

# Evaluation von Komponenten eines Fahrzeugprototypen mit digitalen Sonderausstattungen

## Praxisbericht

Studiengang Elektrotechnik

Studienrichtung Fahrzeugelektronik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Alexander Köhn

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

# Sperrvermerk

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

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

Stuttgart, den 1. September 2022

---

ALEXANDER KÖHN

# Erklärung

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

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

*Evaluation von Komponenten eines Fahrzeugprototypen mit digitalen Sonderausstattungen*

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

Stuttgart, den 1. September 2022

---

ALEXANDER KÖHN



# Kurzfassung

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                      | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen</b>                                      | <b>2</b>  |
| 2.1      | Menschliche Wahrnehmung . . . . .                      | 2         |
| 2.1.1    | Visuelle Wahrnehmung . . . . .                         | 3         |
| 2.1.2    | Haptische Wahrnehmung . . . . .                        | 4         |
| 2.1.3    | Akustische Wahrnehmung . . . . .                       | 5         |
| 2.1.4    | Olfaktorische Wahrnehmung . . . . .                    | 6         |
| 2.2      | Technologien . . . . .                                 | 7         |
| 2.2.1    | Lumineszenzdiode . . . . .                             | 7         |
| 2.2.2    | LED Matrix . . . . .                                   | 8         |
| 2.2.3    | Bildschirmtechnologien . . . . .                       | 9         |
| 2.2.4    | Videoprojektoren . . . . .                             | 9         |
| 2.2.5    | Elektronisches Papier . . . . .                        | 10        |
| <b>3</b> | <b>Fahrzeugprototyp</b>                                | <b>11</b> |
| 3.1      | Vision . . . . .                                       | 11        |
| 3.2      | Gesamtkonzept . . . . .                                | 11        |
| 3.3      | Beschreibung . . . . .                                 | 12        |
| 3.4      | Exterieur Komponenten . . . . .                        | 13        |
| 3.4.1    | E-Papier in der Frontschürze . . . . .                 | 13        |
| 3.4.2    | LED-Streifen in der Frontschürze . . . . .             | 14        |
| 3.4.3    | E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen . . . . . | 14        |
| 3.4.4    | LED-Streifen in den Radkästen . . . . .                | 14        |
| 3.4.5    | Videoprojektoren in den Außenspiegeln . . . . .        | 15        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.4.6    | Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern . . . . .                  | 15        |
| 3.4.7    | LED-Streifen in der Heckleuchte . . . . .                             | 15        |
| 3.4.8    | E-Papier in der Heckleuchte . . . . .                                 | 16        |
| 3.5      | Interieur Komponenten . . . . .                                       | 16        |
| 3.5.1    | LED-Streifen im Interieur . . . . .                                   | 16        |
| 3.5.2    | Matrix LED Türtafeln . . . . .  | 17        |
| 3.5.3    | Bildschirme in der Einstiegsleiste . . . . .                          | 17        |
| 3.5.4    | Videoprojektoren im Fußraum . . . . .                                 | 17        |
| 3.5.5    | Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole . . . . .                   | 18        |
| 3.5.6    | Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster . . . . .                    | 18        |
| 3.5.7    | LED Matrix im Dachhimmel . . . . .                                    | 18        |
| 3.5.8    | Duftflakons im Innenraum . . . . .                                    | 18        |
| 3.5.9    | Bildschirmoberflächen im Cockpit . . . . .                            | 19        |
| 3.5.10   | Soundplayer im Innenraum . . . . .                                    | 19        |
| 3.6      | Ansteuerung . . . . .   | 19        |
| <b>4</b> | <b>Analyse der Komponenten des Prototypen</b>                         | <b>21</b> |
| 4.1      | Kriterien für den Einbau der Komponenten in Serienfahrzeuge . . . . . | 22        |
| 4.1.1    | Rechtliche Kriterien . . . . .  | 22        |
| 4.1.2    | Wirtschaftliche Kriterien . . . . .                                   | 23        |
| 4.1.3    | Technische Kriterien . . . . .  | 24        |
| 4.2      | Analyse der Exterieur Komponenten . . . . .                           | 25        |
| 4.2.1    | E-Papier in der Frontschürze . . . . .                                | 25        |
| 4.2.2    | LED-Streifen in der Frontschürze . . . . .                            | 26        |
| 4.2.3    | E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen . . . . .                | 26        |
| 4.2.4    | LED-Streifen in den Radkästen . . . . .                               | 28        |
| 4.2.5    | Videoprojektoren in den Außenspiegeln . . . . .                       | 28        |
| 4.2.6    | Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern . . . . .                  | 28        |
| 4.2.7    | LED-Streifen in der Heckleuchte . . . . .                             | 28        |
| 4.2.8    | E-Papier in der Heckleuchte . . . . .                                 | 28        |
| 4.3      | Analyse der Interieur Komponenten . . . . .                           | 28        |
| 4.3.1    | LED-Streifen im Interieur . . . . .                                   | 28        |
| 4.3.2    | Matrix LED Türtafeln . . . . .  | 28        |
| 4.3.3    | Bildschirme in der Einstiegsleiste . . . . .                          | 28        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.3.4    | Videoprojektoren im Fußraum . . . . .   | 28        |
| 4.3.5    | Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole . . . . .                                     | 28        |
| 4.3.6    | Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster . . . . .                                      | 28        |
| 4.3.7    | LED Matrix im Dachhimmel . . . . .  | 28        |
| 4.3.8    | Duftflakons im Innenraum . . . . .  | 28        |
| 4.3.9    | Bildschirmoberflächen im Cockpit . . . . .  | 28        |
| 4.3.10   | Soundplayer im Innenraum . . . . .  | 28        |
| 4.4      | Gesamtwirtschaftliche Analyse . . . . .   | 28        |
| <b>5</b> | <b>Anforderungen an die Komponenten für eine Serieneinführung auf Basis der Analyse</b> | <b>30</b> |
| <b>6</b> | <b>Verifikation und Diskussion</b>  | <b>31</b> |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung</b>  | <b>32</b> |
|          | <b>Literatur</b>  | <b>33</b> |
|          | <b>Sachwortverzeichnis</b>  | <b>34</b> |
|          | <b>Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen</b>                            | <b>35</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis</b>  | <b>37</b> |
|          | <b>Tabellenverzeichnis</b>  | <b>38</b> |
|          | <b>Anhang E</b>   | <b>39</b> |
| E.1      | Wichtige L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X-Befehle . . . . .                              | 39        |
| E.2      | Vorlagen für L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> XUmgebungen . . . . .                        | 40        |
| E.2.1    | Listen und Aufzählungen . . . . .   | 40        |
| E.2.2    | Bilder und Grafiken . . . . .   | 41        |
| E.2.3    | Tabellen . . . . .  | 46        |
| E.2.4    | Formeln . . . . .   | 47        |



