



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Christian Feddern

Entwicklung einer mobilen Wage für ein Fahrzeug

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und
Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and Pro-
duction Management*

Christian Feddern

Entwicklung einer mobilen Wage für ein Fahrzeug

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang B.Sc. Maschinenbau - Entwicklung und Konstruktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Meyer-Eschenbach
Zweitgutachter: Timo Plogstedt

Eingereicht am: 28. November 2024

Christian Feddern

Thema der Arbeit

Entwicklung einer mobilen Waage für ein Fahrzeug

Stichworte

Entwicklung, Konstruktion, Waage, Kraftsensoren, Drucksensor, piezoelektrische Keramik

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit behandelt die Vorentwicklung einer mobilen Waage für Wohnmobil und Caravane in Zusammenarbeit mit der Fa. Mixcover GmbH. Diese soll den Anwendern ermöglichen, jederzeit das Fahrzeug- oder Anhänger-gewicht ermitteln zu können. Die Arbeit setzt am Anfang des Entwicklungsprozesses an, es wird eine Markt- und Wettbewerbsanalyse durchgeführt, Prototypen gebaut sowie ein Gehäuse konstruiert. Außerdem wird eine Software geschrieben, mit Hilfe derer die Prototypen getestet werden können und auf der die Software für ein mögliches, finales Produkt aufbauen kann.

Christian Feddern

Title of the paper

Development of a mobile scale for a vehicle

Keywords

development, construction, scales, load cell, pressure sensor, piezoelectric ceramics

Abstract

This work addresses the early stages of the development of a mobile scale for motorhomes and caravans in cooperation with Mixcover GmbH. The goal is to enable users to determine the weight of their vehicle or trailer at any time. The project begins with the initial phases of the development process. A market and competition analysis is conducted, prototypes are built and a housing is designed. In addition, software will be developed to test the prototypes and on which the software for a possible final product can be based.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	x
Listings	x
Abkürzungsverzeichnis	xi
Liste der verwendeten Symbole	xii
1. Einleitung	1
1.1. Vorgehensweise	2
2. Grundlagen	4
2.1. Kraftsensoren	4
2.1.1. Messgenauigkeit	6
2.2. Piezoelektrische Keramiken	6
2.3. Drucksensoren	7
3. Markt- und Wettbewerbsanalyse	9
3.1. Marktanalyse	9
3.1.1. Potenzielle Kunden	10
3.2. Wettbewerbsanalyse	11
3.2.1. Caravan Weight Control (CWC)	11
3.2.2. Obelink Statera	20
3.2.3. Vergleich	27
3.2.4. Erkenntnisse	29
3.3. Anforderungsliste	30
3.4. Zusammenfassung	32
4. Analyse der Funktionen	33
4.1. Funktionsstruktur	33
4.1.1. Gehäuse und Bedienung	33
4.1.2. Messtechnik und Datenübertragung	34
4.1.3. Darstellung und Verarbeitung der Messwerte	34
4.1.4. Stromversorgung	35
4.2. Brainstorming	36
4.2.1. Morphologischer Kasten	36
5. Entwicklung und Bau von Prototypen	38
5.1. Prototyp mit einem Drucksensor	38
5.1.1. Theorie	38
5.1.2. Bauteile	39

5.1.3.	Aufbau	40
5.2.	Prototyp mit Kraftsensoren	43
5.2.1.	Theorie	43
5.2.2.	Bauteile	43
5.2.3.	Aufbau	45
5.3.	Prototyp mit piezoelektrische Keramiken	46
5.3.1.	Bauteile	46
5.3.2.	Aufbau	47
5.4.	Display	48
6.	Software	49
6.1.	Drucksensor	49
6.1.1.	Theorie	49
6.1.2.	Ansteuerung des Drucksensors und Ausgabe der Messwerte	50
6.2.	Kraftsensor	52
6.2.1.	Theorie	52
6.2.2.	Ansteuerung des Kraftsensors	52
6.3.	Programme und Display	54
6.3.1.	Programmablauf	54
6.3.2.	Messpunkte	55
6.3.3.	Anhänger mit einer Achse	57
6.3.4.	Anhänger mit Doppelachse	57
6.3.5.	Fahrzeug mit zwei Achsen und weitem Radstand	58
6.3.6.	Berechnen der Ergebnisse	59
6.3.7.	Darstellung auf dem Display des Prototyps	60
6.3.8.	Bedienung der Waage	61
6.3.9.	Weitere Funktionen	63
7.	Festlegung des Funktionsprinzips	64
7.1.	Testen der Prototypen	64
7.1.1.	Drucksensor	65
7.1.2.	Kraftsensor	66
7.1.3.	Piezoelektrische Keramik	68
7.1.4.	Fazit	69
7.2.	Festlegen der Lösung	69
7.2.1.	Messprinzip	69
7.2.2.	Display	70
7.2.3.	Stromversorgung	71
7.3.	Zusätzliche Bauteile	71
7.3.1.	Kraftsensoren	71
7.3.2.	Display	72
7.3.3.	Bedienung	74
7.3.4.	Stromversorgung	74

7.3.5. Mainboard	75
8. Entwicklung des Gehäuses	76
8.1. Wiegefläche	77
8.2. Integration einer Auffahrhilfe	78
8.3. Display und Tasten	79
8.4. Dimensionierung für die Kraftsensoren	81
8.5. Akku und Ladeanschluss	82
8.6. Verbinden der Gehäusehälften	83
8.7. Weitere Details	84
8.8. Finale Maße	85
9. Ausblick und Fazit	87
A. Anhang	90
A.1. Elektronischer Anhang	93

Abbildungsverzeichnis

1.	Darstellungsweise der Wheatstonschen Brückenschaltung [13]	4
2.	Anzahl der Neuzulassungen von Wohnmobilen und Caravans in den Jahren 2020 - 2023 in den Mitgliedsverbänden der ECF	9
3.	Caravan Weight Control (CWC) bis 1.500kg	11
4.	Innenansicht der CWC	12
5.	Platine der CWC	13
6.	Füße der CWC	14
7.	Piezoelektrische Keramik im Fuß der CWC	14
8.	Reifenposition auf der Waage	16
9.	Positionierung der Waage vor dem Reifen	16
10.	Verwendung einer Auffahrhilfe	17
11.	Obelink Statera 1500	20
12.	Innenansicht der Obelink Statera	21
13.	Platine der Obelink Statera	22
14.	Displayseite der Platine	23
15.	Vergleich der beiden Displays	27
16.	Innenaufbau beider Waagen im Vergleich	28
17.	Schematische Darstellung des Prototypen mit Drucksensor	41
18.	Aufbau des Prototypen mit dem 100 kg Kraftsensor	45
19.	Vorrichtung zum Belasten der piezoelektrischen Keramiken	47
20.	Verkabelung des Displays auf dem Steckbrett	48
21.	Pixeldarstellung eines Anhängers mit zwei Achsen und einem Fahrzeug	61
22.	LCD Display mit allen Segmenten	72
23.	Verwendung der Segemente für die einzelnen Programme	73
24.	Gesamtansicht des Displays mit sichtbaren Pins	73
25.	Seitliche Sicht aus 45° auf des Gehäuses	77
26.	Draufsicht auf das Gehäuse	77
27.	Rückansicht der Waage mit erkennbaren Abschrägungen	78
28.	Fase am Übergang von Auffahrhilfe zum Displayabastz	79
29.	Draufsicht auf die Aussparungen für Display und Bedienknöpfe	80
30.	Befestigungspunkte für das Mainboard auf der Unterseite	80
31.	Unterseite der Waage mit Aussparung für die Füße	81
32.	Aussparung für den Ladeanschluss	82
33.	Stege zur Positionierung des Akkus	83
34.	Senkungen für die Schrauben auf der Oberseite	83
35.	Senkungen für die Muttern auf der Unterseite	84
36.	Positionshilfen für den Aluminiumblock	84

37.	Kanten zum Verhindern von übermäßigem Kippen	85
38.	Gesamtsicht des Gehäuses	86

Tabellenverzeichnis

3.1.	Auswertung der positiven Bewertungen der CWC	18
3.2.	Auswertung der negativen Bewertungen der CWC	19
3.3.	Auswertung der positiven Bewertungen der Obelink Statera	25
3.4.	Auswertung der negativen Bewertungen der Obelink Statera	26
7.1.	Mittelwerte der Messreihe des Drucksensors	65
7.2.	Messreihe 100kg Kraftsensor	66
7.3.	Messreihe 2000kg Kraftsensor	67
7.4.	Messreihe 750kg Kraftsensor	67
7.5.	Messreihe piezoelektrische Keramiken	68

Listings

6.1.	Auslesen des Drucksensors	50
6.2.	Sammeln der Messwerte	50
6.3.	Berechnung des Gewichts	51
6.4.	Kraftsensor auslesen	52
6.5.	Enumeratoren für die Messpunkte	55
6.6.	Auswahl des nächsten Messpunktes	56
6.7.	Überprüfung der Messpunkte im Anhänger mit einer Achse Programm	57
6.8.	Überprüfung auf validen Messpunkt	58
6.9.	Berechnung der Ergebnisse	59
6.10.	Hilfsfunktion zum Zeichnen von Dreiecken als Index	60
6.11.	Funktionen des Delete Knopfes	61
6.12.	Funktionen der Knöpfe	62
6.13.	Autoswitch Funktion	63

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Vollständige Bedeutung
AWG	American Wire Gauge
CWC	Caravan Weight Control
DMS	Dehnungsmesstreifen
ECF	European Caravan Federation
Gnd	Ground (elektrische Erdung)
GPIO	General Purpose Input/Output
lbs	Pounds
LCD	Liquid Crystal Display
OLED	Organic Light Emitting Diode
PZT	Blei - Zirkonat - Titanat

Liste der verwendeten Symbole

Symbol	Einheit	Beschreibung
a	$[m/s^2]$	Beschleunigung
A	$[m^2]$	Fläche
b	$[m]$	Breite
C	$[F]$	Kapazität
d	$[m/V]$	Piezoelektrischer Koeffizient
d	$[m]$	Durchmesser
ε	$[]$	Dehnung
ε^T	$[F/m]$	Permittivität
g	$[m/s^2]$	Erdbeschleunigung
h	$[mm]$	Höhe
I	$[A]$	Elektrische Stromstärke
k	$[]$	Proportionalitätsfaktor
l	$[mm]$	Länge
m	$[kg]$	Masse
P	$[Pa]$	Druck
R	$[\Omega]$	Elektrischer Widerstand
U	$[V]$	Elektrische Spannung

1. Einleitung

Wer mit einem Wohnmobil oder Caravan in den Urlaub fährt, der muss aus verschiedenen Gründen zwangsläufig auf das Gewicht seines Gespannes achten. Gerade während der Corona Pandemie haben sich viele ein eigenes Wohnmobil oder einen Wohnanhänger zugelegt [10]. Besonders von Interesse sind hierbei das Gesamtgewicht sowie die Gewichtsverteilung. Viele Reisemobile werden bis nah an die Grenze von 3.500 kg beladen, was dem zulässigen Maximalgewicht der Führerscheinklasse B entspricht und die am häufigsten vorkommende Führerscheinklasse in Deutschland ist [12]. Auch gelten in anderen europäischen Ländern besondere Vorschriften für Fahrzeuge über 3.500 kg. Zusätzlich muss auch das zulässige Gesamtgewicht des eigenen Fahrzeugs beachtet werden. Für Caravane ist außerdem die Stützlast relevant um die maximale Stützlast der Anhängerkupplung nicht zu überschreiten. Außerdem hat diese eine große Auswirkung auf die Fahrsicherheit. Ist der Schwerpunkt des Anhängers zu weit hinten, ist das Fahrverhalten nicht mehr stabil und es besteht die Gefahr, dass dieser sich bei schnelleren Fahrmanövern, starkem Wind und anderen äußeren Einflüssen aufschwingt und das Unfallrisiko dadurch stark erhöht wird. Zusätzlich muss darauf geachtet werden, dass auch die maximale Zugkraft des Zugfahrzeugs nicht überschritten wird sowie die Anhängelast, die mit der Führerscheinklasse des Fahrers bewegt werden darf.

