrzeuginsassen befindet. Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1280 und von 800 Zeilen ein Speichergroße von ca. 307 kByte.

$$S = \frac{1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 800 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.18)$$

$$= 307 \text{ KByte} \quad (4.19)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 73,7 MByte.

$$S = 307 \text{ kByte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.20)$$

$$= 73,7 \text{ MByte} \quad (4.21)$$

Insgesamt wird ein Speicher pro Bildschirm von 3,7 GByte benötigt.

Mit einer Breite von 30 cm besitzt das Display eine Pixeldichte von 108 ppi und bildet bis zu einer Distanz von circa einem Meter ein scharfes Bild ab.

### 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 1,2 kByte.

$$S = 391 \text{ Pixel} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}} \quad (4.22)$$

$$= 1,2 \text{ kByte} \quad (4.23)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge sind 282 kByte erforderlich.

$$S = 1,2 \text{ kByte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.24)$$

$$= 282 \text{ kByte} \quad (4.25)$$

Insgesamt wird ein Speicher von 14 MByte benötigt. Der Strombedarf für das gesamte Lichtband beträgt ca. 128 W

### 4.2.8 E-Papier in der Heckleuchte

Die E-Papiere in der Heckleuchte haben ähnliche Eigenschaften wie die E-Papiere 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 erfolgen. Der Strombedarf und Datenspeicherbedarf von 160 kByte pro Bild sind gleich mit dem anderen E-Papier.

$$S = \frac{1600 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1200 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.26)$$

$$= 192 \text{ kByte} \quad (4.27)$$

Für 50 Bilder sind es dementsprechend 9,6 MByte. Die Pixeldichte beträgt das Gleiche wie beim Emblem am Radkasten.

## 4.3 Analyse der Interieur-Komponenten

Im folgenden werden die einzelnen Interieur-Komponenten mit den Kriterien, die in 4.1 definiert wurden, analysiert.

### 4.3.1 LED-Streifen im Interieur

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

Bei einer Anzahl von 719 LED benötigt der LED Streifen eine Leistung von 230 W. Für eine Inszenierung von zehn Sekunden Länge benötigt der LED-Streifen Speicherplatz in der Höhe von 26 MByte.

$$S = 719 \text{ Pixel} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}. \quad (4.28)$$

$$= 2,2 \text{ kByte} \quad (4.29)$$

$$S = 2,2 \text{ kByte} \cdot 24 \text{ fps} \cdot 10 \text{ s} \quad (4.30)$$

$$= 518 \text{ kByte} \quad (4.31)$$

Für 50 Videos beträgt die Speichergröße 26 MByte.

### 4.3.2 LED-Türtafeln

Rechtlich gesehen ist zu prüfen, ab welchem Helligkeitsgrad und ab welcher 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 320 mW 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 zum Beispiel Kugelfalltest, positiv. Technische Herausforderungen an dieser Stelle sind Feuchtigkeitsschutz, Temperaturempfindlichkeit, und Kratzfestigkeit. Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1280 und von 1024 Zeilen ein Speichergröße von ca. 393 kByte.

$$S = \frac{1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1024 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.32)$$

$$= 393 \text{ kByte} \quad (4.33)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 94 MByte. Insgesamt bei 50 Videos beträgt der benötigte Speicher 4,7 GByte.

Bei einer Breite von 30 cm beträgt die Pixeldichte 108 ppi. Damit ist die Betrachtung von bis zu einem Meter scharf.

### 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. Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1280 und von 800 Zeilen ein Speichergröße von ca. 307 kByte.

$$S = \frac{1280 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 800 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.34)$$

$$= 307 \text{ kByte} \quad (4.35)$$



Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 74 MByte. Insgesamt bei 50 Videos beträgt der benötigte Speicher 3,7 GByte. Die Pixeldichte beträgt bei einer Breite von 30 cm 108 ppi. Damit ist die Betrachtung von bis zu einem Meter scharf.

### 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 Pixelelemente 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

Herausforderungen bestehen durch die Temperaturentwicklung der Oberfläche durch Sonneneinstrahlung und die Festigkeit der Kontaktierung bei Bewegung des Glasdaches. Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 1920 und von 1080 Zeilen ein Speichergröße von ca. 207 kByte.

$$S = \frac{1920 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 1080 \text{ Zeilen} \times 8 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}}}{10} \quad (4.36)$$

$$= 207 \text{ kByte} \quad (4.37)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 50 MByte. Insgesamt bei 50 Videos beträgt der benötigte Speicher 2,5 GByte. Mit einer

Breite von 80 cm und 1920 Pixel pro Zeile beträgt die Pixeldichte 61 ppi. Das Bild ist bis zu ca. 1,5 m scharf.

### 4.3.7 LED-Matrix im Dachhimmel

Ein Standbild benötigt bei einer Pixelanzahl pro Zeile von 192 und von 96 Zeilen ein Speichergröße von ca. 55 kByte.

$$S = 192 \frac{\text{Pixel}}{\text{Zeile}} \times 96 \text{ Zeilen} \times 24 \frac{\text{Bit}}{\text{Pixel}} \quad (4.38)$$

$$= 55 \text{ kByte} \quad (4.39)$$

Für eine Animation von zehn Sekunden Länge benötigt das Display einen Speicher von 13 MByte. Insgesamt bei 50 Videos beträgt der benötigte Speicher 664 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 unterschiedlichen Duftflakons, die einzeln geöffnet werden können. 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.

### 4.4 Zusammenfassung Analyse

In der Tabelle 4.2 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 2.3. 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 Speicher pro Bild in der Tabelle 4.3 dargestellt. 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 sollen. Daher ist eine Gesamtbetrachtung der wirtschaftlichen Kriterien sinnvoll.

In Tabelle 4.4 werden alle Komponenten mit den nötigen Anpassungen in der Serienentwicklung in den bestimmten Bereichen auf Basis der vorherigen technischen Analyse dargestellt.

Für eine erste Einschätzung der Entwicklungskosten der Komponenten werden die nötigen Anpassungen in der Fahrzeugentwicklung dargestellt. Die Anpassungen an bestehende Fahrzeuge sind von großer Bedeutung, da diese hohe Kosten und lange Zeiten in Anspruch nehmen. Die reinen Entwicklungskosten für die technischen Komponenten sind in diesem Zustand noch nicht abzusehen. Durch die Analyse werden folgende Erkenntnisse gemacht:

- Durch rechtliche Einschränkungen können einige Komponenten nicht oder nur mit geringerem Funktionsumfang realisiert werden.

- Die Kosten der Komponenten können unterschiedlich hoch ausfallen.
- Grundlegende Überprüfungen zur Implementierung sind noch nicht vorhanden.
- Die Pixeldichte ist bei den meisten Komponenten ausreichend.
- Die Speichergrößen sind abhängig von der Pixelanzahl der Komponenten.