# 1 Einleitung

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

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

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

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

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

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

## 2 Grundlagen

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

### 2.1 Menschliche Wahrnehmung

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

Mit 70 % wahrgenommenen Umweltreize durch das Auge, ist es das bedeutendste Sinnesorgan des Menschen vor der Haut, Nase, Ohr oder Zunge. Unsere Wahrnehmung ist dabei immer eine Interpretation der erhaltenen Sinnesreize aller Sinnesorgane. Unsere visuelle Wahrnehmung ist daher nicht nur durch die Augen bestimmt, sondern auch durch die Ohren, der Nase, der Zunge und der Haut. Daneben spielen unsere Erfahrungen und emotionale Lage einen Einfluss auf die Wahrnehmung. [BSS17, Vgl. Seite 13]

f.] Das bedeutet, dass die Wahrnehmung ganzheitlich betrachtet werden muss und die einzelnen Wahrnehmungsarten miteinander wechselwirken.

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

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

### 2.1.1 Visuelle Wahrnehmung

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

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

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

beide Dimensionen als scharfes Bild abgedeckt. Durch Bewegungen des Auges und des Kopfes bewegt sich der scharfe Bereich und unser Gehirn fügt die aufgenommenen Bilder zusammen, um ein ganzheitliches scharfes Blickbild zu erzeugen. [BSS17, Vgl. Seite 14]

### 2.1.2 Haptische Wahrnehmung

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

- 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. Relevant für diese Arbeit der haptischen Wahrnehmung ist zum größten Teil 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 bestimmen. Die Rezeptoren können unterschieden werden in

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

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

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

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

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

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

### 2.1.3 Akustische Wahrnehmung

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

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

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

### 2.1.4 Olfaktorische Wahrnehmung

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

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

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

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

## 2.2 Technologien

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

### 2.2.1 Lumineszenzdiode

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

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

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

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

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

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

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

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

Zum Erzeugen von weißen Licht kann man drei verschiedene LEDs mit den Farben rot, grün und blau gleich hell strahlen lassen und es entsteht im Auge 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, in dem zwischen p- und n-Schicht eine organische Schicht aufgebracht ist. OLEDs sind dünner als normale LEDs und sind 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 2 dimensionales Bild.

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



### 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, dennoch sollen die folgenden Absätze ein Grundverständnis für die möglichen Funktionsweisen liefern.

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

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

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

### 2.2.4 Videoprojektoren

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

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

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

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

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

Vorteile gegenüber LCD-Displays sind die niedrigeren Herstellungskosten, geringerem Gewicht und die bessere Lesbarkeit. [SK02, Vgl. Seite 569]

## 3 Fahrzeugprototyp

### 3.1 Vision

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

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

### 3.2 Gesamtkonzept

Das Gesamtkonzept besteht im Kern um digitale Kunst im Fahrzeug. Kunden können unterschiedliche digitale Kunstinhalte, sogenannte Kollektionen, erwerben und diese Kollektionen in ihrem Fahrzeug aktivieren. Die Kollektionen bestehen aus mehreren inhaltlichen Bestandteilen, welche auf neuartigen und bestehenden Fahrzeugkomponenten im Fahrzeug dargestellt werden. Die Darstellung der Inhalte der Kollektionen kann entweder durchgehend sein oder nur durch bestimmte Trigger wie zum Beispiel das Entriegeln der Türen ausgelöst werden. Neben optischen Komponenten unterstützen haptische, olfaktorische und akustische Komponenten die Kollektionen. Dazu bilden Augmented Reality

(AR) Anwendungen weitere Darstellungen der Kollektionen mit Hilfe von einer eigenen App auf einem Mobiltelefon.

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

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

Im Gegensatz zu bisherigen Individualisierungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel Ambientebeleuchtung oder LED Scheinwerfer, können die Kollektionen in diesem Gesamtkonzept zum Einen dynamisch ihre Inhalte verändern und zum Anderen das gesamte Erscheinungsbild des Fahrzeuges durch ganzheitlich verändern. Daneben bietet das Gesamtkonzept ein Ökosystem für den Handel und die Interaktion für Kollektionen als digitale Wertgegenstände.

## 3.3 Beschreibung

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

nicht beeinträchtigt.

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

## 3.4 Exterieur Komponenten

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

Im Exterieur sind dies ein E-Papier in der Frontschürze, ein durchgehendes LED-Streifen in der Frontschürze, E-Papier Embleme über den beiden vorderen Radkästen, LED-Streifen in allen vier Radkästen, Videoprojektoren in den beiden Außenspiegel, nach außen gerichtete Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern, ein LED-Streifen in der Heckleuchte und zwei kleine E-Papiere unterhalb der Heckleuchte.

Im folgenden werden alle Exterieur Komponenten näher betrachtet:

### 3.4.1 E-Papier in der Frontschürze

Das E-Papier befindet sich hinter einer Scheibe mit einem Markenlogo in der Mitte der Fahrzeugfront und schließt an den Seiten über eine Abmaskierung auf die beiden Frontlichter an. Das E-Papier bewirkt mit der Laminierung an der Scheibe einen räumlichen Effekt, wonach das Markenlogo vor dem E-Papier hervor strahlt. Auf dem E-Papier werden graphische Designs dargestellt, die Betrachter vor dem Auto sehen können.