Aus diesen Gründen sollte vor jedem Urlaub mit einem Wohnmobil oder Wohnanhänger das Gesamtgewicht des Gespannes ermittelt werden. Dies ist am einfachsten und am genauesten beim TÜV möglich. Dies kostet jedoch Zeit und auch die Fahrt dahin kann bereits mit einem Risiko verbunden sein, sollte das Gespann falsch beladen sein. Im Rahmen dieser Arbeit soll die Grundlage für eine eigene, mobile Waage geschaffen werden. Diese soll es den Kunden ermöglichen, jederzeit und überall zuverlässig ihr Fahrzeuggewicht zu ermitteln. Durch eine kompakte Bauform soll es möglich sein, die Waage immer dabei zu haben um das Fahrzeuggewicht unterwegs erneut überprüfen zu können.

1.1. Vorgehensweise

Die Entwicklungsarbeit erfolgt in Zusammenarbeit mit der Firma Mixcover GmbH, für die ein Produkt entwickelt werden soll. Diese Arbeit umfasst den theoretischen Hintergrund sowie die Methodik des Projektes und die praktischen Entwicklungsarbeit. Dabei werden folgende Arbeitspakete in dieser Arbeit behandelt:

Recherchieren der relevanten Literatur insbesondere im Bereich Messtechnik

Der technische Teil bei dem Projekt ist die Messtechnik der Waage. Damit diese besser beurteilt werden kann, muss hierfür zunächst das notwendige Grundlagenwissen vorhanden sein. Im ersten Kapitel werden hierfür die notwendigen Konventionen sowie Wissen über die potentiell verwendete Messtechnik vermittelt.

Markt- und Wettbewerbsanalyse

Die Marktanalyse dient dazu, um zu erkennen, welche Zielgruppen angesprochen werden können und als potenzielle Kunden erkennbar sind. Dies gibt wiederum Aufschluss darüber, wie groß der Markt ist und welche Präferenzen die Kunden haben könnten. In der Wettbewerbsanalyse wird untersucht, welche Konkurrenzprodukte es auf dem Markt gibt und was deren Stärken und Schwächen sind. Dadurch kann für eine Strategie entwickelt werden, auf welche Art und Weise die Kunden angesprochen werden sollen. Die Markt- und Wettbewerbsanalyse erfolgt im zweiten Kapitel, welches denselben Namen trägt.

Analyse der funktionalen Zusammenhänge und Finden von Teillösungen

Um zu verstehen, welche Funktionen in unserer Waage benötigt werden, können aus den Konkurrenzprodukten Schlüsse über deren Funktionsaufbau gezogen werden. Im Kapitel "Analyse der Funktionen" wird sich zunächst ein Überblick über sämtliche Funktion sowie deren Zusammenspiel verschafft, um anschließend durch Brainstorming sowie einem morphologischen Kasten mögliche Teillösungen für die späteren Prototypen zu finden.

Gestalten und Aufbauen von drei verschiedenen Prototypen

Im Entwicklungsprozess soll für jedes in Frage kommende Messprinzip ein simpler Prototyp konstruiert und getestet werden. Mit Hilfe dieser soll später eine fundiertere Auswahl getroffen werden können, nach welchem Funktionsprinzip die Waage arbeiten wird und welche Lösungen sich als günstig herausstellen. Im Kapitel "Entwicklung und Bau von Prototypen" wird dieser Prozess begleitet und dargestellt.

Entwickeln der Software und Klären der Stromversorgung

Um die Prototypen zu testen, muss für diese eine Software entwickelt werden, welche die Messtechnik auslesen kann. Diese muss an die jeweiligen Sensoren angepasst werden und soll später als Grundlage dienen, um die finale Software der Waage entwickeln zu können. Die Software der Prototypen wird im Kapitel "Software" erklärt. Die Stromversorgung der Waage ist ein kleiner Aspekt, der dennoch essentiell für die Funktionalität der Waage ist. Weil diese Auswahl ebenfalls ein Teil des Funktionsprinzips ist, wird dies ebenfalls im Kapitel "Festlegung des Funktionsprinzips" behandelt.

Konstruktion des Gehäuses und Integration der zugekauften Bauteile

Als konstruktiver Aspekt dieser Arbeit wird das äußere Gehäuse entwickelt. Bei diesem steht zunächst die Funktionalität sowie die Integration der Messtechnik und des Displays im Fokus. Außerdem gehört dazu, wie die weiteren Bauteile im Gehäuse untergebracht werden können. Dies wird im letzten Kapitel "Entwicklung des Gehäuses" beschrieben.

2. Grundlagen

2.1. Kraftsensoren

Die in dieser Arbeit verwendeten Kraftsensoren funktionieren mit Dehnungsmesstreifen. Diese bestehen aus einem Leiter, der durch die Dehnung eine Längenänderung erfährt. Dadurch entsteht eine proportionale Veränderung dessen Widerstandes (Gleichung 2.1), wodurch die Ausgangsspannung der Wheatstonschen Brückenschaltung verändert wird [13]. Der Kraftsensor misst die Spannungsänderung, wodurch die auf ihn wirkende Kraft errechnet werden kann.

$$k \cdot \varepsilon = \frac{dR}{R} \quad (2.1)$$

Die Wheatstonsche Brückenschaltung wurde speziell dafür entwickelt, um Widerstandsänderungen bestimmen zu können. Sie besteht aus vier Widerständen, die wie eine Raute angeordnet sind. Die Spannung wird an gegenüberliegenden Ecken gespeist und an den anderen beiden Eckpunkten abgenommen. Die Ausgangsspannung ist dabei abhängig von den Widerstandsverhältnissen innerhalb der Brückenzeige [13].

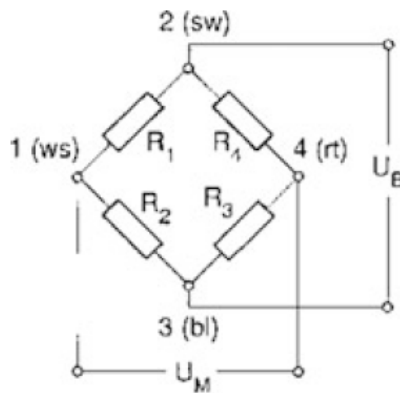


Abbildung 1.: Darstellungsweise der Wheatstonschen Brückenschaltung [13]

Mit der Kirchhoffschen Maschenregel lässt sich folgender Zusammenhang zwischen den Widerständen und dem Spannungsverhältnis darstellen:

$$\frac{U_M}{U_B} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (2.2)$$

2. Grundlagen

Unter Belastung ändern sich die Widerstände um einen Betrag ΔR , wodurch sich Gleichung 2.2 zu Gleichung 2.3 erweitert.

$$\frac{U_M}{U_B} = \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_4 + \Delta R_4}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4} \quad (2.3)$$

Es wird der Nennwiderstand R_0 eingeführt. Dafür wird davon ausgegangen, dass vor der Widerstandsänderung alle DMS denselben Widerstand haben. Das Spannungsverhältnis von Ausgangsspannung zu Eingangsspannung kann vereinfacht nach Gleichung 2.4 berechnet werden [13].

$$\frac{U_M}{U_B} = \frac{(\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4)}{2(R_0 + \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4)} \quad (2.4)$$

Als Widerstände in der Schaltung können beliebig DMS oder Festwiderstände werden. Abhängig von der Anzahl der verwendeten DMS wird in Vollbrücken, Halbbrücken und Viertelbrücken unterschieden. Die Verwendung von Halb- oder Vollbrücken bringt unterschiedliche Vorteile mit sich. Gleichsinnige Widerstandsänderungen in benachbarten Brückenzeigen heben sich gegenseitig auf, während sie sich in gegenüberliegenden Brückenzeigen addieren. So können beispielsweise Temperatureinflüsse vermieden werden, da sich die Widerstandsänderungen der DMS gegenseitig kompensieren. [13]

In dieser Arbeit werden Kraftsensoren mit Vollbrücken verwendet.

Kraftsensoren werden in der Regel zwischen 1 V und 10 V betrieben. Damit die Stromversorgung ausgelegt werden kann, muss der Verbrauch der Kraftsensoren bekannt sein. Ist der Stromverbrauch nicht im Datenblatt vermerkt, so kann dieser aus dem Ohmschen Gesetz abgeschätzt werden. Dafür werden die Eingangsspannung sowie der Widerstand benötigt.

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.5)$$

Die elektrische Leistung wird mit folgender Formel berechnet:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} \quad (2.6)$$

2.1.1. Messgenauigkeit

Bei Kraftsensoren bezieht sich die Messgenauigkeit in Prozent auf den maximalen Messwert. Dies wird mit FS für "full scale" abgekürzt. Ein Kraftsensor, der bis 1000 kg zugelassen ist mit einer Messgenauigkeit von 0,05 % FS besitzt eine maximale Messabweichung von 0,5 kg. Bei identischer Messgenauigkeit arbeitet ein Kraftsensor mit einem maximalen Messbereich von 1000 kg dementsprechend doppelt so genau wie ein Kraftsensor, der bis 2000 kg ausgelegt ist.

2.2. Piezoelektrische Keramiken

Der piezoelektrische Effekt sorgt bei bestimmten Materialien dafür, dass diese durch mechanische Deformation eine elektrische Ladung erzeugen. Zusätzlich gibt es den inversen piezoelektrischen Effekt, bei dem sich die Materialien durch den Einfluss elektrischer Felder deformieren [11]. Damit ein Material piezoelektrische Eigenschaften besitzt, muss dieses polarisiert werden. Die elektrischen Dipole des Materials werden in einem Gleichfeld ausgerichtet und bleiben nach der Polarisierung weiterhin ausgerichtet. Wird das Material nun verformt, werden die Ladungen getrennt und es entsteht ein Dipolmoment [3]. Dadurch kommt es auf den Oberflächen zu einem Ladungsüberschuss bzw. Ladungsmangel, der über Kontakte abgenommen werden kann und so eine Spannung erzeugt [16].

Somit ermöglicht der piezoelektrische Effekt, dass aus mechanischer Energie elektrische Energie entsteht.

$$U = \frac{d \cdot F}{C} \quad (2.7)$$

Dabei ist d die piezoelektrische Ladungskonstante. Ist die Kapazität C des Piezoelements bekannt, kann die durch eine Kraft F erzeugte Spannung berechnet werden.

Für die in dieser Arbeit verwendeten Ringkeramiken wird die Kapazität wie folgt berechnet: [3]

$$C = \frac{\varepsilon_{33}^T \cdot \pi (d_o^2 - d_i^2)}{4 \cdot t} \quad (2.8)$$

mit

$$\Delta t = d_{33} \cdot U \quad (2.9)$$

und

$$U = \frac{g_{31} \cdot F}{2\pi(d_o - d_i)} = \frac{4 \cdot g_{31} \cdot F \cdot t}{\pi(d_o^2 - d_i^2)} \quad (2.10)$$

Materialien, die piezoelektrische Eigenschaften annehmen können, besitzen eine asymmetrische Kristallstruktur und müssen nichtleitend sein [5]. Am verbreitetsten ist Blei-Zirkonat-Titanat (PZT). Es wird in harte und weiche Keramiken unterschieden [4].