**Tabelle 4.2:** Berechnung des Speicherbedarfes für ein Bild

Komponente	Pixel	Bit pro Pixel	Kompression	Speicher pro Bild
E-Papier in der Frontschürze	$2560 \times 1440$	8	10	369 kByte
E-Papier 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, 2 kByte
LED-Streifen im Interieur	$719 \times 1$	24	1	2, 2 kByte
LED Türtafeln	$4 \times 1$	24	1	12 Byte
Videoprojektoren in den Außenspiegeln	$1280 \times 800$	24	10	307 kByte
Videoprojektoren im Fußraum	$1280 \times 800$	24	10	307 kByte
Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern	$1280 \times 800$	24	10	307 kByte
Bildschirme in der Einstiegsleiste	$1280 \times 1024$	24	10	393 kByte
Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster	$1920 \times 1080$	8	10	207 kByte
LED-Matrix im Dachhimmel	$192 \times 96$	24	1	55 kByte
Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole	$20 \times 20$	8	1	400 Byte

**Tabelle 4.3:** Liste der Komponenten mit den oben festgestellten Werte

Komponente	Speicher pro Bild	Speicher pro Video	Speichergröße gesamt
E-Papier in der Frontschürze	369 kByte		18 MByte
E-Papier über den vorderen Radkästen	192 kByte		9,6 MByte
E-Papier in der Heckleuchte	192 kByte		9,6 MByte
LED-Streifen in der Frontschürze	996 Byte	239 kByte	12 MByte
LED-Streifen in den Radkästen	600 Byte	144 kByte	7,2 MByte
LED-Streifen in der Heckleuchte	1,2 kByte	282 kByte	14 MByte
LED-Streifen im Interieur	2,2 kByte	518 kByte	26 MByte
LED Türtafeln	12 Byte	2,88 kByte	144 KByte
Videoprojektoren in den Außenspiegeln	307 kByte	74 MByte	3,7 GByte
Videoprojektoren im Fußraum	307 kByte	74 MByte	3,7 GByte
Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern	307 kByte	73,7 MByte	3,7 GByte
Bildschirme in der Einstiegsleiste	393 kByte	94 MByte	4,7 GByte
Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster	207 kByte	50 MByte	2,5 GByte
LED-Matrix im Dachhimmel	55 kByte	13 MByte	664 MByte
Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole	400 Byte	96 kByte	4,8 MByte

**Tabelle 4.4:** Liste der Komponenten mit den nötigen Eingriffen in die Fahrzeugentwicklung

Komponente	Hardware	E/E Architektur	Software
E-Papier in der Frontschürze	X	X	X
LED-Streifen in der Frontschürze	X	X	X
E-Papier 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 Kapitel 4 gewonnenen Erkenntnissen zum Speicherbedarf der Komponenten werden in diesem Kapitel Entwürfe erarbeitet, wie die Komponenten in eine Fahrzeugarchitektur implementiert werden können.

Im ersten Schritt werden die durch die Analyse gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um Komponenten nach ihren Speichereigenschaften zu sortieren. Die Sortierung hilft die Komponenten in der Konzeptanalyse zu bewerten.

Im zweiten Schritt werden Anforderungen an Architekturen aufgestellt.

Mit den Anforderungen werden im dritten Schritt zwei mögliche Konzeptentwürfe erstellt und bei diesen die benötigten Bandbreiten im vierten Schritt berechnet.

Im Anschluss werden im fünften Schritt die Modelle verglichen und abschließend Realisierungsmöglichkeiten vorgestellt.

## 5.1 Einteilung der Komponenten

Im folgenden werden die Komponenten nach ihren virtuellen Speichergrößen eingeteilt. Die erste Gruppe benötigt einen Speicher für 50 Inhalte von weniger als 30 MByte, die zweite Gruppe von weniger als 1 GByte, die dritte Gruppe von weniger als 5 GByte. Tabelle 5.1 weist die Komponenten den Gruppen zu. Für die Konzeptentwürfe werden



allen Komponenten die maximalen Speichergrößen der Gruppe zugeordnet.

**Tabelle 5.1:** Einteilung der Komponenten nach Speichergröße

<b>Erste Gruppe (EG)</b> 30 MByte	<b>Zweite Gruppe (ZG)</b> 1 GByte	<b>Dritte Gruppe (DG)</b> 5 GByte
<b>Bild-Komponenten</b> E-Papier in der Frontschürze E-Papier über den vorderen Radkästen E-Papier in der Heckleuchte	<b>Bild-Komponenten</b>	<b>Bild-Komponenten</b>
<b>Video-Komponenten</b> LED-Streifen in der Frontschürze LED-Streifen in den Radkästen LED-Streifen in der Heckleuchte LED-Streifen im Interieur  LED Türtafeln  Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole	<b>Video-Komponenten</b>  LED-Matrix im Dachhimmel	<b>Video-Komponenten</b>  Videoprojektoren im Fußraum Videoprojektoren in den Außenspiegeln Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern Bildschirme in der Einstiegsleiste Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster

Eine weitere Einteilung nach Komponenten, die statisch Bilder anzeigen oder dynamisch Videos anzeigen, ist relevant für die Dimensionierung der Busanbindung. Diese Einteilung ist ebenfalls in der Tabelle 5.1 integriert.

Bei den Komponenten beträgt die Speichergröße dem Äquivalent des Speicherbedarfs

für 50 Inhalte.

$$EG = \frac{30 \text{ MByte}}{50} = 600 \text{ kByte} \quad (5.1)$$

$$ZG = \frac{1 \text{ GByte}}{50} = 20 \text{ MByte} \quad (5.2)$$

$$DG = \frac{5 \text{ GByte}}{50} = 100 \text{ MByte} \quad (5.3)$$

Die Größe einzelner Bilder in den Videos der Video-Komponenten beträgt die Größe der Inhalte durch die Anzahl der Bilder pro Video.

$$EG = \frac{600 \text{ kByte}}{10 \text{ s} \cdot 24 \text{ fps}} = 2,50 \text{ kByte} \quad (5.4)$$

$$ZG = \frac{20 \text{ MByte}}{10 \text{ s} \cdot 24 \text{ fps}} = 83,33 \text{ kByte} \quad (5.5)$$

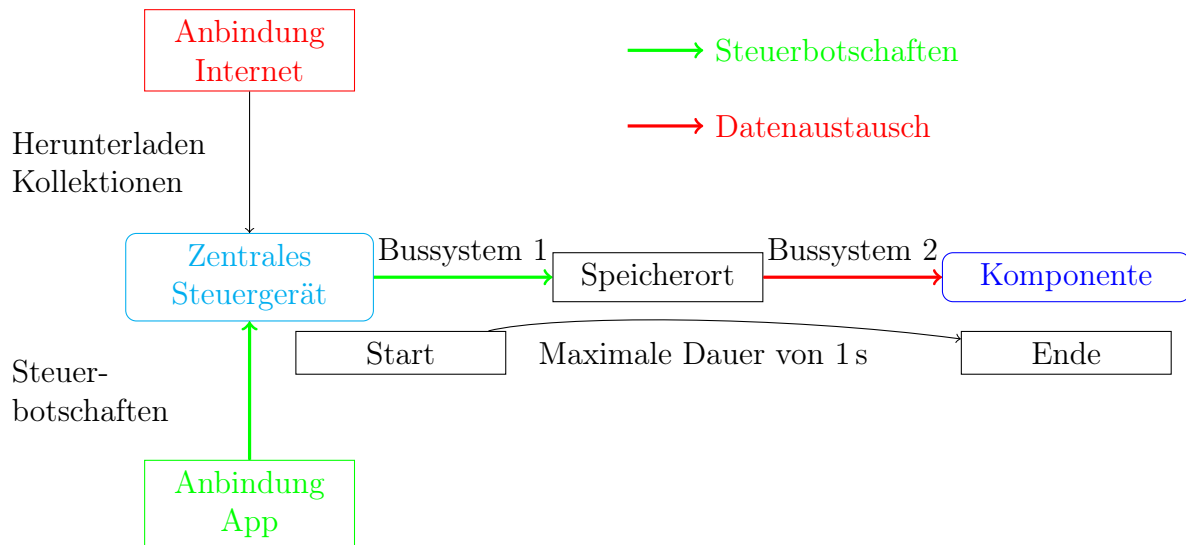
$$DG = \frac{100 \text{ MByte}}{10 \text{ s} \cdot 24 \text{ fps}} = 416,67 \text{ kByte} \quad (5.6)$$