Das E-Papier hat ein Format von 16:9 und eine Auflösung von  $2560 \times 1440$ , wovon ein Teil des Bildschirms am Rand durch eine Abmaskierung nicht sichtbar ist.

#### 3.4.2 LED-Streifen in der Frontschürze

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

Auf dem Streifen werden dynamische bunte Lichtsequenzen gezeigt. 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.

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

Oberhalb der Radkästen befinden sich in einem ca. 20 cm breitem und 8 cm hohen Ausschnitt E-Papiere. An dieser Stelle befand sich vorher ein Emblem der Fahrzeugbezeichnung. Die E-Papiere werden genutzt, um den Namen der verwendeten Kollektion anzuzeigen.

Die E-Papiere haben ein Format von 4:3 und eine Auflösung von  $1600 \times 1200$ .

#### 3.4.4 LED-Streifen in den Radkästen

In allen vier Radkästen befinden sich LED-Streifen am äußeren Rand und strahlen durch eine Leiste nur in den Radkasten Innenraum auf den oberen Halbkreis des Reifenprofils. Pro Radkasten befinden sich 196 LEDs.

### 3.4.5 Videoprojektoren in den Außenspiegeln

In den Außenspiegeln wurde der Innenraum mit der Spiegelmechanik ausgebaut und Videoprojektoren eingebaut. Der nach unten ausgerichtete Videoprojektor bestrahlt die Flächen durch ein Loch an der Unterseite des Außenspiegels vor den vorderen Türen. Durch den Videoprojektor können Videos auf dem Boden gezeigt werden. Die Videoprojektoren haben ein Format von 16:10 und eine Auflösung von  $1280 \times 800$ .

### 3.4.6 Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern

In den hinteren Seitenfenstern befinden sich hinter der 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  $1280 \times 800$ .

### 3.4.7 LED-Streifen in der Heckleuchte

In der Serienheckleuchte wurde das rote Leuchtband mit einem LED-Streifen getauscht. Der Streifen ist dreigeteilt mit dem mittleren Teil in der Heckklappe und den zwei äußeren Teilen im hinteren Kotflügel. Der mittlere Streifen besitzt 219 LED und die äußeren Streifen 86 LED.

### 3.4.8 E-Papier in der Heckleuchte

Direkt unterhalb der Heckleuchten sind zwei E-Papiere in der Heckklappe eingebaut. Diese E-Papiere haben einen ähnlich großen Ausschnitt wie die E-Papiere oberhalb der Radkästen und werden auch genutzt, um den Namen der Kollektionen zu zeigen. Das Format und die Auflösung sind identisch zu diesen mit 4:3 und  $1600 \times 1200$

Zusammen mit dem LED-Streifen in der Heckleuchte bilden die E-Papiere die Heckansicht der Kollektion für Betrachter.

## 3.5 Interieur Komponenten

Im Interieur sind die Komponenten ein durchgehender LED-Streifen von den hinteren Türen über die vorderen Türen bis über das gesamte Cockpit, in den Türen eine LED Matrizen, 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 und eine LED Matrix im Dachhimmel.

Daneben sind weitere Komponenten Duftflakons im Innenraum, Bildschirmoberflächen im Cockpit und ein Soundplayer im Innenraum. Im folgenden werden alle Interieur Komponenten näher vorgestellt.

### 3.5.1 LED-Streifen im Interieur

Der LED-Streifen ist fünf geteilt 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 nicht die einzelnen LED 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.

#### 3.5.2 Matrix LED Türtafeln

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

#### 3.5.3 Bildschirme in der Einstiegsleiste

Anstelle einer Edelstahl Abdeckung 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 Auflösung der Bildschirme beträgt  $1280 \times 1024$ .

#### 3.5.4 Videoprojektoren im Fußraum

Für die vorderen Fußraumböden wurden zwei Videoprojektoren verbaut. Der linke Videoprojektor befindet sich unterhalb der Lenksäule, der rechte unterhalb des Handschuhfachs. Beide Videoprojektoren strahlen den Fußraum an und können dynamisch Inhalte abspielen. Die Videoprojektoren haben ein Format von 16:10 und eine Auflösung von  $1280 \times 800$ .

### 3.5.5 Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole

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

### 3.5.6 Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster

An das Dachfenster wurde ein durchsichtiger Bildschirm geklebt, das bei Betrachten von innen Grafiken darstellen kann. Der Bildschirm ist Full HD mit einer Auflösung von  $1920 \times 1080$ .