Weichere Keramiken reagieren bei geringeren Feldstärken und lassen sich leichter polarisieren. Die hierbei mögliche Polarisierung ist geringer, als sie bei harten Keramiken möglich ist. Umgekehrt folgt daraus, dass durch Polarisierung weichere Keramiken ein stärkeres elektrisches Feld erzeugen können.

Aufgrund ihrer höheren Empfindlichkeit eignen sich weiche Keramiken gut für Sensoren und hochpräzise Aktoren, während harte Keramiken auch unter starken Belastungen ihre piezoelektrischen Eigenschaften beibehalten und daher häufig als Ultraschallwandler verwendet werden.

2.3. Drucksensoren

Drucksensoren können auf zwei unterschiedlichen Prinzipien beruhen. Resistive Drucksensoren funktionieren meist mit einem Dehnungsmesstreifen, welcher auf die Druckänderung reagiert. Dieser ist entweder durch eine Membran oder eine Keramik von der zu messenden Seite getrennt. Durch den wirkenden Druck verformen sich die Trägerkörper und die Dehnung ist im DMS messbar. Als Alternative gibt es Siliziumsensoren, welche aus einem dotierten Siliziumchip bestehen. Dieser agiert als Halbleiter DMS und reagiert deutlich empfindlicher auf Dehnungsänderungen als ein herkömmlicher DMS [2].

Das zweite Prinzip sind wegmessende Drucksensoren. Diese funktionieren entweder kapazitiv oder induktiv. Kapazitive Sensoren bestehen aus einem Kondensator, dessen Plattenabstand sich durch den Druckeinfluss verändert. Dadurch ändert sich die Kapazität des Kondensators. Bei gleichbleibender Ladungsmenge kann die Spannung gemessen werden Gleichung 2.11, wodurch der Druck bestimmt werden kann [2].

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.11)$$

Bei induktiven Sensoren bewegt sich durch den Druck ein Ferritplättchen zwischen zwei Spulen, wodurch sich deren Induktivität verändert.

Der in dieser Arbeit verwendete Drucksensor arbeitet resistiv.

3. Markt- und Wettbewerbsanalyse

In diesem Kapitel wird der Markt für unser Produkt analysiert. Dazu gehören die Identifizierung der potenziellen Kunden sowie die Bestimmung des Marktvolumens und dessen Entwicklung. In der Wettbewerbsanalyse werden unsere Konkurrenzprodukte, die sich bereits auf dem Markt etabliert haben, untersucht und versucht, anhand deren Bewertungen Schwachstellen zu Ermitteln. Außerdem sollen deren Stärken erkannt werden um sicherstellen zu können, dass unser Produkt diese auch erfüllen kann.

3.1. Marktanalyse

Die Kunden, die für eine mobile Wohnmobil und Caravan Waage in Frage kommen, sind Eigentümer sowie Mieter und Vermieter von ebensolchen Gespannen. Mixcover GmbH verkauft in die gesamte EU und auch nach Großbritannien. Die Anzahl der potenziellen Kunden ist dementsprechend hoch. Nach Angaben der European Caravan Federation (ECF) waren im Jahre 2020 insgesamt 5.898.192 Wohnmobile und Caravan in den 16 nationalen Mitgliedsverbänden der ECF registriert [7]. Auch wenn in den Jahren 2022 und 2023 die Anzahl der Neuzulassungen zurückging [8] [10] wie in Abbildung 2 zu sehen ist, lagen die Neuzulassungen immernoch bei mehr als 200.000 im Jahr. Im ersten Quartal 2024 gab es wieder mehr Neuzulassungen als im Vorjahr [9], der Markt ist dementsprechend stabil.

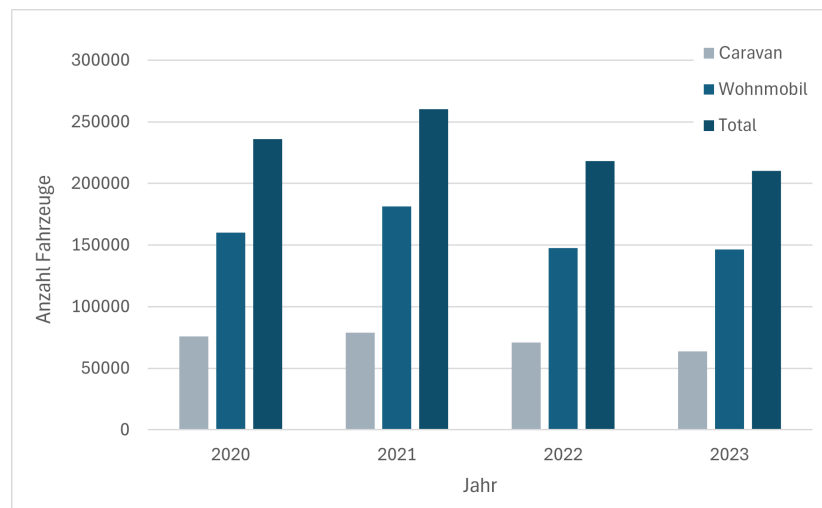


Abbildung 2.: Anzahl der Neuzulassungen von Wohnmobilen und Caravans in den Jahren 2020 - 2023 in den Mitgliedsverbänden der ECF

Generell werden deutlich mehr Wohnmobile als Wohnanhänger zugelassen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Caravane vernachlässigt werden können. Durch die Stützlast, die auf die Anhängerkupplung drückt, ist es bei Caravanen wichtiger als bei Wohnmobilen, auf die korrekte Beladung und Lastverteilung zu achten. Werden Anhänger nicht korrekt beladen, besteht die Gefahr, dass der Anhänger anfängt sich aufzuschwingen und das Unfallrisiko ist stark erhöht.

3.1.1. Potenzielle Kunden

Eine Studie des Institut für Tourismus- und Bäderforschung für Nordeuropa in Kiel ergab im Jahr 2010, dass Caravan Besitzer im Durchschnitt zwischen 40 und 49 Jahren alt ist [15]. Zusätzlich wird herausgefunden, dass das durchschnittliche Monatseinkommen bei über 2.500 € und somit über dem Durchschnitt liegt. Damit richtet sich unser Produkt an Menschen mittleren Alters, die nicht die Technikaffinität und Mobilität der jüngeren Bevölkerungsgruppe, aber über genügend Kaufkraft besitzen, um sich ein qualitatives Produkt leisten zu können.

3.2. Wettbewerbsanalyse

Das Marktsegment für mobile Fahrzeugwaagen wird derzeit in Europa nur von zwei Konkurrenzprodukten bedient. Am weitesten Verbreitet ist die Caravan Weight Control (CWC) der Reich GmbH. Der zweite Konkurrent ist die Obelink Statera, welche durch den niederländischen Campingausstatter Obelink vertrieben wird. Identisch zu dieser gibt es ebenfalls eine Waage des deutschen Campingausstatters Fritz Berger. Diese unterscheidet sich von der Obelink Statera jedoch nur durch eine andere Farbgebung und ist ansonsten identisch.

3.2.1. Caravan Weight Control (CWC)

Die CWC wurde von der Firma Reich GmbH entwickelt, welche sich auf Caravan Zubehör sowie Systeme zur Wasserversorgung spezialisiert haben. Diese wird seit 2013 über den Onlineshop von Fritz Berger vertrieben. Außerdem ist sie seit spätestens 2014 über den Onlineshop von Obelink zu kaufen und seit 2015 bei Amazon gelistet. Die CWC gibt es in zwei verschiedenen Ausführungen, welche durch die Farbgebung leicht voneinander zu unterscheiden sind. Die technischen Unterschiede sind das zugelassene Maximalgewicht. Eine Variante ist bis 1.000 kg maximale Radlast zugelassen und mit einem gelben Gehäuse ausgestattet. Die zweite Variante ist bis 1.500 kg zugelassen und besitzt ein orangefenes Gehäuse wie in Abbildung 3 zu sehen ist.



Abbildung 3.: Caravan Weight Control (CWC) bis 1.500kg

Die 1.000 kg Variante wird derzeit bei Fritz Berger für 149 € vertrieben, die 1.500 kg Version für 169 €. Beide Varianten benötigen drei AAA Batterien zur Stromversorgung, welche nicht im Lieferumfang enthalten sind. Es wird eine Messungenauigkeit von $\pm 3\%$ angegeben. Bei gängiger Konvention würde dies eine Abweichung von ± 30 kg beziehungsweise ± 45 kg bedeuten. Dafür fehlt jedoch die Anmerkung "FS", sodass nicht sicher ist, worauf sich die Abweichung

tatsächlich bezieht. Die CWC ist für Temperaturen zwischen 0 °C und 50 °C zugelassen. Die Abmessungen sind für beide Modelle identisch und betragen 360 mm × 70 mm × 45 mm (l×b×h). Es wird keine Angabe gemacht, ob die Waage wasserdicht ist. Dementsprechend ist davon nicht auszugehen. Die Untersuchung eines gekauften Modells lässt auch nicht darauf schließen, da keine Abdichtungen vorhanden sind und auf der Unterseite der Waage Flüssigkeiten durch größere Lücken in die Waage gelangen können.

Aufbau

Das Gehäuse der CWC besteht aus einem harten, nicht näher bekannten Kunststoff. Auf dem Boden steht die CWC auf zwei Hartplastikfüßen, welche mit Gummi überzogen sind. Diese Füße liegen sehr locker in der Waage, wodurch diese zu beiden Seiten um ca. 10° neigen kann. Dies erleichtert es, über die Waage drüberzufahren. Zur Anzeige von Messwerten dient ein LCD-Display mit individuellen Segmenten, welches speziell für diese Waage entworfen wurde. Das Display ist von der Wiegefläche durch einen Absatz getrennt und ebenfalls vom Boden abgehoben. Unterhalb des Displays befindet sich das Batteriefach für die Batterien, die zum Betrieb notwendig sind. Das Gehäuse selbst besteht aus zwei Hälften, welche mit 13 Schrauben verbunden sind. Zehn von diesen Schrauben sind mit einer Mutter auf der anderen Seite angezogen, die anderen drei Schrauben werden in das Gehäuse geschraubt und sind zusätzlich versiegelt. Eine dieser Schrauben ist innerhalb des Batteriefachs, weshalb die Batterien zunächst entfernt werden müssen, wenn man die CWC aufschrauben möchte.