Die erste Gruppe an Komponenten besteht aus Bild- und Video-, die zweite und dritte Gruppe nur aus Videokomponenten. Daraus folgt die Klassifizierung der Komponenten in vier Bereiche, die Tabelle 5.2 darstellt. Die angegebene Anzahl gibt die reale Anzahl der Komponenten an, da es zum Beispiel vier mal die LED-Streifen im Radkasten gibt. Der erste Bereich sind Bild-Komponenten mit einem Speicherbedarf pro Inhalt von weniger als 600 kByte. Der zweite Bereich sind Video-Komponenten mit einem Speicherbedarf pro Inhalt von weniger als 600 kByte und einer Datenrate beim Abspielen eines Videos von weniger als  $60 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$ . Der dritte Bereich sind Video-Komponenten mit einem Speicherbedarf pro Inhalt von weniger als 20 MByte und einer Datenrate beim Abspielen eines Videos von weniger als  $2 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$ . Der vierte Bereich sind Video-Komponenten mit einem Speicherbedarf pro Inhalt von weniger als 100 MByte und einer Datenrate beim Abspielen eines Videos von weniger als  $10 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$ .

Der Speicherbedarf für eine Kollektion ergibt sich aus der Summe des Datenbedarfes von fünf Inhalten für jede Komponente. Der Bedarf liegt bei 5,642 GByte. Wichtig bei der Berechnung ist die Mehrzahl gleicher Komponenten, die aber unterschiedliche Daten besitzen, zum Beispiel Videoprojektor links und rechts. Der Gesamtspeicherbedarf für das Fahrzeug für zehn Kollektionen liegt bei 56,42 GByte.

**Tabelle 5.2:** Einteilung der Komponenten in die vier Bereiche

<p><b>Erster Bereich</b></p> <p>Speichergröße 30 MByte  Kollektionsgröße 3 MByte  Anzahl 5</p> <p><b>Bild-Komponenten</b></p> <p>E-Papier in der  Frontschürze  E-Papier über den  vorderen Radkästen  E-Papier in der  Heckleuchte</p>	<p><b>Dritter Bereich</b></p> <p>Speichergröße 1 GByte  Kollektionsgröße 100 MByte  Anzahl 1</p> <p><b>Video-Komponenten</b></p> <p>LED-Matrix im  Dachhimmel</p>
<p><b>Zweiter Bereich</b></p> <p>Speichergröße 30 MByte  Kollektionsgröße 3 MByte  Anzahl 9</p> <p><b>Video-Komponenten</b></p> <p>LED-Streifen in der  Frontschürze  LED-Streifen in den  Radkästen  LED-Streifen in der  Heckleuchte  LED-Streifen im Interieur</p> <p>LED Türtafeln</p> <p>Morphende Oberfläche  in der Mittelkonsole</p>	<p><b>Vierter Bereich</b></p> <p>Speichergröße 5 GByte  Kollektionsgröße 500 MByte  Anzahl 11</p> <p><b>Video-Komponenten</b></p> <p>Videoprojektoren im  Fußraum  Videoprojektoren in  den Außenspiegeln  Bildschirme in den  hinteren Seitenfenstern  Bildschirme in den  hinteren Seitenfenstern  Bildschirme in der  Einstiegsleiste  Durchsichtiger Bildschirm  im Dachfenster</p>



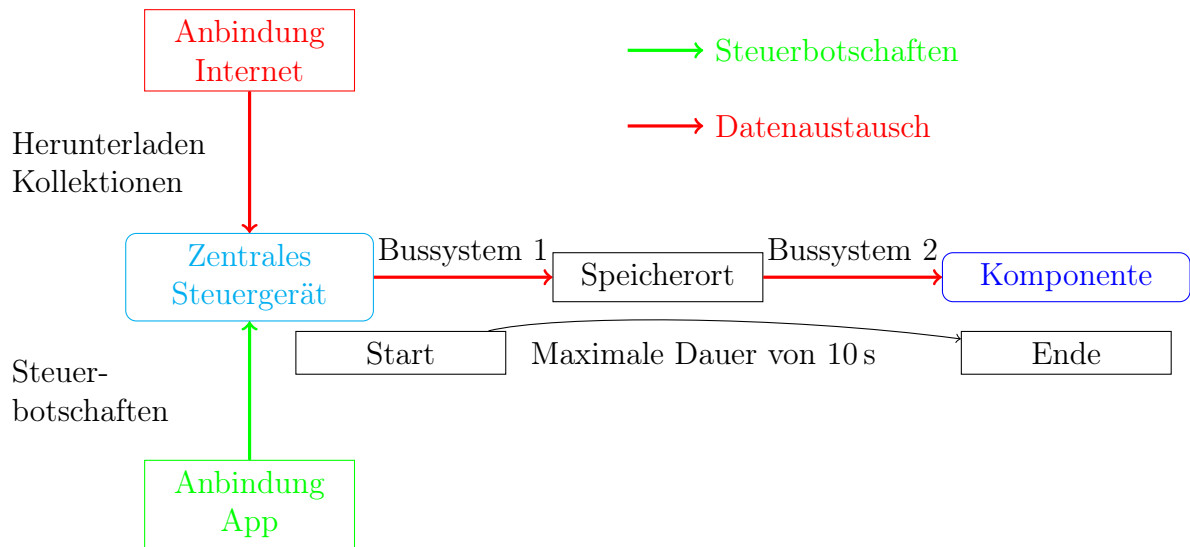
**Abbildung 5.1:** Anforderung 1: Umschalten zwischen Kollektionen in unter einer Sekunde

## 5.2 Anforderungen an Konzeptentwürfe

Die Anforderungen an die Konzeptentwürfe ergeben sich zum einen aus den oben beschriebenen Speichergrößen für Bild und Videodateien. Diese sind direkt aus der Anzahl der Inhalte und den dafür benötigten Dateigrößen berechnet.

Zum anderen wurden für zwei Benutzerverhalten die maximale Verzögerungszeit auf eine bestimmte Länge abgeschätzt, um damit die Berechnungsgrundlage einordnen zu können. Die Benutzer sollen zwischen zehn Kollektionen in Echtzeit umschalten können. Echtzeit bedeutet in diesem Fall, dass der Benutzer für das Umschalten der Kollektionen eine maximale Verzögerung von 1 s hinnehmen muss. Das Anzeigen einer neuen Kollektion, die noch nicht im Fahrzeug gespeichert ist, soll nach dem ersten Herunterladen aus dem Internet in unter zehn Sekunden angezeigt werden können. Nachfolgend werden die zwei Anforderungen grafisch dargestellt: In der ersten Anforderung 5.1 wird eine Anforderung zum Umschalten der App an das zentrale Steuergerät gesendet, dieses schickt die Steuerbotschaft über das Bussystem 1 an den Speicherort. Vom Speicherort werden die Daten mit dem Bussystem 2 an die Komponenten zur Anzeige übertragen.