### 3.5.7 LED Matrix im Dachhimmel

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

### 3.5.8 Duftflakons im Innenraum

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

### 3.5.9 Bildschirmoberflächen im Cockpit

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

### 3.5.10 Soundplayer im Innenraum

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

## 3.6 Ansteuerung

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

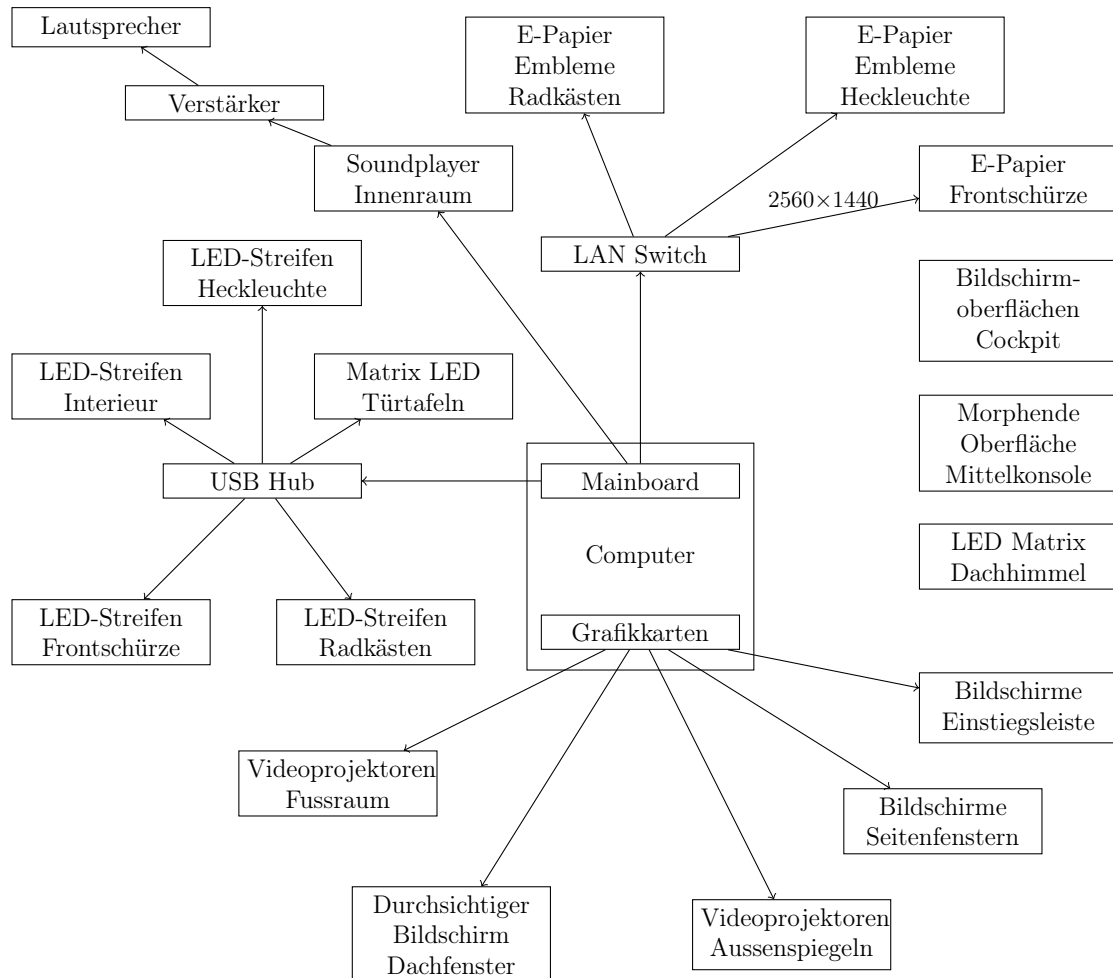
Die Displays und Beamer sind über HDMI (High Definition Multimedia Interface) mit dem Computer verbunden. Die Lichtleisten sind über USB (Universal Serial Bus) mit dem Rechner über ein USB Hub verbunden. Die E-Papier Displays werden von Raspberry Pis angesteuert und sind mit dem Rechner über LAN (Local Area Network) verbunden. Der Dachhimmel wird über WLAN vom Computer aus angesteuert. Die Lautsprecher werden über einen Verstärker und ein USB Audio Interface mit dem Computer verbunden.

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

Der Computer hat einen Zugriff auf das Bordnetz des Fahrzeug, um einzelne Signale herauslesen zu können. Durch bestimmte Signaländerungen löst der Computer Sequen-

zen von Inhalten in den Komponenten aus.

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



**Abbildung 3.1:** Ansteuerung Komponenten im Prototypen

## 4 Analyse der Komponenten des Prototypen

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

Die Analyse basiert auf den Komponenten des Prototypen, aber beschränkt sich nicht auf die einzeln verbaute Technologie, sondern geht auf den Gesamtkontext der Komponente ein. Grundlegend richtet sich die Analyse nach dem sinnlichen Darstellungszweck und dessen Bedarf an technischen Komponenten. Ein Beispiel dieser Herangehensweise ist der Bildschirm in der Eintiegsleiste. Die genaue Größe einer möglichen Serienimplementierung muss nicht gleich des Prototypen sein, aber sie muss eine Größe haben, die für die Darstellung der Inhalte geeignet ist.

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

## 4.1 Kriterien für den Einbau der Komponenten in Serienfahrzeuge

Die folgenden Kriterien richten sich zum Einen an die Komponenten und zum Anderen an die Fahrzeugentwicklung. Anhand der Kriterien kann eine Analyse des Ist-Zustandes angewendet werden.

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

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

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

### 4.1.1 Rechtliche Kriterien

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

Aus Gründen des Überblicks wird in der folgenden Arbeit nur auf einzelne Themen von rechtlichen Kriterien eingegangen. Für Lichter am Fahrzeug gilt die europäische Richtlinie ECE R48. Im Innenraum muss die Vermeidung von Fahrerablenkung sichergestellt werden.

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 Kriterien sind Grundvoraussetzungen für eine Erstellung eines Geschäftsplan und sollen somit einen Rahmen in diesem Bereich bieten. Die weiteren Schritte nach Erfüllung dieser Kriterien sind Absprachen mit Produktstrategen, Marketingexperten und Kalkulatoren.

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

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

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

Die Entwicklungskosten sind abhängig vom aktuellen Reifegrad vorhandener Technik und der Komplexität der Technik, während Anpassungskosten abhängig sind von dem entstehenden Bedarf an Architekturveränderungen. Die Produktionskosten sind abhängig von den Einkaufspreisen der Komponenten und der Montage. Diese Kriterien werden in dieser Arbeit nach der technischen Analyse gesammelt betrachtet, um einen Vergleich mit den einzelnen Komponenten zu liefern.

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

### 4.1.3 Technische Kriterien

Unter technischen Kriterien fallen alle relevanten Gebiete der Produktentwicklung:

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

**Physikalische Dimensionierung** Zur Erfolgreichen Integration der Komponente in eine Fahrzeugentwicklung 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 ausgefallen sein.