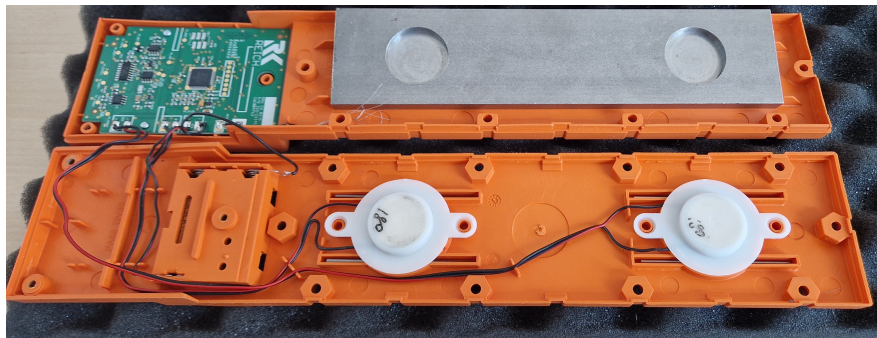


Abbildung 4.: Innenansicht der CWC

3. Markt- und Wettbewerbsanalyse

Unterhalb des Displays sitzt das Mainboard der Waage. Auf diesem ist ein Mikroprozessor von Microchip Technologies verbaut. Dieser besitzt integrierte Funktionen zum Ansteuern von LCD Displays und arbeitet sehr Stromsparend mit einem maximalen Verbrauch von 220 A [14]. Außerdem sind die Knöpfe direkt auf dem Mainboard aufgelötet. Neben diesen befinden sich auch diverse Widerstände, ICs und Kondensatoren, die jedoch nicht weiter spezifiziert werden können. Vom Mainboard aus gehen jeweils zwei Kabel in die beiden Füße. Beim Öffnen des Gehäuses liegt auf den beiden Füßen und Aluminiumblock. In diesem sind Aussparungen für die beiden Füße vorgesehen, sodass dieser nicht verrutschen kann. Unter diesem Aluminiumblock ist zusätzlich ein weiteres Kabel vom Mainboard eingeklemmt, bei dem das Ende abisoliert ist und vermutlich als Erdung dient.

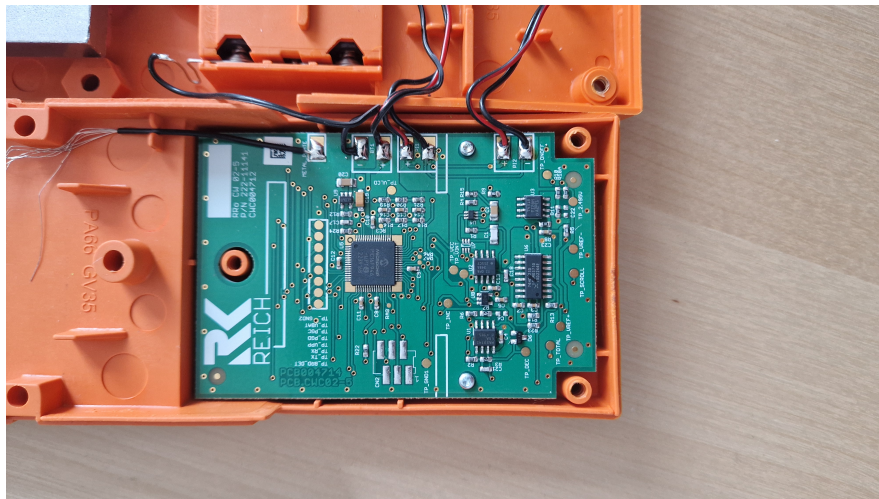


Abbildung 5.: Platine der CWC

Die Füße selbst sind in dem Gehäuse jeweils mit zwei kleinen Metallstäben lose eingehangen und bestehen aus mehreren Einzelteilen. Der untere Teil, auf dem die Waage steht, ist ein rundes Vollplastikteil mit einer halbkugelförmigen Aussparung auf der Oberseite. Der obere Teil des Fußes besteht aus einer Plastikvorrichtung, in die von unten eine Messingkappe eingelassen ist, welche eine ebenfalls halbkugelförmige Erhebung besitzt, die den Kopf auf dem Unterteil des Fußes positioniert und die Kräfte an die Messtechnik weiterleitet.

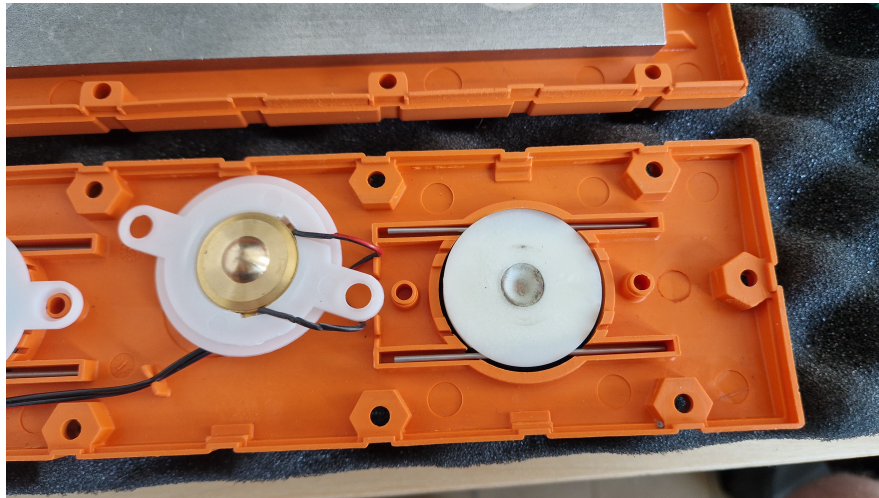


Abbildung 6.: Füße der CWC

Entfernt man dieses Messingteil, kommt darunter eine Kupferplatte zum Vorschein, welche mit einem der beiden Kabel verlötet ist, welche zum Mainboard führen. Diese Scheibe liegt lose in dem Oberteil. Nimmt man diese ebenfalls heraus, findet man darunter eine ringförmige, piezoelektrische Keramik. Diese ist ebenfalls nur lose eingelegt und unter dieser befindet sich eine zweite Kupferplatte, welche mit dem anderen Kabel, welches zum Mainboard führt, verlötet ist. Beide Füße sind identisch aufgebaut.

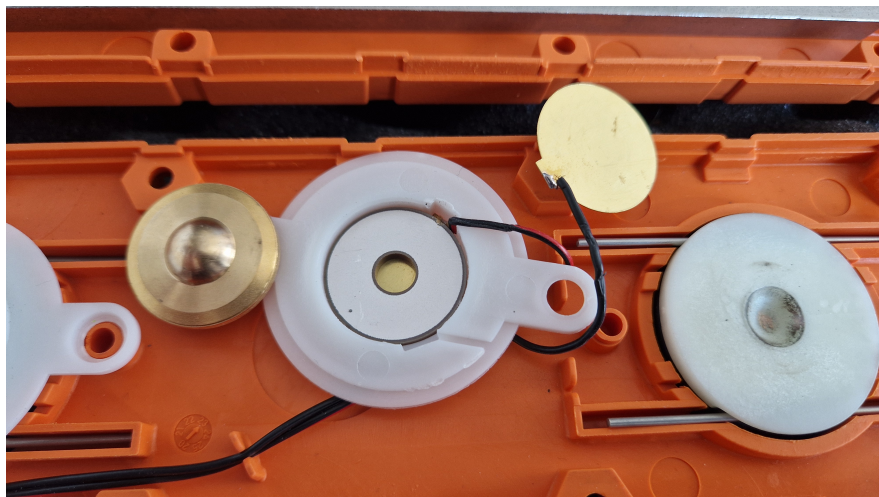


Abbildung 7.: Piezoelektrische Keramik im Fuß der CWC

Bedienung

Die CWC wird über drei Knöpfe bedient. Der "On/Off" Knopf dient dazu, die Waage einzuschalten oder im eingeschalteten Zustand die Waage wieder auszuschalten. Mit dem "►" Knopf können die Messpunkte ausgewählt werden. Durch Drücken der "Total" Taste kann die Lastverteilung auf der linken oder auf der rechten Seite angezeigt werden sowie am Ende das aus dem gesamten Vorgang ermittelte Gesamtgewicht. Drückt man die "►" und die "Total" Taste gleichzeitig, kann das Programm gewechselt werden. Es gibt drei verschiedene Programme, zwischen denen der Benutzer wählen kann:

- Einachsiger Anhänger
- Zweiachsiger Anhänger
- Wohnmobil / Auto

Wenn nur die Deichsel gewogen werden soll, kann eines der beiden Anhänger-Programme gewählt werden. Für zweiachsige Anhänger können die Räder nicht einzeln gewogen werden. Es ist vorgesehen, dass beide Räder direkt nacheinander über die Waage rollen. Die Waage summiert anschließend automatisch die Messwerte und gibt eine Summe aus. Dies ist auch so in der Bedienungsanleitung beschrieben. Beim Programm für Wohnmobile kann jedes der vier Räder manuell ausgewählt werden.

Anwendung

Die CWC benötigt drei AAA-Batterien für den Betrieb. Diese werden in ein gesondertes Batteriefach auf der Unterseite des Displays eingesetzt. Bei unserem Modell ließ sich dieses sehr schwer öffnen, weshalb ein Schraubendreher als Werkzeug notwendig war, um das Batteriefach aufhebeln zu können. Um mit der CWC das Fahrzeuggewicht zu ermitteln, sollte zunächst das korrekte Programm ausgewählt werden. Auf dem Display wird anschließend durch ein Blinken des aktiven Messpunktes indiziert, welches Rad gewogen werden soll. Anschließend wird die CWC direkt vor dem Vorderrad platziert wie in Abbildung 9 zu sehen ist und das Fahrzeug soll so langsam wie möglich über die Waage rollen.

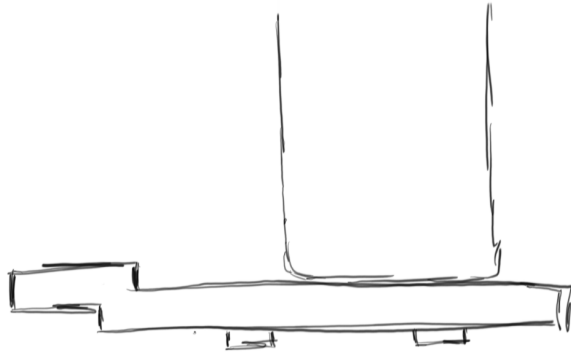


Abbildung 8.: Reifenposition auf der Waage

War das Fahrzeug zu schnell, wird dies mit einem Hasen auf dem Display angezeigt. Ein Messergebnis wird trotzdem angezeigt, allerdings ist dieses dann ungenau. Nachdem ein Messpunkt gewogen wurde, muss über die "►" der nächste Messpunkt ausgewählt werden und die Waage erneut vor dem nächsten Reifen platziert werden. Dieser Vorgang muss so lange wiederholt werden, bis alle Messpunkte erfasst wurden.

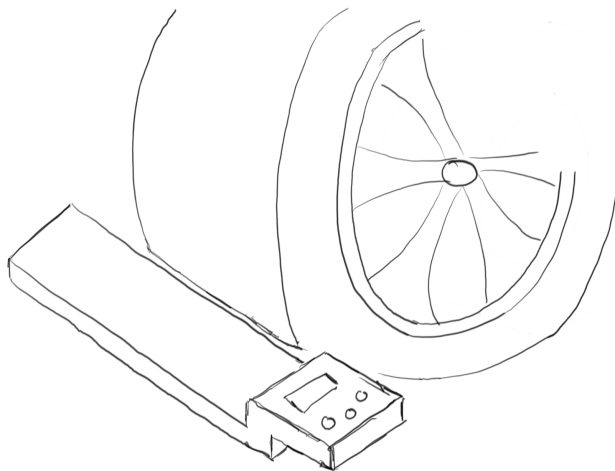


Abbildung 9.: Positionierung der Waage vor dem Reifen

Anschließend kann durch Drücken der "Total" Taste zunächst das Fahrzeuggewicht auf der linken Seite und anschließend auf der rechten Seite angezeigt werden, wodurch die Gewichtsverteilung erkennbar wird. Wird die "Total" Taste ein drittes Mal betätigt, wird das Gesamtgewicht angezeigt und die Messung ist abgeschlossen. Nun kann ein anderes Programm ausgewählt

oder das Ergebnis durch erneutes Auswählen eines Messpunktes erneut ermittelt werden. In der Betriebsanweisung wird empfohlen, die Messung mindestens drei Mal zu wiederholen, um ein Durchschnittsgewicht zu ermitteln. Dieses soll dann sehr präzise mit einer ungefähren Abweichung von 3 % sein.