In der zweiten Anforderung 5.2 wird eine Anforderung zum Herunterladen einer Kollektion an das zentrale Steuergerät gesendet, dass die Kollektion über die Internet Anbindung

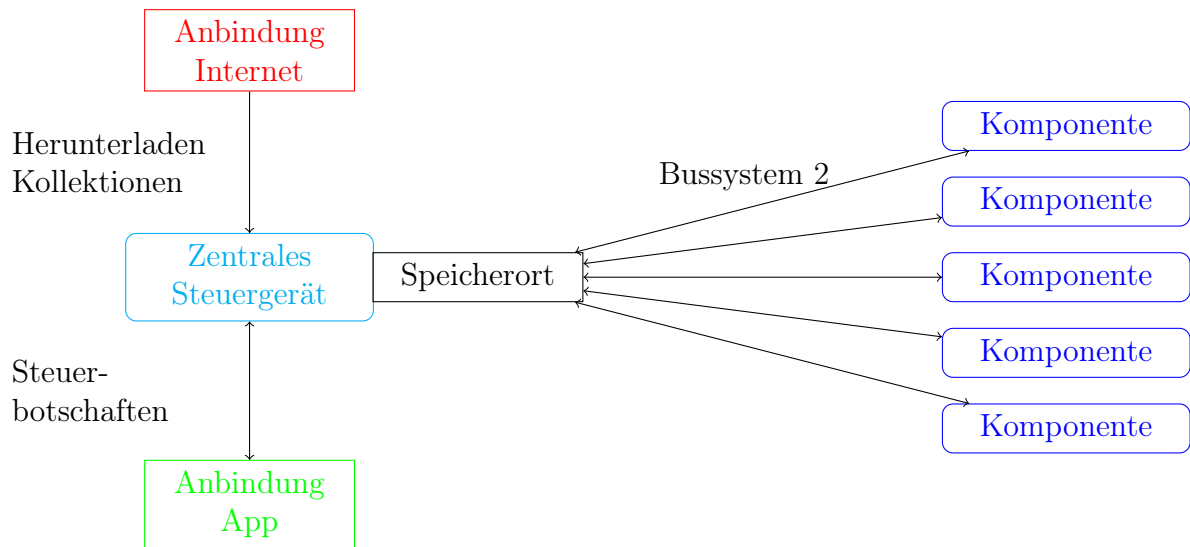


**Abbildung 5.2:** Anforderung 2: Anzeigen einer neuen Kollektion in unter zehn Sekunden

lädt. Vom zentralen Steuergerät müssen die einzelnen Daten an ihre Speicherorte über das Bussystem 1 transferiert werden und von dort über das Bussystem 2 angezeigt werden. Weitere Annahmen für die Berechnung sind: Die Verzögerungszeit entsteht hauptsächlich durch die Übertragung in den Bussen und nicht in der Verarbeitung in den Steuergeräten. Steuerbotschaften, die zum Beispiel den Befehl zum Umschalten oder Herunterladen einer Kollektion enthalten, haben eine Datengröße von 10 kByte.

## 5.3 Implementierungsoptionen

Jede Komponente besteht aus einer Anzeigefläche mit einer dazugehörigen Steuerung, die aus Bild- oder Videodateien die einzelnen Bildpunkte setzt. Diese Komponente kann sich überall im Fahrzeug befinden. Das Fahrzeug verfügt über ein zentrales Steuergerät, das neue Kollektionen aus dem Internet herunterladen kann und die Bedienbefehle der App erhält.



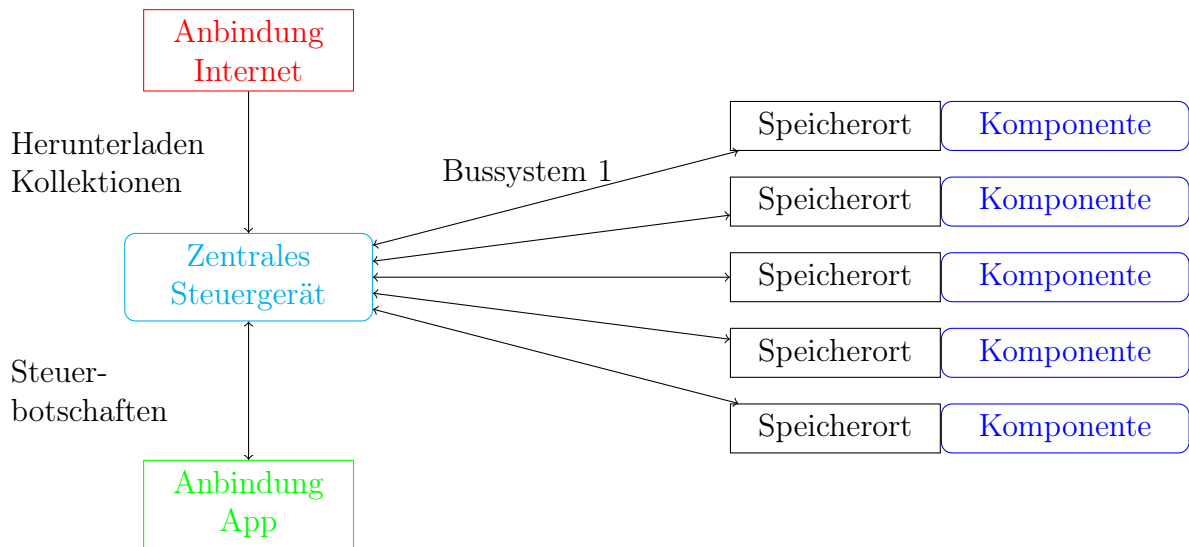
**Abbildung 5.3:** Architektur 1: Positionierung Dateispeicher im zentralen Steuergerät

**Speicherort** Der Speicherort der Daten kann an unterschiedlichen Stellen im Fahrzeug liegen. In der folgenden Konzeptentwicklung liegen die Daten entweder gesammelt im zentralen Steuergerät oder dezentral in den Komponenten. Nachfolgend werden die zwei mögliche Varianten in den Diagrammen 5.3 und 5.4 skizziert. Abhängig vom Speicherort müssen die Bussysteme eine genügend hohe Bandbreite besitzen, um die Anforderungen einzuhalten.

## 5.4 Berechnung der erforderlichen Datenraten für die zwei Speicherorte

Im folgenden wird für beide Architekturmodelle die erforderlichen Datenraten für die zwei Anforderungen berechnet. Im Anschluss werden die Ergebnisse gesammelt dargestellt.

Die zeitlichen Anforderungen für Bilddaten bedeuten, dass innerhalb dieser Zeit die gesamten Bilddaten einer Kollektion übertragen sein müssen. Für Videodaten bedeuten die Anforderungen, dass zumindest immer bei Beginn des Anzeigenstarts eine Sekunde an Videodaten geladen sind. Die restlichen Videodaten müssen dann spätestens eine