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

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



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

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

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

## 4.2 Analyse der Exterieur Komponenten

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

### 4.2.1 E-Papier in der Frontschürze

Das E-Papier sollte von der Distanz von zwei Metern ein scharfes Bild liefern. Mit der ungefähren Größe mit einer Breite von 80 cm und einer Höhe von 60cm ist das Durch die Position ist die gezielte Brechung bei Crashes relevant für die Sicherheit von Passanten.

### **4.2.2 LED-Streifen in der Frontschürze**

Unter den rechtlichen Kriterien gilt bei Lichtern die ECE R48 Daneben ist die pixel-dichte.

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

Die E-Paipier Embleme



#### 4.2.4 LED-Streifen in den Radkästen

#### 4.2.5 Videoprojektoren in den Außenspiegeln

#### 4.2.6 Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern

#### 4.2.7 LED-Streifen in der Heckleuchte

#### 4.2.8 E-Papier in der Heckleuchte

### 4.3 Analyse der Interieur Komponenten

#### 4.3.1 LED-Streifen im Interieur

#### 4.3.2 Matrix LED Türtafeln

#### 4.3.3 Bildschirme in der Einstiegsleiste

#### 4.3.4 Videoprojektoren im Fußraum

#### 4.3.5 Morphende Oberfläche in der Mittelkonsole

#### 4.3.6 Durchsichtiger Bildschirm im Dachfenster

#### 4.3.7 LED Matrix im Dachhimmel

#### 4.3.8 Duftflakons im Innenraum

#### 4.3.9 Bildschirmoberflächen im Cockpit

#### 4.3.10 Sensordaten im Cockpit

dern als Ganzes oder Gebündelt vertrieben werden soll. Daher ist eine Gesamtbetrachtung der wirtschaftlichen Kriterien sinnvoll.

In Tabelle 4.1 werden alle Komponenten mit den nötigen Anpassungen in der Serienentwicklung in den bestimmten Bereichen auf Basis der vorherigen technischen Analyse.

**Tabelle 4.1:** Liste der Komponenten mit den nötigen Eingriffen in die Fahrzeugentwicklung

| Komponente                                   | Karosserie | E/E Architektur | Software |
|--|------------|-----------------|----------|
| E-Papier in der Frontschürze                 | X          | X               | X        |
| LED-Streifen in der Frontschürze             | X          | X               | X        |
| E-Papier Embleme über den vorderen Radkästen | X          | X               | X        |
| LED-Streifen in den Radkästen                | X          | X               | X        |
| Videoprojektoren in den Außenspiegeln        | X          | X               | X        |
| Bildschirme in den hinteren Seitenfenstern   | X          | X               | X        |
| LED-Streifen in der Heckleuchte              |            | X               | X        |
| E-Papier in der Heckleuchte                  | X          | X               | X        |
| LED-Streifen im Interieur                    |            | X               | X        |
| Matrix 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 Anforderungen an die Komponenten für eine Serieneinführung auf Basis der Analyse

... Text Umsetzung: Beschreibung der Umsetzung und eigener Untersuchungen ...

# 6 Verifikation und Diskussion

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

## 7 Zusammenfassung

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



# Literatur

- [Ber19] Herbert Bernstein. *Elektroakustik: Mikrofone, Klangstufen, Verstärker, Filterschaltungen und Lautsprecher*. 2., aktualisierte Auflage. Springer eBook Collection. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019. ISBN: 9783658251741. DOI: 10.1007/978-3-658-25174-1.
- [BSS17] Peter Bühler, Patrick Schlaich und Dominik Sinner. *Visuelle Kommunikation: Wahrnehmung - Perspektive - Gestaltung*. Bibliothek der Mediengestaltung / Peter Bühler, Patrick Schlaich, Dominik Sinner. Berlin: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-53770-1.
- [LNS20] Martin Löffler-Mang, Helmut Naumann und Gottfried Schröder. *Handbuch Bauelemente der Optik: Grundlagen, Werkstoffe, Geräte, Messtechnik*. 8., überarbeitete Auflage. Hanser eLibrary. München: Hanser, 2020. ISBN: 9783446461260. DOI: 10.3139/9783446461260. URL: <https://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446461260>.
- [Sch13] Rainer Schönhammer. *Einführung in die Wahrnehmungspsychologie: Sinne, Körper, Bewegung*. 2., überarb., aktualisierte und erw. Aufl. Bd. 3142. utb-studi-e-book Psychologie. Stuttgart und Wien: UTB GmbH und Facultas, 2013. ISBN: 9783838540764. DOI: 10.36198/9783838540764. URL: <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.36198/9783838540764>.
- [Sch21] Ulrich Schmidt. *Professionelle Videotechnik: Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, UHD, HDR, IP*. 7. Aufl. 2021. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021. ISBN: 9783662639443. URL: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1879086>.

- [SK02] Guido Schryen und Jürgen Karla. “Elektronisches Papier — Displaytechnologie mit weitem Anwendungsspektrum”. In: *Wirtschaftsinformatik* 44.6 (2002), S. 567–574. ISSN: 1861-8936. DOI: 10.1007/BF03250875. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03250875>.
- [Spr20] Sebastian Sprenger. *Haptik am User Interface: Interfacedesign in der zeitgenössischen Medienkunst zwischen Sinnlichkeit und Schmerz*. 1st ed. Bd. v.73. Edition Medienwissenschaft. Bielefeld: Transcript Verlag, 2020. ISBN: 9783839451342. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6266820>.

# Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

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

## Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

---

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

# Abbildungsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Ansteuerung Komponenten im Prototypen . . . . .   | 20 |
| E.1 | Beispiel für die Einbindung eines Bildes. . . . .   | 41 |
| E.2 | Mit Tikz programmierte Grafik. . . . .  | 42 |
| E.3 | Mit Tikz programmierte Grafik, welche bereits vorgefertigte Bibliotheken<br>für Symbole aus der Digitaltechnik nutzt. . . . . | 42 |
| E.4 | Diagramm, erstellt mit dem <i>pgfplot</i> -Befehlssatz. . . . .   | 43 |
| E.5 | Diagramm mit zwei unterschiedlichen y-Achsen. . . . .   | 45 |

# Tabellenverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.1 | Liste der Komponenten mit den nötigen Eingriffen in die Fahrzeugentwicklung . . . . . | 29 |
| E.1 | Liste der verwendeten Messgeräte . . . . .  | 46 |

# Anhang E

## E.1 Wichtige L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-Befehle

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <code>\label{}</code>              | Definition eines Labels, auf welches referenziert werden kann<br>z.B.: <code>\label{fig:MyImage}</code>                            |
| <code>\ref{}</code>                | Setzen einer Referenz zu einem Label   |
| <code>\pageref{}</code>            | Gibt die Seitenzahl zu einer Referenz zurück<br>z.B.: Tabelle~ <code>\ref{tab:messdaten}</code> fasst die Messergebnisse zusammen. |
| <code>\cite{}</code>               | Literaturreferenz einfügen   |
| <code>\cite[S. x]{}</code>         | Literaturreferenz mit Angabe einer Seitenzahl „x“ einfügen   |
| <code>\footnote{}</code>           | Fußnote einfügen   |
| <code>~</code>                     | Einfügen eines geschützten Leerzeichens  |
| <code>\$Formel\$</code>            | Eingabe einer Formel im Text   |
| <code>\nomenclature{a.}{ab}</code> | Aufnahme der Abkürzung „a.“ für „ab“ in das Abkürzungsverzeichnis.   |
| <code>\index{Obst!Birne}</code>    | Aufnahme des Begriffs „Birne“ in den Index unter „Obst“.   |
| <code>\clearpage</code>            | Ausgabe aller Gleitobjekte und Umbruch auf neue Seite  |

## E.2 Vorlagen für L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Umgebungen

### E.2.1 Listen und Aufzählungen

Es gibt folgende Listentypen. Die wichtigsten:

- Einfache Liste mit *itemize*-Umgebung
- ...
- 1. Nummerierte Liste mit *enumerate*-Umgebung
- 2. ...
- a. wobei man bei der *enumerate*-Umgebung leicht die Art der Nummerierung ändern kann,
- b. ...

und durch verschachtelte Umgebungen verschiedene Aufzählungsebenen darstellen kann:

- a) Erster Aufzählungspunkt der ersten Ebene
- b) ...
  - Erster Punkt der zweiten Ebene
  - Zweiter Punkt der zweiten Ebene
- c) Das sollte an Beispielen zunächst einmal genügen.



## E.2.2 Bilder und Grafiken

Bilder können als PDF-, JPG-, und PNG-Bilder in  $\text{\LaTeX}$  eingebunden werden. Damit eine Grafik in hoher Qualität dargestellt wird, sollte das Dateiformat der Grafik vektorbasiert sein, d.h. als PDF-Datei vorliegen. Viele Zeichenprogramme unterstützen einen PDF-Export (z.B. GIMP, Adobe Illustrator, etc.). Für Grafiken aus PowerPoint sei folgende Vorgehensweise beim Export empfohlen:

1. Die gewünschte Grafik in PowerPoint zeichnen.
2. Gewünschten Bildbereich markieren, rechte Maustaste klicken und „Als Grafik speichern ...“ wählen.
3. Grafik im Format EMF abspeichern. Das EMF-Format ist vektorbasiert.<sup>1</sup>
4. Mit dem Programm XnView die Grafik im EMF-Format in PDF wandeln und abspeichern.
5. Die so erzeugte PDF-Datei enthält eine vektorbasierte Grafik und kann in  $\text{\LaTeX}$  eingebunden werden.

Abbildung E.1 zeigt ein Beispielbild einer Grafik, welche aus PowerPoint exportiert wurde.



**Abbildung E.1:** Beispiel für die Einbindung eines Bildes (PDF-, JPG-, und PNG-Bilder können eingebunden werden).

Der Quellcode des Beispielbildes aus Abbildung E.1 ist in Listing E.1 zu sehen.

---

<sup>1</sup>Mit dem Mac kann in PowerPoint die Grafik direkt im PDF-Format exportiert werden. Die weiteren Schritte entfallen daher.

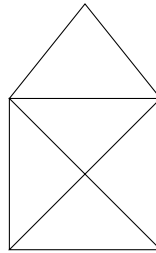
**Listing E.1:** Quellcode der Abbildung E.1.

```

1 \begin{figure}[hbt]           % here, bottom, top
2 \centering                   % Zentrierung
3 \includegraphics[width=0.6\linewidth]{images/MyImage}
4 \caption[Beispiel für die Einbindung eines Bildes.]{Beispiel für die
   Einbindung eines Bildes (PDF-, JPG-, und PNG-Bilder können eingebunden
   werden).}
5 \label{fig:MyImage}
6 \end{figure}

```

Grafiken können auch mithilfe des Packages Tikz gezeichnet, bzw. programmiert werden. Grafiken mit Tikz werden mit dem *input*-Befehl in die *figure*-Umgebung geladen, wie nachfolgendes Beispiel in Abbildung E.2 zeigt:



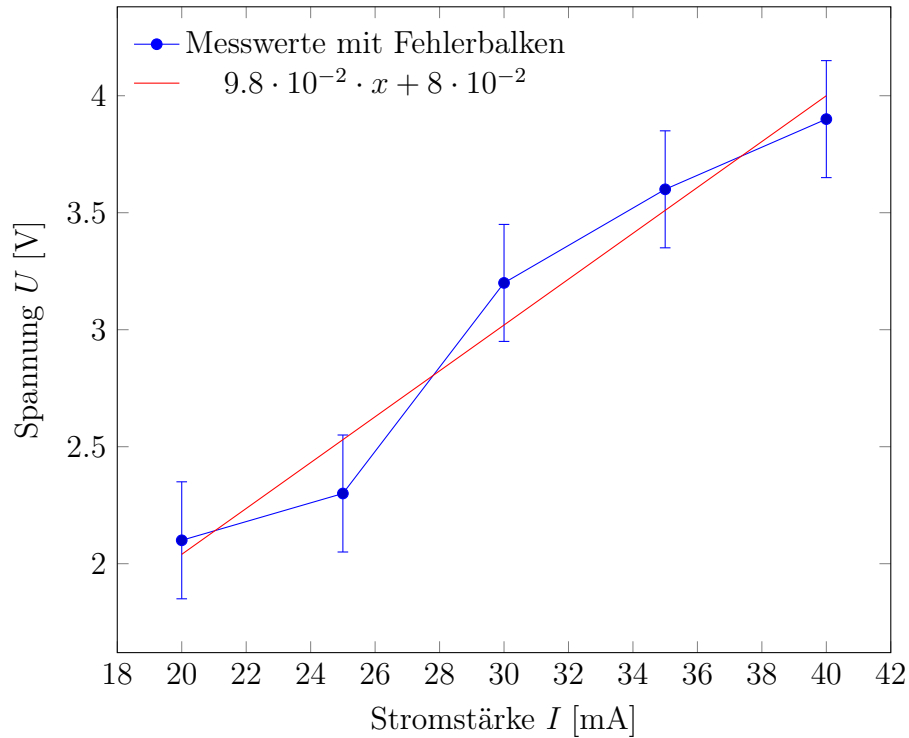
**Abbildung E.2:** Mit Tikz programmierte Grafik.

Ein etwas umfangreicheres Beispiel zur Digitaltechnik ist in Abbildung E.3 dargestellt:



**Abbildung E.3:** Mit Tikz programmierte Grafik, welche bereits vorgefertigte Bibliotheken für Symbole aus der Digitaltechnik nutzt.

In der Tikz-Umgebung können auch Diagramme mit dem *pgfplot*-Befehlssatz erzeugt werden. In Abbildung E.4 sehen Sie ein Beispiel.



**Abbildung E.4:** Ein Diagramm, erstellt in der *tikzpicture*-Umgebung mit dem *pgfplot*-Befehlssatz. Das Diagramm stellt Messdaten, deren Fehlerbalken und eine Regressionskurve dar. Die Messdaten werden von einer separaten Datei eingelesen und die Regressionskurve wurde mit *pgfplot* berechnet und erstellt.

Auch hierzu der Quellcode in Listing E.2.

**Listing E.2:** Quellcode der Abbildung E.4.

```

1 \begin{figure}[hbt]
2 \centering
3 \input{pgfplot/mess_fehlerbalken.tex}
4 \caption[Diagramm, erstellt mit dem \textit{pgfplot}-Befehlssatz.]{Ein
   Diagramm, erstellt in der \textit{tikzpicture}-Umgebung mit dem \textit{pgfplot}-Befehlssatz. Das Diagramm stellt Messdaten, deren
   Fehlerbalken und eine Regressionskurve dar. Die Messdaten werden von
   einer separaten Datei eingelesen und die Regressionskurve wurde mit \
   \textit{pgfplot} berechnet und erstellt.}
5 \label{fig:pgfplot}
6 \end{figure}

```

In Listing E.3 ist der Quellcode der Datei *mess\_fehlerbalken.tex* dargestellt.

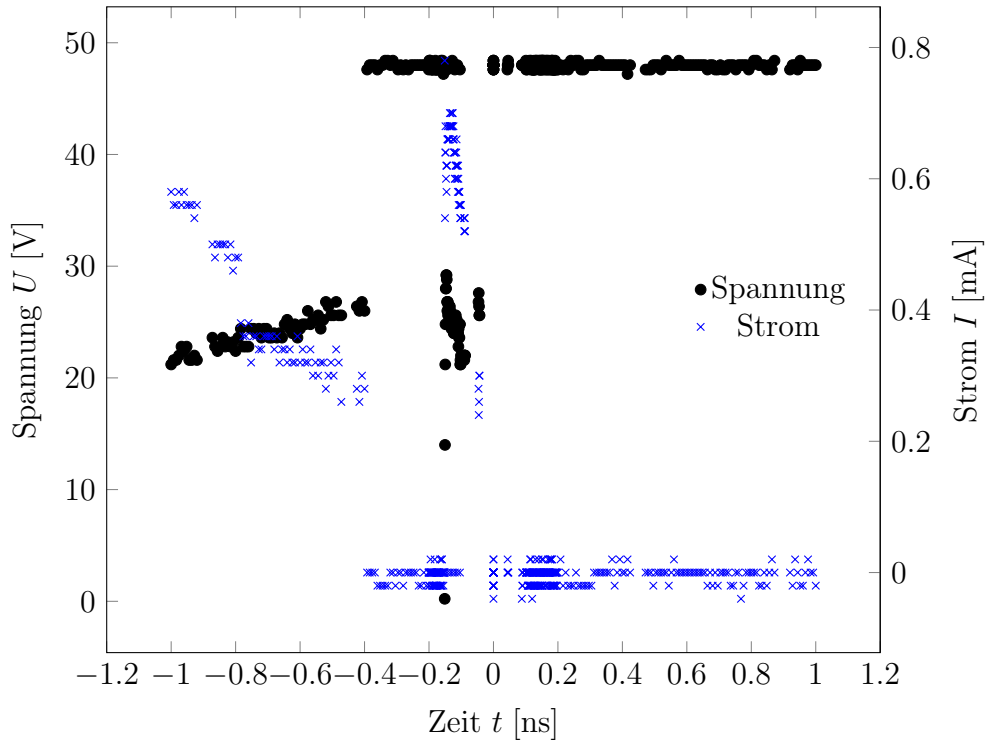
**Listing E.3:** Quellcode der Datei *mess\_fehlerbalken.tex*.

```

1 \begin{tikzpicture}
2 \begin{axis}[scale=1.3,legend entries={Messwerte mit Fehlerbalken ,
3 $\pgfmathprintnumber{\pgfplotstableregressiona}$ \cdot x
4 $\pgfmathprintnumber[print sign]{\pgfplotstableregressionb}$}, legend style
   ={draw=none},legend style={at={(0.01,0.98)},anchor=north west},xlabel=
   Stromstärke $I$ \; \mathrm{\lbrack mA \rbrack}$,ylabel=Spannung $U$ \; \
   \mathrm{\lbrack V \rbrack}$]
5 \addlegendimage{mark=*,blue}
6 \addlegendimage{no markers,red}
7 \addplot+[error bars/.cd, y dir=both,y explicit]
8 table[x=x,y=y,y error=error_y]
9 {pgfplot/messdaten_mitfehler.dat};
10 \addplot table[mark=none,y={create col/linear regression={y=y}}]
11 {pgfplot/messdaten_mitfehler.dat};
12 \end{axis}
13 \end{tikzpicture}