Liegt die CWC auf dem Boden, kippt diese zur Seite hin, von der drübergefahren wird. Aufgrund des großen Abstands zum Boden wird erschwert, dass das Fahrzeug in Ruhe über die Wiegefläche fahren kann, wodurch die Messung ungenauer wird. Aus diesem Grund gibt es zahlreiche Auffahrhilfen für die CWC zu kaufen. Diese vereinfachen das Drüberfahren stark. Sie bestehen zumeist aus einem einfachen Blechbiegeteil und kosten zwischen 35 € und 70 €. Auch im Onlinestore von Mixcover ist bereits eine solche Auffahrrampe zu finden.

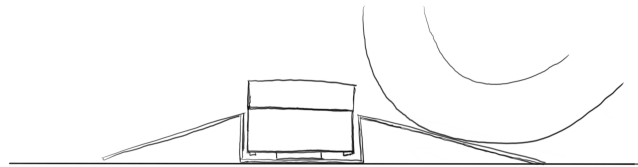


Abbildung 10.: Verwendung einer Auffahrhilfe

Bewertungen

Um sich einen Überblick über die Meinungen der Käufer der CWC zu verschaffen, wurden die Bewertungen bei Amazon und Fritz Berger analysiert. Bei Amazon gibt es Stand 1.10.2024 107 Bewertungen für die CWC bis 1.500 kg mit einer durchschnittlichen Bewertung von 3,9/5 Sternen, für die CWC bis 1.000 kg gibt es 72 Bewertungen, ebenfalls mit einem Durchschnitt von 3,9/5 Sternen. Fritz Berger unterscheidet bei den Bewertungen nicht zwischen den beiden Modellen. Hier wird nur die Angabe von >100 Bewertungen mit einer durchschnittlichen Bewertung von 4,58/5 Sternen. Da sich bei Fritz Berger nicht erkennen lässt, für welche Variante die jeweilige Bewertung verfasst wurde, werden die Amazon Bewertungen ebenfalls zusammen betrachtet. Es werden Lob sowie Kritikpunkte nach Stichwörtern gruppiert, damit häufig erwähnte Aspekte erkenntlich gemacht werden können. In Tabelle 3.1 werden zunächst die positiven Bewertungen betrachtet.

Stichwort	Anzahl
Praktisch / Nützlich	58
Einfache Bedienbarkeit / gute Handhabung	45
Funktioniert zuverlässig	32
Gute Qualität / gute Verarbeitung / robust /	28
Messgenauigkeit ausreichend	20
Entspricht der Beschreibung	16
Liefert genaue Ergebnisse	13
Handlich / gute Größe	8
Guter Preis	8
Liefert reproduzierbare Ergebnisse	4
Schnelle Anwendung	4

Tabelle 3.1.: Auswertung der positiven Bewertungen der CWC

Am häufigsten wird erwähnt, dass es sich hierbei um ein nützliches Produkt handelt. Ebenso wie der dritthäufigste Stichpunkt "Funktioniert zuverlässig" und die ebenfalls mehrfach vorkommende Erwähnung, dass das Produkt der Beschreibung entspricht, kann hieraus keine nützliche Informationen über die Kundenmeinung über die Stärken des Produktes gewonnen werden. Erkenntnisse können aus dem zweithäufigsten Stichpunkt "Einfache Bedienbarkeit / Gute Handhabung" gezogen werden. Auch Kommentare wie "Gute Verarbeitung" oder "Robust" geben Aufschluss darüber, was die Kunden an dem Produkt schätzen. Insgesamt 36 Mal wird außerdem die Messgenauigkeit als ausreichend oder genau bezeichnet. Viele Kunden scheinen also auch mit der Messgenauigkeit zufrieden zu sein.

In Tabelle 3.2 sind die negativen Stichworte aus den Bewertungen zusammengefasst.

Stichwort	Anzahl
Messergebnisse ungenau	27
Keine reproduzierbaren Ergebnisse	22
Drüberfahren schwierig / Auffahrhilfe fehlt	9
Batteriefach schwer zu öffnen	8
Schlechtes Preis / Leistung Verhältnis	6
Schwierig zu Handhaben	3
Nicht geeicht	3
Nach kurzer Zeit defekt	3
Wackelig / Instabil	2
Keine Batterien dabei	2
Nur für grobe Abschätzungen geeignet	2

Tabelle 3.2.: Auswertung der negativen Bewertungen der CWC

Auffällig ist, dass sehr viele Kunden die Messungenauigkeit der Waage bemängeln. Diese sind in der Überzahl im Vergleich mit denen, die die Messgenauigkeit als gut bezfinden. Außerdem scheint es vermehrt zu Schwierigkeiten bei der Anwedung zu kommen, da es insbesondere bei schweren Wohnanhängern Problemen gibt, über die Waage drüberzurollen. Der Preis, der sich bei Amazon in den letzten Jahren immer zwischen 150 € bis 200 € bewegt hat, wird nur in Verbindung mit fehlenden Batterien oder der ungenauen Messung bemängelt. Die Kunden, die die Bedienung als schwierig bezeichnen sind im Vergleich mit denen, die die Bedienung gut finden, deutlich in der Unterzahl.

3.2.2. Obelink Statera

Die Obelink Statera 1500 wird vom niederländischen Campingausstatter Obelink vertrieben. Sie ist seit 2023 auf dem Markt und wird bisher nur über den hauseigenen Onlineshop vertrieben. Identisch zu ihr gibt es beim deutschen Campingausstatter Fritz-Berger dieselbe Waage in einer anderen Farbgebung. Es gibt sie nur in einer Variante, die bis 1.500 kg Radlast zugelassen ist. Ihr regulärer Preis beträgt 129 €. Die Obelink Statera verfügt über einen Lithium Akku, wodurch keine zusätzlichen Batterien benötigt werden. Der Akku soll für 15 Stunden Betriebsdauer ausreichen und kann mit 5 V wieder aufgeladen werden. Dafür befindet sich auf der rechten Seite unter einer Dichtung ein USB Typ-C Anschluss. Ein passendes Kabel ist im Lieferumfang enthalten. Laut Produktbeschreibung funktioniert die Waage mit fünf Schwerkraftsensoren. Die Toleranz der Messung wird mit 2,5 % bei korrekter Anwendung angegeben. Dies entspricht einer Abweichung von $\pm 37,5$ kg. Die Größe liegt bei 360 mm $\times$ 72 mm $\times$ 47 mm (l **$\times$** b **$\times$** h), wodurch sie nahezu identisch zur CWC ist. Als Gewicht werden 1,28 kg angegeben. Die Obelink Statera ist nach IP44 klassifiziert. Dies bedeutet, dass sie gegen Spritzwasser sowie das Eindringen von festen Fremdkörpern mit einer Größe von >1 mm geschützt ist. Das Display ist im Vergleich zur CWC etwas angewinkelt, wodurch die Ablesbarkeit verbessert werden soll. In Abbildung 11 ist die Obelink Statera zu sehen. Die Fritz Berger Variante ist in rot gehalten.



Abbildung 11.: Obelink Statera 1500

Aufbau

Das Gehäuse der Obelink Statera besteht ebenfalls aus einem harten, nicht näher bekannten Kunststoff. Das Gehäuse besteht aus zwei Teilen, die mit zwölf Schrauben zusammengehalten werden. Weil die Waage mit einem Akku ausgestattet ist, ist kein separates Batteriefach vorhanden und ebenfalls kein Absatz unter dem Display. Das Display ist ein LCD-Display mit individuellen Segmenten. Unterhalb des Displays sind drei Knöpfe angeordnet. Sowohl das Display als auch die Knöpfe sind mit einer Folie überzogen. Die Obelink Statera steht auf zwei Plastikfüßen. Diese sind großflächig und nicht identisch. Sie sind fest verbaut und auf der Unterseite leicht gewölbt, sodass sich die Waage leicht zu beiden Seiten neigen kann. Die Füße sind nicht mittig, sondern nur unter der Wiegefläche platziert. Unterhalb des Displays hat die Waage keinen Bodenkontakt. Auf der rechten Seite ist eine Dichtung, unter welcher sich ein USB Typ-C Anschluss zum Laden des Akkus der Waage befindet.

Nachdem die Schrauben gelöst sind, kann das Gehäuse geöffnet werden. Die beiden Gehäusenhälften sind zunächst durch ein Kabel verbunden, welches vom Akku, der sich im unteren Teil befindet, zum Mainboard im oberen Teil führt. Auf dem Mainboard ist das Kabel mit einem JST XH Stecker verbunden und kann dadurch leicht getrennt werden. Der Akku hat eine Kapazität von 600 mAh bei 3,7 V, was 2,22 Wh entspricht. Er ist in eine für ihn vorgesehene Vorrichtung im unteren Teil des Gehäuses eingeklemmt, aus der er leicht entnommen werden kann. Die Füße sind mit einer Dichtung in das Gehäuse eingeklebt und bestehen aus einem weichen Kunststoff, welcher sich eindrücken lässt. In beiden Füßen befinden sich Einsätze aus Hartplastik, welche mit Senkungen auf der Oberseite ausgestattet sind. Durch die unterschiedliche Größe der Füße befinden sich in dem einem Fuß vier, in dem anderen Fuß sechs Senkungen.

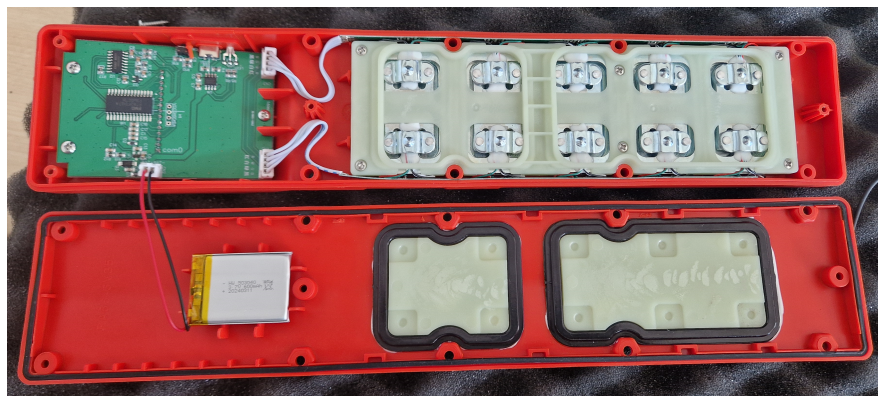


Abbildung 12.: Innenansicht der Obelink Statera

3. Markt- und Wettbewerbsanalyse

Im oberen Teil des Gehäuses befindet sich eine Plastikvorrichtung, in der zehn Kraftsensoren angeordnet sind. Dies widerspricht der Produktbeschreibung und lässt nur die Annahmen zu, dass es sich hierbei entweder um Halbbrücken handelt, welche paarweise zu Vollbrücken verschaltet wurden und deshalb als ein „Schwerkraftsensor“ gezählt werden oder schlicht in der Produktbeschreibung keine wahrheitsgemäßen Informationen angegeben werden. Die Messpunkte der Kraftsensoren sind durch eine Spitze hervorgehoben, welche jeweils in die Senkungen auf der Oberseite der Plastikeinsätze der Füße passen. Die Kraftsensoren sind auf einem massiven Aluminiumblock festgenietet und die Kabel zusätzlich festgeklebt, sodass diese nicht demontiert werden können. Der Aluminiumblock selbst ist mit sechs weiteren Schrauben im Gehäuse befestigt und kann nach Lösen dieser aus dem Gehäuse genommen werden. Seitlich neben dem Aluminiumblock verlaufen auf beiden Seiten Flachbandkabel, die die Kraftsensoren mit dem Mainboard verbinden. Hierbei wurden offensichtlich Kabel für LED-Streifen umfunktioniert, da auf den Steckern die üblichen Kennzeichnungen RWGB für die unterschiedlichen Farben zu lesen sind.