**Abbildung 5.4:** Architektur 2: Positionierung Dateispeicher lokal an der Komponente

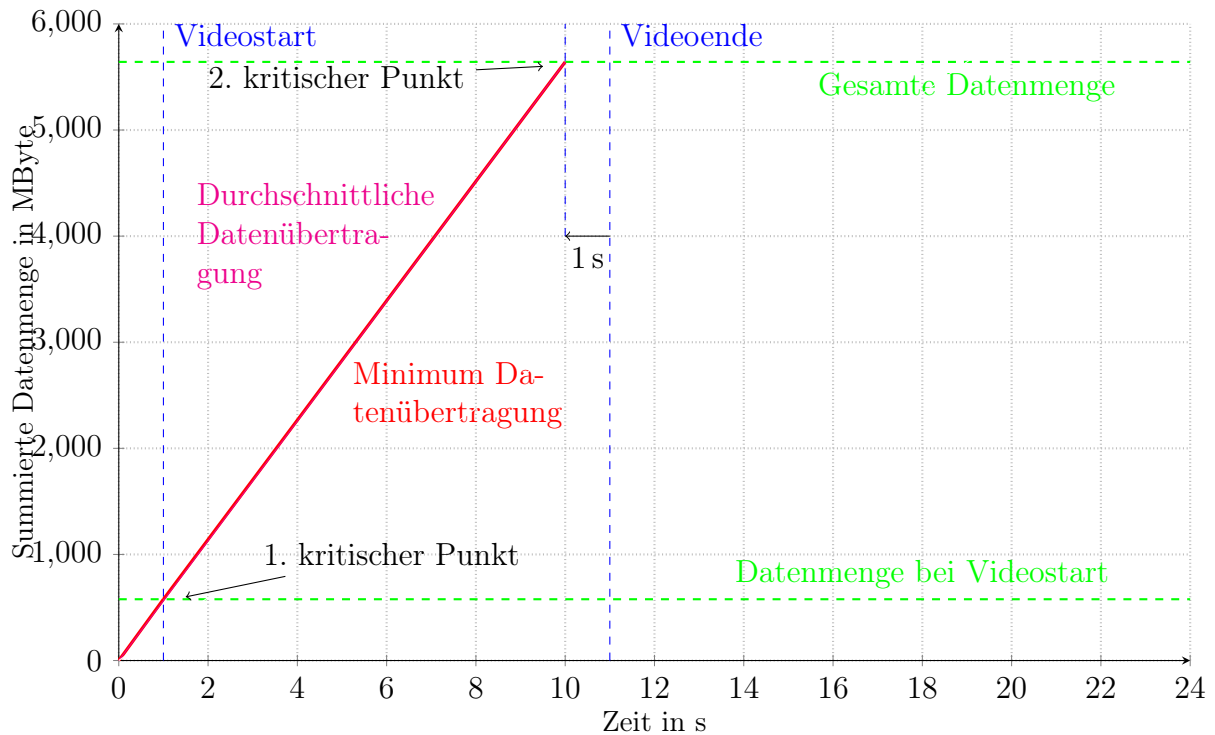
Sekunde vor dem Ende des Videos geladen sein.

### 5.4.1 Berechnung für das erste Architekturmodell

Beim ersten Architekturmodell befindet sich der Datenspeicher direkt am zentralen Steuergerät. Das Bussystem 2 verbindet das zentrale Steuergerät mit allen Komponenten. Es ist kein Bussystem 1 vorhanden.

**Anforderung 1** Für die Anforderung 1 darf die Verzögerungszeit für die Datenübertragung über das Bussystem 2 von einem Speicherort an alle Komponenten maximal eine Sekunde betragen. Nach einer Sekunden müssen alle Bilddaten und ein Zehntel der Videodaten übertragen sein. Die Datenmenge  $D$  beträgt

$$5 \cdot 3 \text{ MByte} + \frac{9 \cdot 3 \text{ MByte} + 1 \cdot 100 \text{ MByte} + 11 \cdot 500 \text{ MByte}}{10} = 577,7 \text{ MByte} \quad (5.7)$$



**Abbildung 5.5:** Datenmengenverlauf in Relation zur Zeit für die Anforderung 1 bei der Architektur 1

Nach 10 Sekunden müssen alle Daten übertragen sein. Die Datenmenge beträgt

$$5 \cdot 3 \text{ MByte} + 9 \cdot 3 \text{ MByte} + 1 \cdot 100 \text{ MByte} + 11 \cdot 500 \text{ MByte} = 5642 \text{ MByte} \quad (5.8)$$

Das Diagramm 5.5 zeigt den Verlauf der Datenmenge über die Zeit. Nach einer Sekunde muss die übertragene Datenmenge mindestens 577,7 MByte betragen. Nach zehn Sekunden beträgt die gesamte Datenmenge 5642 MByte. Die rote Linie gibt an, wie viele Daten zu einem Zeitpunkt mindestens übertragen sein müssen, wenn die Bandbreite bis zum nächsten kritischen Punkt konstant bleibt. Die pinkfarbene Linie gibt den durchschnittlichen Wert der Bandbreite für den Gesamtwert an Daten an. Das heißt, um die Anforderung zu erfüllen muss die tatsächliche Datenmenge im Zeitverlauf immer oberhalb der roten Linie sein, wenn die Zeit an einem kritischen Punkt ist. Um die Mindestbandbreite  $M$



des Bussystems zu berechnen, wird die Steigung der roten Linie berechnet.

$$M = \frac{5642 \text{ MByte}}{10 \text{ s}} = 564,2 \frac{\text{MByte}}{\text{s}} \quad (5.9)$$

**Anforderung 2** Für die Anforderung 2 gilt hier, dass die Verzögerungszeit für die Datenübertragung über das Bussystem 2 von einem Speicherort an alle Komponenten maximal zehn Sekunden betragen darf. Diese Anforderung ist gleich zur Anforderung 1, nur mit einer längeren Zeitdauer. Nach zehn Sekunden müssen alle Bilddaten und ein Zehntel der Videodaten übertragen sein.

$$D = 5 \cdot 3 \text{ MByte} + \frac{9 \cdot 3 \text{ MByte} + 1 \cdot 100 \text{ MByte} + 11 \cdot 500 \text{ MByte}}{10} = 577,7 \text{ MByte} \quad (5.10)$$

Nach 19 Sekunden müssen alle Daten übertragen sein.

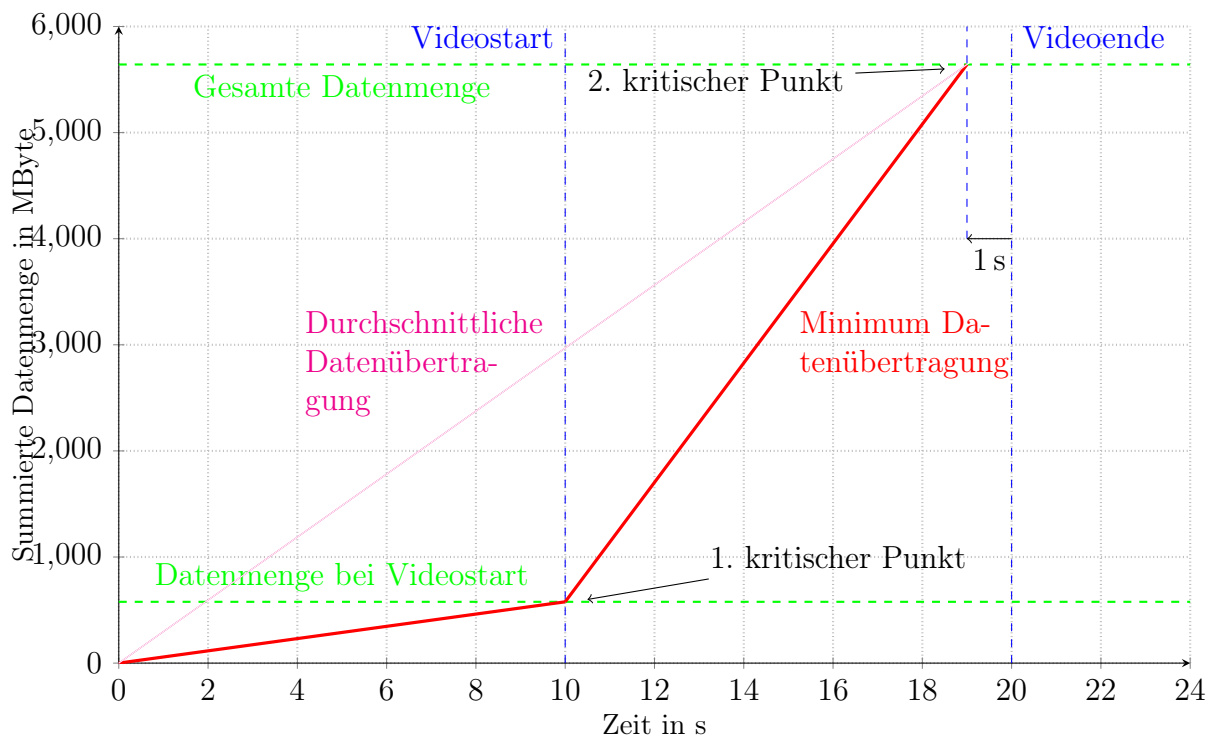
$$D = 5 \cdot 3 \text{ MByte} + 9 \cdot 3 \text{ MByte} + 1 \cdot 100 \text{ MByte} + 11 \cdot 500 \text{ MByte} = 5642 \text{ MByte} \quad (5.11)$$