```

In Abbildung E.5 wird ein weiteres Beispiel für ein Diagramm gezeigt. Oftmals wird eine zweite y-Achse verwendet, um verschiedene Skalen darstellen zu können.



**Abbildung E.5:** Diagramm mit zwei unterschiedlichen y-Achsen.

## E.2.3 Tabellen

**Tabelle E.1:** Liste der verwendeten Messgeräte. Die Genauigkeitsangaben beziehen sich auf die Standardabweichung  $1 \cdot \sigma$ .

| Messgerät           | Hersteller   | Typ       | Verwendung                                       | Genauigkeit                    |
|---------------------|--------------|-----------|--|--------------------------------|
| Spannungsversorgung | Voltmaker    | HV2000    | Spannungsversorgung der Platine                  | $\Delta U = \pm 5 \text{ mV}$  |
| Strommessgerät      | Currentcount | Hotamp 16 | Strommessung am Versorgungspin des $\mu\text{C}$ | $\Delta I = \pm 0.1 \text{ A}$ |

Der Quellcode der Beispieldabelle E.1 ist in Listing E.4 zu sehen.

**Listing E.4:** Quellcode der Tabelle E.1.

```

1 \begin{table}[hbt]
2 \centering
3 \renewcommand{\arraystretch}{1.5} % Skaliert die Zeilenhöhe der Tabelle
4 \captionabove[Liste der verwendeten Messgeräte]{Liste der verwendeten
   Messgeräte. Die Genauigkeitsangaben beziehen sich auf die
   Standardabweichung  $1 \cdot \sigma$ .}
5 \label{tab:bsp}
6 \begin{tabular}{ccccc}
7 \textbf{Messgerät} & \textbf{Hersteller} & \textbf{Typ} & \textbf{Verwendung} & \textbf{Genauigkeit} \\
8 \hline
9 \hline
10 \parbox[t]{0.2\linewidth}{\centering Spannungsversorgung} & Voltmaker & HV2000 & Spannungsversorgung der Platine &  $\Delta U = \pm 5 \text{ mV}$  \\
% Der parbox-Befehl ist erforderlich, damit ein Zeilenumbruch erzeugt werden kann. c-Spalten (zentriert) erlauben nicht automatisch einen Zeilenumbruch. Linksbündig gesetzte p-Spalten erlauben automatisch den Zeilenumbruch.
11 Strommessgerät & Currentcount & Hotamp 16 & Strommessung am Versorgungspin des  $\mu\text{C}$  &  $\Delta I = \pm 0.1 \text{ A}$  \\
12 \hline
13 \end{tabular}
14 \end{table}

```

## E.2.4 Formeln

Formeln lassen sich in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X ganz einfach schreiben. Es gibt unterschiedliche Umgebungen zum Schreiben von Formeln. Z.B. direkt im Text  $v = s/t$  oder abgesetzt

$$F = m \cdot a$$

oder auch, wie in wissenschaftlichen Dokumenten üblich, nummeriert

$$P = \frac{U^2}{R} \quad . \quad (\text{E.1})$$

Mit einem Label in Formel E.1 lassen sich natürlich auch Formeln im Text referenzieren. L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X verwendet im Formelmodus einen eigenen Schriftsatz, welcher entsprechend der gängigen Konventionen kursive Zeichen verwendet. Sollen im Formelmodus Einheiten in normaler Schriftart eingefügt werden, dann kann dies über den Befehl `\mathrm{}` erwirkt werden, wie im Quellcode von Formel E.2 zu sehen ist.

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(100 \text{ V})^2}{100 \, \Omega} = 100 \text{ W} \quad . \quad (\text{E.2})$$

Zum direkten Vergleich sind die Einheiten in Formel E.3 falsch dargestellt:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(100 \text{ V})^2}{100 \, \Omega} = 100 \text{ W} \quad (\text{E.3})$$

Zur einfachen Eingabe von Einheiten kann auch das Package `\siunitx` verwendet werden:

$$P = 100 \text{ W} = 100 \text{ J s}^{-1} \quad (\text{E.4})$$

Das sind nur ein paar wenige Beispiele und es gibt sehr viele Packages, um Besonderheiten in Formeln realisieren zu können, z.B. mehrzeilige Formeln mit vertikaler Ausrichtung. Nennen Sie Formeln nur, wenn diese zum besseren Verständnis auch wirklich nützlich sind.

Folgende Befehle sind innerhalb von Formel-Umgebungen nützlich:

|   |  |
|---|--|
| <code>\text{}</code>  | Damit kann in Formel-Umgebung Text geschrieben werden. |
| <code>\,</code> , <code>\:</code> , <code>\;</code> oder <code>\quad</code> und <code>\qquad</code> | Zusätzlichen Abstand zwischen Symbolen einfügen.       |
| <code>\notag</code>   | Nummerierung einer bestimmten Formel ausschalten.      |

Abschließend nochmals ein kleines Beispiel:

$$\sum_{n=1}^{\infty} f(x_n) \cdot \Delta x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x} = \frac{df}{dx} = \dot{f}(x) \quad (\text{E.5})$$