Das Mainboard der Obelink Statera wirkt gut strukturiert. Es sind nur wenige Bauteile verbaut und der Platz ist großzügig ausgelegt.

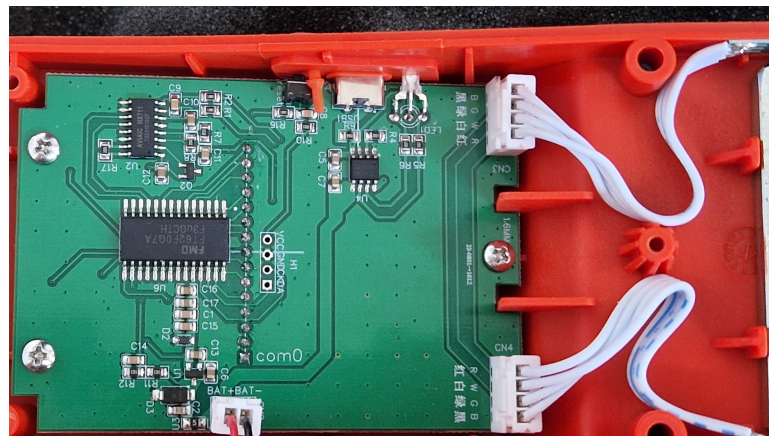


Abbildung 13.: Platine der Obelink Statera

Auf der Innenseite der Dichtung vom Ladeanschluss befindet sich eine Status-LED, welche den Ladestatus anzeigt. Neben dem USB Typ-C Port befindet sich außerdem ein kleiner Knopf, der von Außerhalb nur mit einem spitzen Gegenstand zu betätigen ist und als Reset-Möglichkeit für die Waage dient. Zwischen Ladeanschluss und Steckplatz für das Verbindungskabel zum Akku befindet sich ein Spannungswandler, der die 5 V Spannung vom USB-Anschluss auf die internen 3,7 V des Akkus herunterregelt. Der Mikroprozessor stammt vom chinesischen

3. Markt- und Wettbewerbsanalyse

Hersteller Fremont Micro Devices Co., LTD, zu dem es jedoch auf Anfrage keine weiteren Informationen gibt. Neben dem Mikroprozessor befindet sich ein HX711 A/D Wandler, welcher speziell für die Kommunikation zwischen Kraftsensoren und Mikroprozessor entwickelt ist und als Standard-Verstärker in diesem Anwendungsbereich gilt. Werden drei weitere Schrauben gelöst, kann das Mainboard herausgenommen und von der anderen Seite betrachtet werden. Das Display ist, genau wie die Knöpfe, direkt auf dem Mainboard verlötet. Bei den Knöpfen handelt es sich um 6 mm × 6 mm Druckknöpfe, wie sie aus dem Bastlerbereich bekannt sind.



Abbildung 14.: Displayseite der Platine

Bedienung

Die Obelink Statera wird mit drei Knöpfen bedient. Diese sind schwieriger zu drücken, was an die Folie auf dem Bedienfeld liegt. Diese ist vermutlich dafür da, um die IP44 Zertifizierung zu erreichen. Die Waage kann mit dem linken Knopf ein- beziehungsweise ausgeschaltet werden. Die Bedienung erfolgt dann exakt wie bei der CWC. Mit der "►" Taste können die Messpunkte ausgewählt und mit der "Σ" Taste das Ergebnis angezeigt werden. Werden beide Tasten gleichzeitig betätigt, kann das Programm gewechselt werden. Hierfür muss die Obelink Statera am besten in die Hand genommen werden, weil sich die Knöpfe schwierig betätigen lassen. Es sind ebenfalls drei Programme vorhanden: Anhänger mit einer Achse, Anhänger mit Doppelachse und Fahrzeuge. Dies widerspricht der Angabe, dass nun auch Caravane mit längerem Radstand gewogen werden können und das Gewicht der Räder einzeln angezeigt werden kann. Dies ist zwar theoretisch im Programm für Wohnmobile möglich, jedoch nicht in einem eigenen Programm für Anhänger.

Anwendung

Ist der Akku der Obelink Statera geladen, kann diese durch Betätigen der "On/Off" Taste eingeschaltet werden. Die Waage wurde mit vollgeladenem Akku geliefert, sodass sie direkt funktionsbereit war. Durch gleichzeitiges Betätigen der "►" Taste und der "Σ" Taste wird das gewünschte Programm ausgewählt und Anschließend durch Betätigen der "►" Taste gestartet. Ist ein Programm ausgewählt, wird durch Blinken einer Klammer das aktuell ausgewählte Rad indiziert. Wenn das Programm für einen Anhänger mit einer Achse ausgewählt ist, muss der gewünschte Messpunkt manuell ausgewählt werden. Beim Programm für Anhänger mit einer Doppelachse werden die beiden Räder der jeweiligen Seite in einem Durchlauf überfahren, die Waage rechnet die Messergebnisse anschließend automatisch zusammen. Damit die beiden Räder auf der anderen Fahrzeugseite gemessen werden können, muss dieses wieder manuell ausgewählt werden. Im Programm für ein Fahrzeug mit zwei Achsen und weitem Radstand muss wieder jeder Messpunkt manuell ausgewählt werden.

Die Obelink Statera wird ebenso wie die CWC direkt vor den Reifen platziert, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Anschließend soll langsam über die Waage gefahren werden.

Ist eine Messung abgeschlossen, kann das Ergebnis durch kurzes Betätigen der "Σ" Taste angezeigt werden. Dabei wird der Reihenfolge nach zuerst die Gewichtsverteilung auf der linken Fahrzeugseite angezeigt, anschließend die rechte Fahrzeugseite und als letztes das

Gesamtgewicht der Fahrzeugs. Alternativ kann durch längeres Betätigen der "Σ" Taste das Messergebnis zurückgesetzt und die Messung wiederholt werden.

Bewertungen

Weil die Obelink Statera nur über den eigenen Onlineshop vertrieben wird, können nur die Bewertungen auf dieser Seite untersucht werden. Aufgrund der Tatsache, dass die identische Waage mit einer anderen Farbe ebenfalls bei Fritz-Berger angeboten wird, werden die Bewertungen dort zusätzlich mit betrachtet, um ein größeres Meinungsbild abbilden zu können. Insgesamt gibt es somit 66 Bewertungen, die in Betracht gezogen werden. Dabei werden Bewertungen, die nicht auf das Produkt selbst sondern auf Bezahlungsmöglichkeiten, Lieferzeiten oder Kundensupport bezogen sind, nicht beachtet. Zunächst werden in Tabelle 3.3 wieder die positiven Bewertungen betrachtet.

Stichwort	Anzahl
Funktioniert wie erwartet	16
Einfache Bedienbarkeit / gute Handhabung	13
Gute Qualität / Robust	5
Für ungefähre Messungen gut	4
Geringe Messabweichung	4
Guter Preis	4
Zuverlässig	3
Aufladen per USB	2
Handlich	1

Tabelle 3.3.: Auswertung der positiven Bewertungen der Obelink Statera

Bei den positiven Bewertungen erwähnen die meisten Kunden, dass alles wie erwartet funktioniert und die einfache Handhabung wird hervorgehoben. Jeweils vier Mal wird erwähnt, dass der Preis okay ist, die Waage für ungefähre Messungen gut zu gebrauchen ist und die Messabweichungen gering sind. Die Qualität der Waage wird ebenfalls als gut empfunden, die Punkte gute Qualität, eine robuste Verarbeitung sowie eine zuverlässige Anwendung kommen in Summe auf acht Erwähnungen. Außerdem hebt ein Kunde die Möglichkeit des Wiederaufladens per USB positiv hervor.

Stichwort	Anzahl
Große Messabweichung	6
Drüberfahren schwierig / rutscht leicht weg	4
Programmauswahl mühselig	1
Fehlende Funktion	1

Tabelle 3.4.: Auswertung der negativen Bewertungen der Obelink Statera

Die negativen Bewertungen bemängeln zum Großteil die selben Punkte wie bei der CWC. Sechs Kunden finden die Messabweichung zu groß und vier Kunden haben Probleme bei der Anwendung, da sie Schwierigkeiten haben, über die Waage zu fahren. Entweder weil diese zu hoch ist, oder weil diese wegrutscht. Ein Nutzer widerspricht der großen Anzahl an Kunden, die die Handhabung als einfach bezeichnen und findet, dass die Bedienung mühselig, da nach dem Neustart der Waage nicht mehr das vorherige Programm ausgewählt ist. Außerdem kritisiert ein Kunde, dass nur die Gewichtsverteilung auf den Seiten angezeigt werden kann und nicht die Achslast.

3.2.3. Vergleich

Beide Modelle sind für Fahrzeuge bis zu 1500kg ausgelegt. Bei der Obelink Statera ist die angegebene Abweichung mit 2,5 % minimal geringer als bei der CWC, bei der die Abweichung bei 3 % liegen soll. Bei beiden Produkten ist jedoch nicht weiter spezifiziert, auf welchen Wert sich die Messtoleranz bezieht. Üblich bei Waagen und Kraftsensoren ist ein Bezug auf das Maximalgewicht, doch die dafür übliche Kennzeichnung "% FS" ist bei beiden Modellen nicht vorhanden. Die Maße beider Produkte sind nahezu identisch, die CWC ist zwei Millimeter schmaler und ebenfalls zwei Millimeter niedriger. Für die Praxis ist dieser Höhenunterschied jedoch irrelevant, weil der höchste Punkt jeweils beim Display liegt. Dieses ist bei der Obelink Statera jedoch angewinkelt, wodurch sie automatisch höher wird. Die relevante Höhe der Wiegefläche ist bei der CWC um ca. vier Millimeter höher.

Beide Produkte verwenden den selben Typ LCD-Display. Es handelt sich in beiden Fällen um individuelles Segment Displays, die sich in ihrer Anordnung nur wenig unterscheiden. Das Design des Fahrzeugs wurde überarbeitet und das Symbol, welches davor warnt, dass man zu schnell über die Waage gefahren ist, wurde von einem Hasen in einen Jaguar geändert. Außerdem werden bei der Obelink Statera alle vier Ziffern jederzeit angezeigt, während bei der CWC überflüssige Nullen vorweg ausgeblendet werden.