Die Abbildung 5.6 zeigt den zeitlichen Datenverlauf. Wie man hier sehen kann, ist im Gegensatz zur Anforderung 1 die rote Linie zuerst flacher und wird dann steiler. Dadurch liegt die durchschnittliche Datenverlaufslinie oberhalb der Roten. Bei genügend Pufferspeicher in der Komponente kann die tatsächliche Bandbreite am Anfang höher als die Steigung der roten Linie sein. Dafür ist die maximale Bandbreite geringer als die Steigung der roten Linie in der zweiten Hälfte. Die Mindestbandbreite ist die Steigung der pinken Linie.

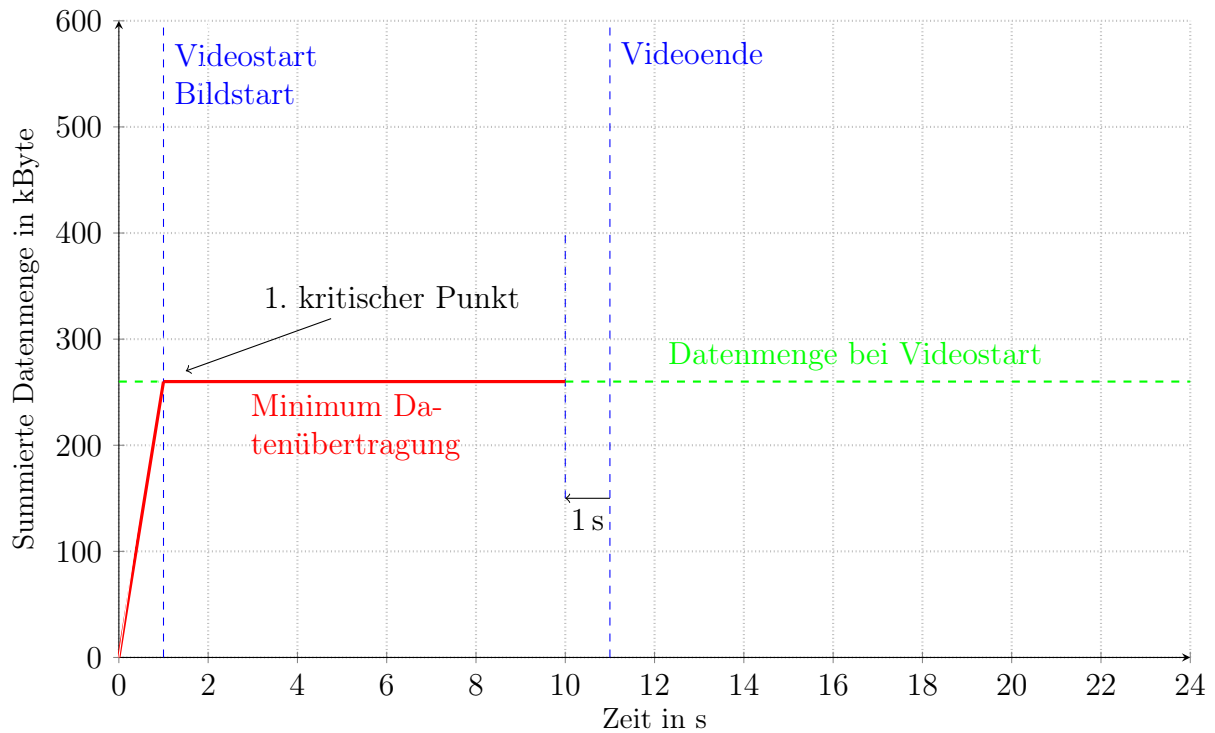
$$M = \frac{5642 \text{ MByte}}{19 \text{ s}} = 296,9 \frac{\text{MByte}}{\text{s}} \quad (5.12)$$

## 5.4.2 Berechnung für das zweite Architekturmodell

Beim zweiten Architekturmodell befinden sich die Datenspeicher direkt an den Komponenten. Das Bussystem 1 verbindet die Komponenten mit dem zentralen Steuergerät. Es ist kein Bussystem 2 vorhanden.



**Abbildung 5.6:** Datenmengenverlauf in Relation zur Zeit für die Anforderung 2 bei der Architektur 1



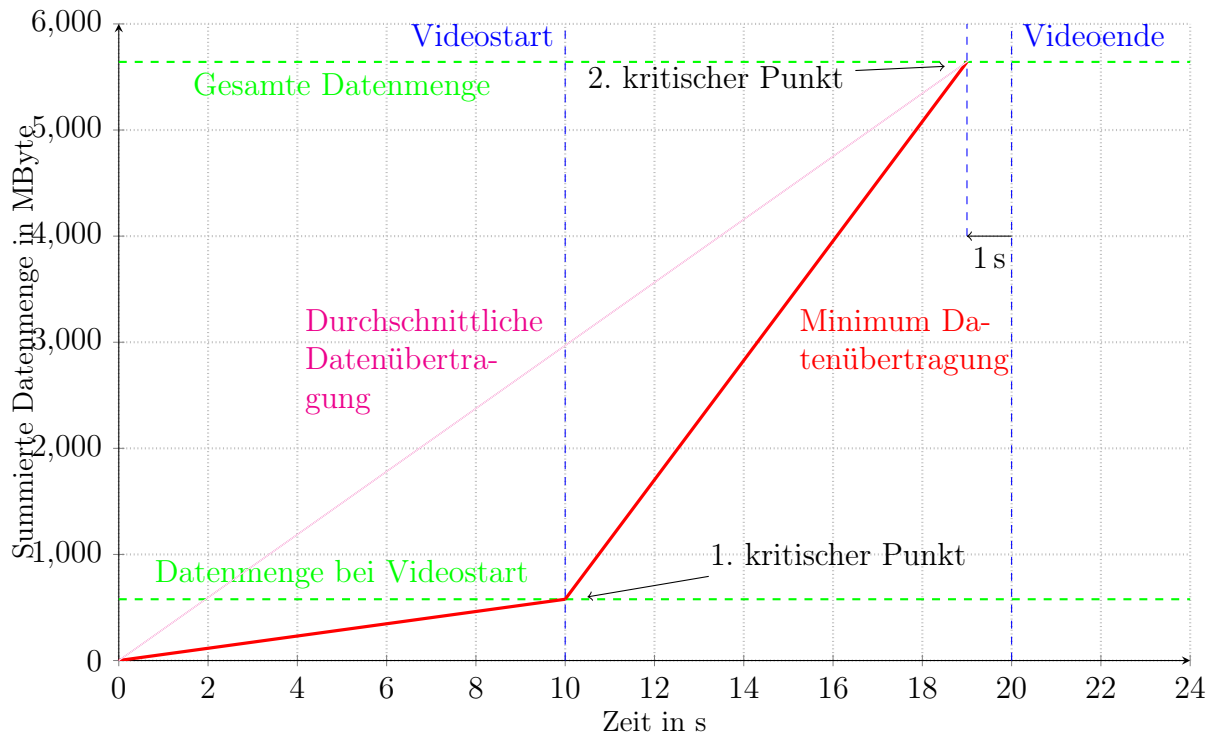
**Abbildung 5.7:** Datenmengenverlauf in Relation zur Zeit für die Anforderung 1 bei der Architektur 2

**Anforderung 1** Für die Anforderung 1 darf die Verzögerungszeit für die Steuerübertragung über das Bussystem 1 vom zentralen Steuergerät an alle Komponenten maximal eine Sekunde betragen. Die Abbildung 5.7 zeigt den Datenverlauf. Die Skalierung der Ordinatenachse ist hier nicht in MByte sondern in kByte. Es wird deutlich, dass es hier nur einen kritischen Zeitpunkt gibt. Die Datenmenge für diese Anforderung berechnet sich aus der Anzahl der Komponenten mal die Datengröße der Steuerbotschaft.

$$D = 26 \cdot 10 \text{ kByte} = 260 \text{ kByte} \quad (5.13)$$

Die Mindestbandbreite des Bussystems, um die Anforderung zu erfüllen beträgt:

$$M = \frac{260 \text{ kByte}}{1 \text{ s}} = 260 \frac{\text{kByte}}{\text{s}} \quad (5.14)$$



**Abbildung 5.8:** Datenmengenverlauf in Relation zur Zeit für die Anforderung 2 bei der Architektur 2

**Anforderung 2** Für die Anforderung 2 darf die Verzögerungszeit für die Datenübertragung über das Bussystem 1 vom zentralen Steuergerät an alle Komponenten maximal zehn Sekunden betragen. Nach zehn Sekunden müssen alle Bilddaten und ein Zehntel der Videodaten übertragen sein.

$$D = 5 \cdot 3 \text{ MByte} + \frac{9 \cdot 3 \text{ MByte} + 1 \cdot 100 \text{ MByte} + 11 \cdot 500 \text{ MByte}}{10} = 577,7 \text{ MByte} \quad (5.15)$$

Nach 19 Sekunden müssen alle Daten übertragen sein.

$$D = 5 \cdot 3 \text{ MByte} + 9 \cdot 3 \text{ MByte} + 1 \cdot 100 \text{ MByte} + 11 \cdot 500 \text{ MByte} = 5642 \text{ MByte} \quad (5.16)$$

Auffallend bei Betrachtung des Datenverlaufs 5.8, ist das diese Anforderung gleichbedeutend bei beiden Architekturmodellen ist. Die Mindestbandbreite beträgt dementsprechend  $296,9 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$ .

**Tabelle 5.3:** Mindestbandbreite bei Architektur und Anforderung

	Anforderung 1	Anforderung 2
Architektur 1	$564,2 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$	$296,9 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$
Architektur 2	$260 \frac{\text{kByte}}{\text{s}}$	$296,9 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$

## 5.5 Vergleich der beiden Konzeptentwürfe

Die Tabelle 5.3 zeigt die Mindestbandbreite für die vier berechneten Fälle.

**Mindestbandbreite** Beide Architekturmodelle benötigen bei der Anforderung 2 die gleiche Bandbreite. Bei Anforderung 1 unterscheiden sich die Modelle stark. Architektur 1 benötigt eine deutliche höhere Bandbreite, während Architektur eine deutlich geringere Bandbreite benötigt.

Daraus folgt, dass die Architektur 1 eine Bandbreite für das Bussystem 2 von mindestens  $564,2 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$  für die Komponenten zur Verfügung stellen muss, während die Bandbreite bei der Architektur 2 für das Bussystem 1 nur  $296,9 \frac{\text{MByte}}{\text{s}}$  hoch ist.

**Latenz** Die hier angegebenen Bandbreiten vernachlässigen mögliche Latenzen in der Datenübertragung. Unter realen Verhältnissen startet die Datenübertragung nicht direkt, sondern verzögert sich am Anfang. Durch die Verzögerung muss dementsprechend die Datenrate später höher als der Durchschnitt sein.

**Speicher** Im Architekturmodell 1 liegt der Speicher für alle Daten zentral, wodurch die Verwaltung der Daten leichter ist. Im Architekturmodell 2 sind die Daten dezentral bei den Komponenten gespeichert, wodurch viele kleine Speicher benötigt werden.

## 5.6 Realisierungsoptionen

Unter Einbeziehung des Vergleiches benötigt die Architektur 2 ein schwächeres Bussystem. Bei Annahme, dass die Realisierung am kritischsten in der Integration der Komponenten in die Busarchitektur ist, liegt die Architektur 2 im Vorteil.

Die aktuell leistungsstärksten Bussysteme nach der Nutzdatenrate in der Fahrzeugtechnik sind Most150 und Automotive Ethernet (Vgl. 2.2). Diese Bussysteme besitzen eine Nutzdatenrate von ca. 10 bis 20  $\frac{\text{MByte}}{\text{s}}$ . Die Nutzdatenrate ist mit einem Faktor größer zehn kleiner als die geforderte Bandbreite.

Um dieses Problem zu lösen, kann die Anforderung 2 geschwächt werden, indem das Anzeigen einer neuen Kollektion zum Beispiel fünf Minuten betragen darf. Durch diese Vereinfachung könnten die oberen Bussysteme für die Architektur 2 eingesetzt werden und die Datenraten werden eingehalten.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Auftrennung des Busses in mehrere, die für einen Fahrzeugbereich wie zum Beispiel das Heck, verantwortlich sind. Dadurch sinkt die gesamte Übertragungsdauer.

## 6 Verifikation und Diskussion

Abgesehen von den Konzeptentwürfen für die informationstechnische Anbindung der Komponenten, versucht das Kapitel 4 erste Erkenntnisse zu erzielen, wie die Komponenten in eine Serie implementiert werden können. Diese Analyse ist in der Durchführung herausfordernd, da durch den frühen Stadium des Forschungsprojekts grundlegende Fragestellungen in der technischen Realisierung ungelöst sind. Dadurch kann diese Analyse in manchen Bereichen nur erste Informationen zu den Komponenten sammeln. Die Speicherdimensionierung anhand von Berechnungen einzelner Bilder und Videos ist daher nur eine erste Einschätzung, da auch dort Weiterentwicklungen Einflüsse haben.

Die Konzeptentwürfe sind erste Ansätze für eine mögliche Realisierung mit der aktuellen Technik. Da die Ausführung der Projektidee weit in der Zukunft veranschlagt ist, können zu diesem späteren Zeitpunkt neue technische Möglichkeiten für die Implementierung der Komponenten vorhanden sein. Besonders die Nutzung von drahtlosen Verbindungen zur Kommunikation von Steuergeräten in Automobilen wurde hier noch nicht betrachtet.

## 7 Zusammenfassung

Mit den gesammelten Erkenntnis aus der Analyse der Komponenten kommt diese Arbeit zu der Erkenntnis, dass eine technische Realisierung möglich ist.

Mit den beschriebenen Grundlagen in Kapitel 2 kann eine wissenschaftliche Bewertung der Komponenten nach objektivem Maßstab getroffen werden. Die Grundlagen und die Analyse vermitteln ein Verständnis für die Komplexität eines Forschungsprojektes, in dem nicht nur technische Aspekte eine Rolle spielen, sondern auch rechtliche, wirtschaftliche und optische Themen.

Die Zusammenhänge zwischen technischer Entwicklung und sinnlicher Erfahrung wurden zum Beispiel mit dem Auflösungsvermögen des Auges näher betrachtet, worauf sich die Speicherberechnungen wiederum beziehen.

Besonders in der informationstechnischen Anbindung kann diese Arbeit für die Weiterarbeit in dem Projekt eine Grundlage für Serienimplementierungen bieten, da in Kapitel 5 Konzeptentwürfe erstellt wurden.