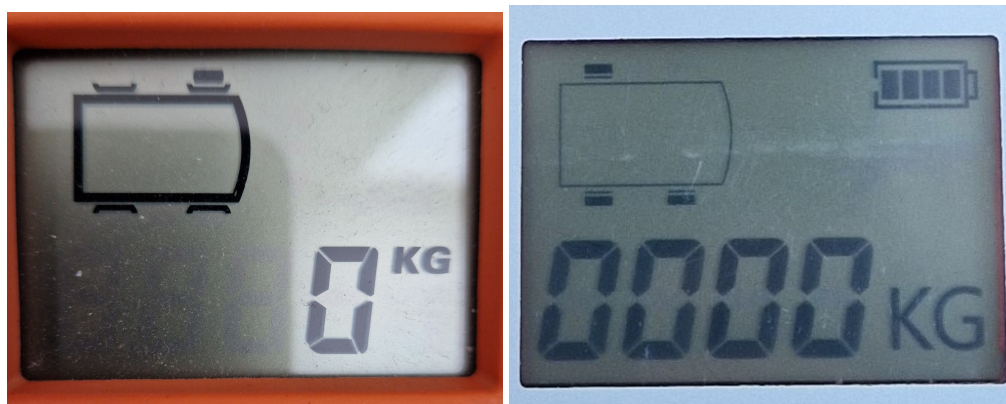


Abbildung 15.: Vergleich der beiden Displays

Die Programme beider Waagen sind identisch. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Obelink Statera automatisch den nächsten Messpunkt auf derselben Fahrzeugseite auswählt, wenn das Vorderrad gewogen wurde. Für die Verwendung der CWC werden noch Batterien verwendet, während die Obelink Statera mit einem wiederaufladbaren Akku ausgestattet ist. Dadurch sollte man die Verwendung vorher planen, damit der Akku auch aufgeladen ist. Dass

3. Markt- und Wettbewerbsanalyse

das Batteriefach der CWC durch einen Absatz vom Boden abgehoben ist, liegt vermutlich daran, dass die CWC nicht Wasserfest ist und dadurch vermutlich vermieden werden soll, dass die CWC Schaden nimmt, wenn sie aus Versehen in eine Pfütze gelegt wird. Die Obelink Statera hingegen ist nach IP44 Zertifiziert, bei ihr ist kein zusätzlicher Absatz vorhanden.

Der größte Unterschied der beiden Produkte liegt bei der verwendeten Messtechnik. Während die CWC mit piezoelektrischen Keramiken funktioniert, verwendet die Obelink Statera Kraftsensoren. Trotz der älteren Technik und längerer Marktpräsenz wird die CWC jedoch immer noch zu einem höheren Preis vertrieben.

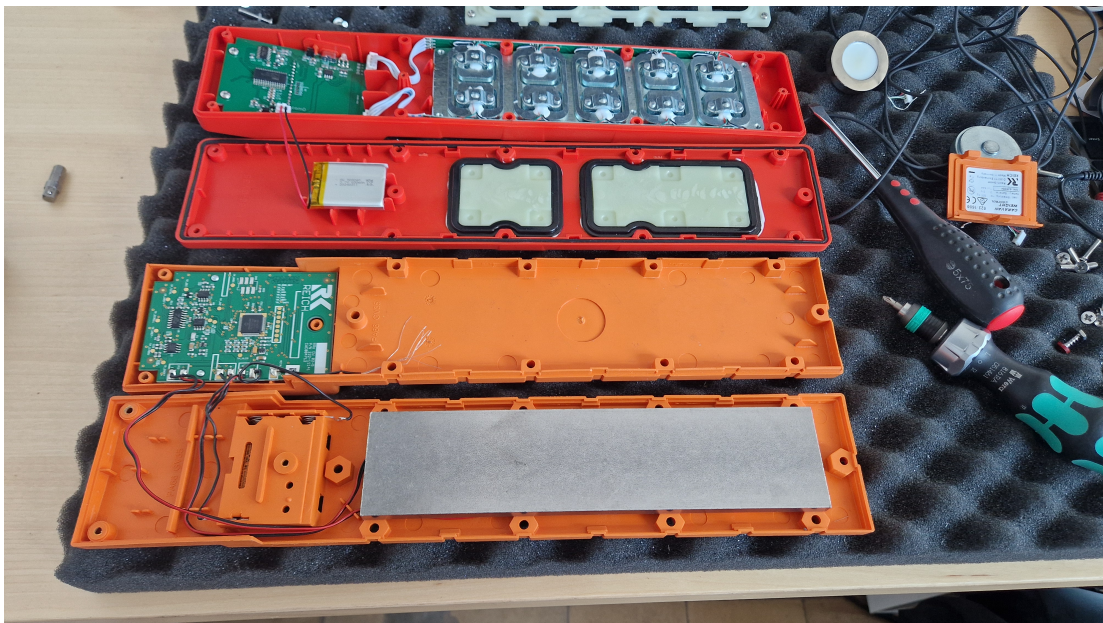


Abbildung 16.: Innenaufbau beider Waagen im Vergleich

Vergleicht man die Mainboards miteinander, scheint die CWC deutlich komplexer. Es sind deutlich mehr Widerstände und Kondensatoren verbaut. Außerdem sind mehrere ICs vorhanden. Anhand der Leiterbahnen auf dem Mainboard besteht die Vermutung, dass die ICs aufgrund der piezoelektrischen Keramiken als Messtechnik verbaut sind und ein Großteil der Widerstände auf die Verwendung von Batterien zurückzuführen sind. Für die Kraftsensoren ist bei der Obelink Statera ein A/D Wandler verbaut, welcher ebenfalls mit einigen Widerständen verschaltet ist. Auch die Status LED ist zusätzlich dazugekommen. Dennoch sind bei der Obelink Statera in Summe weniger Bauteile auf dem Mainboard verlötet.

3.2.4. Erkenntnisse

Beide Konkurrenzprodukte machen auf den ersten Blick einen robusten Eindruck. Die Obelink Statera macht dabei einen hochwertigeren Eindruck, welcher vor allem dadurch erzeugt wird, dass keine Kleinteile klappern und alle Öffnungen versiegelt sind. Lediglich die Bedienknöpfe der CWC sind angenehmer, da diese sich einfacher betätigen lassen.

Beide Produkte sind sich auffällig ähnlich. Die Dimensionen sind nahezu identisch und die Segmente der Displays sind identisch angeordnet. Lediglich einzelne Symbole wurden verändert, die Funktionsweise unterscheidet sich nicht. Da die Obelink Statera erst letztes Jahr auf den Markt gekommen ist liegt die Annahme nahe, dass diese eine verbesserte Version der CWC darstellen soll und von dieser stark inspiriert worden ist.

Ein zulässiges Gewicht von 1500 kg wird von beiden Waagen angegeben. Die meisten Wohnmobile sind darauf ausgelegt, dass sie noch mit der Führerscheinklasse B gefahren werden dürfen. Damit darf das Fahrzeug nicht mehr als 3500 kg wiegen. Bei gleichmäßiger Gewichtsverteilung entspricht dies einer durchschnittlichen Radlast von ca. 900 kg. Weil das Gewicht nicht immer gleichmäßig verteilt werden kann, ist mit einem Maximalgewicht von 1500 kg eine sinnvolle Sicherheitsreserve vorhanden. Auch bei der geplanten Anhebung der Obergrenze für Wohnmobile auf bis zu 4250 kg sollte diese Reserve ausreichend sein.

Die Anwendung mit drei verschiedenen Programmen scheint ebenfalls alle Kundenwünsche zu erfüllen. In keiner Bewertung erwähnte ein Kunde, dass er sein Fahrzeug mit den gegebenen Funktionen nicht wiegen konnte. Jedoch erwähnte ein Kunde, dass ihm eine Anzeige der Achslast fehlen würde. Dieses Feature lässt sich durch die Software bereitstellen und ist somit ein Punkt, den wir integrieren und uns dadurch von der Konkurrenz unterscheiden können. Ansonsten sind viele Kunden mit der Bedienung der Produkte zufrieden. Deshalb sollte diese nicht signifikant verändert werden.

Einige Kunden beschwerten sich über die fehlenden Batterien bei der CWC im Zusammenhang mit dem hohen Preis. Wenn negative Kommentare vermieden werden sollen, sollte daher die Stromversorgung der Waage mit einem Akku erfolgen oder Batterien beigelegt werden.

Ein Preis von ca. 150 € ist für viele Kunden akzeptabel, auch wenn die Waage nicht absolut genau funktioniert. Ein höherer Preis scheint ebenfalls vertretbar zu sein, sollte die Waage mit zusätzlichem Zubehör geliefert werden. Ein zu hoher Preis wurde in den Rezensionen nur in Verbindung mit fehlenden Batterien oder mangelnder Ergebnisse kritisiert.

Die Kunden scheinen sich jedoch kein neues Produkt zu wünschen. Über fehlende Funktionen oder ein Produkt, welches die Kundeninteressen verfehlt, gibt es insgesamt nur zwei negative Bewertungen, welche zu vernachlässigen sind. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass sich die Kunden nur ein besser funktionierendes Produkt wünschen, welches genauere und reproduzierbare Messergebnisse liefert.

3.3. Anforderungsliste

Aus den Erfahrungen mit den Wettbewerbsprodukten und der Auswertung der Kundenbewertungen wird eine Anforderungsliste für unser Produkt erstellt.

3. Markt- und Wettbewerbsanalyse

		Anforderungsliste für 127_1 Caravan_Scale		Christian Feddern			
Herkunft der Anfor- derung	Wunsch oder Forderung	Anforderung		Ideal- zustand	Mindest- zustand	Maximal- zustand	
I	W	1	Produktabmessungen	Höhe	45mm	30mm	55mm
				Länge	360mm	335mm	420mm
				Breite	70mm	50mm	80mm
I	W	2	Größe der Wiegefläche	Länge	275mm	255mm	295mm
					Breite	70mm	50mm
I	W	3	Gesamtgewicht		1,5kg	1kg	3kg
I	W	4	Maximales Fahrzeuggewicht		1500kg	1000kg	2000kg
I	W	5	Ablesbarkeit	Helligkeit	In der prallen Sonne	Im Schatten	In der Nacht
					Entfernung	Aus 3m entfernung	Aus 1m entfernung
I	W	6	Anzahl Bedientasten		3 Knöpfe	2 Knöpfe	4 Knöpfe
I / G	F	7	Lebensdauer		5 Jahre	2 Jahre	-
I	W	8	Schutzart		IP67	IP44	IP68
I	W	9	Betriebsdauer		20h	15h	25h
I	W	10	Dauer einer Messung		<1 min	<2 min	-
I / K	F	11	Verkaufspreis		120 €	-	150 €
I / K	W	12	Programmablauf		Automatisch	per Tastendruck	Automatisch
I / K	W	13	Ansprechendes Design		Ansehnlicher als die Konkurrenz	Wie die Konkurrenz	-
I / K	F	14	Messabweichung		<1%	<2,5%	0%
I / K	F	15	Verarbeitungsqualität		Sehr gut	Gut	-
I / K	W	16	UV Beständigkeit		Komplett beständig	Nicht beständig	Komplett beständig
I / K	W	17	Korrosionsbeständigkeit		Komplett beständig	Nicht beständig	Komplett beständig
I / K	W	18	Betriebstemperatur		-10°C - 40°C	0°C - 40°C	-20°C - 50°C
I / K	W	19	Verfügbare Einheiten		KG / LBS	KG	KG / LBS
G	F	20	USB Anschlussstyp (wenn Akku verbaut)		USB Typ-C	USB Typ-C	USB Typ-C
G / I	F	21	Garantie		2 Jahre	2 Jahre	5 Jahre
I	W	22	Intuitive Bedienung		Intuitiv	Mit Bedienungs- anleitung	Intuitiv
I = Intern K = Kundenmeinung G = Gesetzlich				Stand: 17.10.2024			

3.4. Zusammenfassung

Der Markt für eine mobile Waage für Wohnmobile und Caravans ist definitiv vorhanden. Europaweit werden jährlich über 200.000 neue Fahrzeuge zugelassen. Auch wenn hierunter viele Besitzer sein dürften, die bereits zuvor ein solches Fahrzeug besessen haben, bleibt ein genügend großer Absatzmarkt vorhanden. Aufgrund der Tatsache, dass es nur zwei Konkurrenzprodukte auf dem Markt gibt, scheint ein Einstieg in den Markt realistisch möglich zu sein. Dies kann entweder mit einer Verbesserung des bekannten Prinzips erfolgen oder man sticht durch einen komplett neuen Ansatz hervor.