Die Anbindung der Komponenten an bestehende Bordnetzsysteme ist abhängig vom gewünschten Szenario im Kundenverhalten. Je nach Ausführung benötigen Komponenten unterschiedliche Mikrocontroller und Busanbindungen. Für eine technische Realisierung benötigt das System ein leistungsstarkes Bussystem, wie zum Beispiel MOST oder Automotive Ethernet, damit die Inhalte in einer möglichst geringen Zeit angezeigt werden können.



# 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.
- [Bor21] Kai Borgeest. *Elektronik in der Fahrzeugtechnik: Hardware, Software, Systeme und Projektmanagement*. 4., aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer eBook Collection. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021. ISBN: 978-3-658-23664-9. DOI: 10.1007/978-3-658-23664-9.
- [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.
- [Dör+19] Ralf Dörner u. a., Hrsg. *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. 2., erweiterte und aktualisierte Auflage. Berlin: Heidelberg, 2019. ISBN: 978-3-662-58861-1. URL: <http://www.springer.com/>.
- [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.

- [Gra20] Armin Grasnick. *Grundlagen der virtuellen Realität: Von der Entdeckung der Perspektive bis zur VR-Brille*. Berlin und Heidelberg: Springer Vieweg, 2020. ISBN: 978-3-662-60785-5. URL: <http://www.springer.com/>.
- [Has+22] Aboul Ella Hassanien u. a., Hrsg. *Virtual and Augmented Reality for Automobile Industry: Innovation Vision and Applications*. 1st ed. 2022. Bd. 412. Springer eBook Collection. Cham: Springer International Publishing und Imprint Springer, 2022. ISBN: 978-3-030-94102-4. DOI: 10.1007/978-3-030-94102-4.
- [Kel19] Andreas Keller. *Entdecke das Riechen Wieder: Warum Es Sich Lohnt, Die Welt Mit der Nase Wahrzunehmen*. Berlin, Germany: Springer, 2019. ISBN: 9783662572610. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5608238>.
- [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: 978-3-446-46126-0. 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>.
- [Sch16] Jörg Schäuuffele. *Automotive Software Engineering: Grundlagen, Prozesse, Methoden und Werkzeuge Effizient Einsetzen*. 6th ed. ATZ/MTZ-Fachbuch Ser. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2016. ISBN: 978-3-658-11815-0. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=4654033>.
- [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: 978-3-662-63944-3. 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: 978-3-839-45134-2. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6266820>.
- [Ste20] Paul Steiner. *Sensory Branding: Grundlagen Multisensualer Markenführung*. 3rd ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2020. ISBN: 9783658298302. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6133718>.
- [Sto19] Dieter Stotz. *Computergestützte Audio- und Videotechnik: Multimediatechnik in der Anwendung*. 3rd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, 2019. ISBN: 9783662588734. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5795926>.
- [Wol18] Fabian Wolf. *Fahrzeuginformatik: Eine Einführung in die Software- und Elektronikentwicklung aus der Praxis der Automobilindustrie*. SpringerLink Bücher. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018. ISBN: 9783658212247. DOI: 10.1007/978-3-658-21224-7.
- [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

D .....	Datenmenge
M .....	Mindestbandbreite
A .....	Auflösungsvermögen
AR .....	Augemented Reality
ca. ....	circa
CAN .....	Controller Area Network
CAN FD .....	CAN with Flexible Data Rate
cm .....	Zentimeter
DG .....	Dritte Gruppe
DLP .....	Digital Light Processing
E-Papier .....	Elektronisches Papier
EG .....	Erste Gruppe
EMF .....	Enhanced Metafile
f. ....	folgende Seite
ff. ....	fortfolgende Seiten
FT .....	Farbtiefe
Full HD .....	Full High Definition
HDMI .....	High Definition Multimedia Interface
JPEG .....	Joint Photographic Experts Group

KF	Komprimierungsfaktor
LAN	Local Area Network
LCD	Flüssigkristallanzeigen
LED	Lumineszenzdiode
LIN	Local Interconnect Network
m	Meter
mm	Millimeter
MOST	Media Oriented Systems Transport
OLED	Organische LED
P	Pixelanzahl pro Zeile
PDF	Portable Document Format
Pi	Raspberry Pi
PNG	Portable Network Graphics
ppi	pixel per inch
SMD	Surface-mounted device
USB	Universal Serial Bus
vgl.	vergleiche
WLAN	Wireless Local Area Network
WLED	Weißlicht-LED
Z	Zeilenanzahl
ZG	Zweite Gruppe
$m$	Masse
$P$	Leistung
$R$	Widerstand
$U$	Spannung

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Visuelle Wahrnehmung . . . . .	3
2.2	Schematische Darstellung eines Auges mit den Nervenzellen . . . . .	5
2.3	Skizze zur Berechnung der Pixeldichte . . . . .	5
2.4	Haptische Wahrnehmung . . . . .	8
2.5	Schematische Darstellung des Gehörgangs mit den unterschiedlichen Be- reichen . . . . .	9
2.6	Duftkreis nach P. Jellinek . . . . .	10
2.7	Schichtaufbau eines E-Papiers . . . . .	14
3.1	Blockdiagramm Kollektionenverwaltung Gesamtkonzept . . . . .	20
3.2	angesprochene Sinne nach Fahrzeugbereich . . . . .	21
3.3	Anordnung der Komponenten im Fahrzeug aus der Vogelperspektive . . .	22
3.4	Frontansicht des Fahrzeugs mit den Komponenten . . . . .	24
3.5	Seitenansicht des Fahrzeugs mit den Komponenten . . . . .	24
3.6	Heckansicht des Fahrzeugs mit den Komponenten . . . . .	25
3.7	Ansteuerung Komponenten im Prototypen . . . . .	32
5.1	Anforderung 1: Umschalten zwischen Kollektionen in unter einer Sekunde	58
5.2	Anforderung 2: Anzeigen einer neuen Kollektion in unter zehn Sekunden	59
5.3	Architektur 1: Positionierung Dateispeicher im zentralen Steuergerät . . .	60
5.4	Architektur 2: Positionierung Dateispeicher lokal an der Komponente . .	61
5.5	Datenmengenverlauf in Relation zur Zeit für die Anforderung 1 bei der Architektur 1 . . . . .	62
5.6	Datenmengenverlauf in Relation zur Zeit für die Anforderung 2 bei der Architektur 1 . . . . .	64
5.7	Datenmengenverlauf in Relation zur Zeit für die Anforderung 1 bei der Architektur 2 . . . . .	65

5.8	Datenmengenverlauf in Relation zur Zeit für die Anforderung 2 bei der Architektur 2 . . . . .	66
-----	--	----

# Tabellenverzeichnis

2.1	Berechnung der benötigten Pixeldichte bei einer bestimmten Entfernung	6
2.2	Vergleich der Bittakt- und Nutzdatenraten der Bussysteme . . . . .	18
4.1	Mögliche Einnahme- und Kostenquellen . . . . .	35
4.2	Berechnung des Speicherbedarfes für ein Bild . . . . .	51
4.3	Liste der Komponenten mit den oben festgestellten Werten . . . . .	52
4.4	Liste der Komponenten mit den nötigen Eingriffen in die Fahrzeugentwicklung . . . . .	53
5.1	Einteilung der Komponenten nach Speichergröße . . . . .	55
5.2	Einteilung der Komponenten in die vier Bereiche . . . . .	57
5.3	Mindestbandbreite bei Architektur und Anforderung . . . . .	67
A.1	Liste der Einheiten von Bit und Byte . . . . .	79



# Anhang

## 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