Die beiden Konkurrenzprodukte ähneln sich stark. Die Obelink Statera wirkt wie ein Nachfolger auf die CWC oder ist zumindest stark von dieser inspiriert. Der größte Unterschied zwischen beiden Produkten liegt in der verbauten Messtechnik. Hier haben sich piezoelektrische Keramiken beziehungsweise Kraftsensoren durchgesetzt. Beide Waagen verwenden LCD Displays mit individuellen Segmenten. Die Bedienung mit drei Knöpfen scheint sich bewährt zu haben, da bei beiden Produkten die einfache Handhabung insgesamt am häufigsten erwähnt wird. Zusätzlich ist der subjektive Eindruck der Kunden wichtig, am Zweithäufigsten wird ein robustes oder stabiles Design erwähnt.

Bei beiden Konkurrenzprodukten werden eine große Messungenauigkeit und nicht reproduzierbare Ergebnisse mit großem Abstand am häufigsten kritisiert. Zusätzlich sollte in Betracht gezogen werden, das Gehäuse anders zu konstruieren oder bereits eine Auffahrhilfe dem Produkt beizulegen. Damit sollte der Kritikpunkt der schwierigen Drüberfahrt vermieden werden. Wenn ein interner Akku verbaut wird, erübrigt sich zusätzlich der Punkt, dass das Batteriefach schwer zu öffnen sei.

Die bereits bewährten Programme sollten übernommen werden. Es können jedoch neue Features integriert oder die Anzeige intuitiver gestaltet werden. Insgesamt scheint von den Kunden kein neues Produkt gewünscht zu sein, eine Verbesserung des bekannten Prinzips scheint mehr Kunden zufrieden stellen zu können. Final sollte unsere Waage nicht mehr als 150€ im Verkauf kosten. Dieser Preis scheint für bisherige Kunden kein Problem darzustellen.

4. Analyse der Funktionen

In diesem Abschnitt werden zunächst die Funktionsweisen der Konkurrenzprodukte genauer analysiert. Es werden die Funktionen herausgearbeitet und gruppiert.

4.1. Funktionsstruktur

Die Einzelfunktionen können in vier Funktionsgruppen gegliedert werden. Diese lauten:

- Gehäuse und Bedienung
- Messtechnik und Datenübertragung
- Darstellung und Verarbeitung der Messwerte
- Stromversorgung

Sämtliche Bauteile der Konkurrenzprodukte können in einer dieser vier Kategorien eingeordnet werden. Dies geschieht in den folgenden Abschnitten.

4.1.1. Gehäuse und Bedienung

Zur Funktionsgruppe Gehäuse und Bedienung werden folgende Bauteile gezählt:

- Gehäuse
- Bedientasten
- Füße
- Batteriefach
- Abdeckung des Ladeanschlusses
- Aluminiumblock

Batteriefach und Abdeckung des Ladeanschlusses sind nicht gleichzeitig notwendig. Entsprechend der gewählten Funktionsweise ist nur für eine der Funktionen eine Lösung notwendig. Der massive Aluminiumblock, welcher bei beiden Produkten im Gehäuse eingelegt ist, dient der gleichmäßigeren Kraftverteilung auf beide Füße bei der CWC bzw. auf alle zehn Kraftsensoren bei der Obelink Statera. Außerdem verleiht dieser der Waage zusätzliches Gewicht und

Stabilität, wodurch die Waage einen robusteren Eindruck vermittelt, nicht so leicht auf dem Boden verschoben wird und das Gehäuse beim Drüberfahren nicht durchbricht.

4.1.2. Messtechnik und Datenübertragung

Die Messtechnik ist die wichtigste Entscheidung dieser Entwicklung. Dementsprechend wird ein großer Fokus darauf gelegt, für welches Messprinzip sich entschieden wird. Zu dieser Funktionsgruppe gehören folgende Bauteile aus den Konkurrenzprodukten:

- Kraftsensor
- Piezoelektrische Keramik
- Kupferplättchen
- Stromkabel
- Steckverbinder

In diesem Anwendungsfall gibt es keinen Unterschied zwischen Stromkabeln und Datenkabeln. Mit den piezoelektrischen Keramiken werden die Spannungen direkt auf die Platine weitergeleitet. Dort ist nicht mehr ersichtlich, wie die Spannungsänderung ausgewertet wird, da zu viele kleine Bauteile auf der Platine verbaut sind. Weil die Kraftsensoren einen geschlossenen Stromkreis benötigen um eine Widerstandsänderung messen zu können, sind auch hier Kabel unersetzlich. Mit Steckverbindern kann ein modularer Aufbau ermöglicht werden, wodurch bei beschädigten Produkten auch ein Austausch einzelner Bauteile einfacher möglich wäre.

4.1.3. Darstellung und Verarbeitung der Messwerte

Damit die Messergebnisse dem Kunden dargestellt werden können, müssen diese zunächst interpretiert und anschließend ausgegeben werden. Dies geschieht über folgende Bauteile:

- Display
- Mikroprozessor
- A/D Wandler
- Widerstände
- Kondensatoren

Das Display ist der offensichtliche Weg, die Messergebnisse darzustellen. Auf die einzelnen Bestandteile und Pins des Displays wird nicht weiter eingegangen, da dies später vom Hersteller übernommen wird und nicht Teil unserer Arbeit ist. Der Mikroprozessor dient der Interpretation der Messwerte und steuert das Display an. Werden Kraftsensoren verwendet, muss deren Signal zusätzlich verstärkt werden, was der A/D Wandler übernimmt. Auf der Platine der CWC sind zusätzlich viele Kondensatoren und Widerstände verbaut. Welchen Zweck diese genau erfüllen kann nicht erschlossen werden, es besteht jedoch die Vermutung, dass diese eventuelle Spannungsspitzen der piezoelektrischen Keramiken ausgleichen und somit den Mikroprozessor vor Beschädigungen durch Überspannung schützen sollen.

4.1.4. Stromversorgung

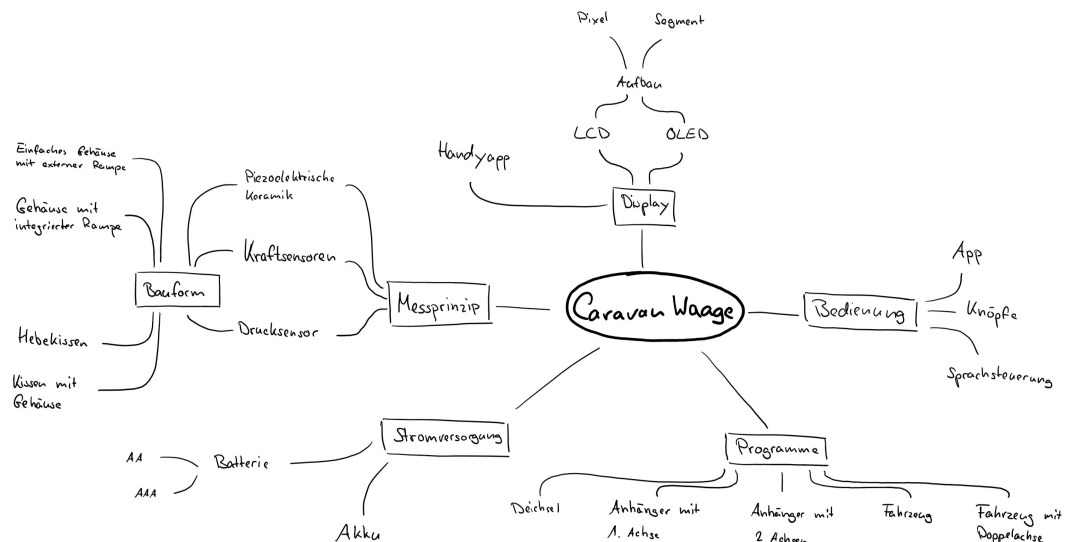
Damit die Waage funktionieren kann, ist eine Stromversorgung unabdingbar. Die benötigte Spannung wird entweder durch den verwendeten Kraftsensor oder den Mikroprozessor vorgegeben. Folgende Bauteile werden unter der Stromversorgung zusammengefasst:

- Batterien
- Batteriekontakte
- Akku
- Spannungsregler
- Ladeanschluss

Werden piezoelektrische Keramiken als Messprinzip verwendet, benötigen diese keine Stromversorgung und nur das Display und der Mikroprozessor müssen mit Strom versorgt werden. Kraftsensoren würden zusätzlich Strom benötigen, wodurch der Stromverbrauch zunimmt und je nach verwendetem Modell eine höhere Spannung als für den Mikrocontroller notwendig ist.

4.2. Brainstorming

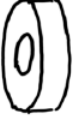
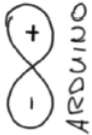
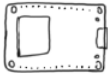
In Meetings wurden Ideen gesammelt, welche Funktionen die Waage besitzen kann und welche Lösungen es dafür gibt.



4.2.1. Morphologischer Kasten

Die Ergebnisse aus der Wettbewerbsanalyse und den Meetings werden in einem morphologischen Kasten gesammelt und geordnet dargestellt. Dieser dient nur der Übersicht und soll nicht für die Auswahl von Varianten dienen.

4. Analyse der Funktionen

Kräfte Messen	 Kraftsensor	 Drucksensor	 Piezoelektrische Keramik
Daten übertragen	 Kabel	 Bluetooth	
Mikrocontroller	 Arduino	 Raspberry Pi	 ESP 32
Messwerte anzeigen	 Display	 App	 Akustisch
Displaytyp	 Pixel	 Segment	
Bedienung	 Tasten	 App	 Sprachsteuerung
Stromversorgung	 Akku	 Batterien	

5. Entwicklung und Bau von Prototypen

Im Vorfeld der Arbeit wurde bereits festgelegt, dass das Produkt nach einem von drei möglichen Messprinzipien funktionieren soll. Die erste Möglichkeit besteht daraus, dass ein mit Flüssigkeit gefülltes Kissen zusammen mit einem Drucksensor verwendet wird. Die zweite Möglichkeit ist die Verwendung einer oder mehrerer Kraftsensoren. Die dritte Möglichkeit ist die Verwendung von piezoelektrischen Keramiken, die durch die Kompression unter Last eine Spannung ausgeben, welche abgenommen werden kann. Damit sich ein besserer Überblick verschafft werden kann, welches der drei Messprinzipien sich am ehesten für das finale Produkt eignet, wird für jedes ein einfacher Prototyp aufgebaut.

5.1. Prototyp mit einem Drucksensor

Der erste Prototyp der getestet wird, soll mit einem Drucksensor arbeiten. Dieser ist mit Flüssigkeit gefüllten Kissen verbunden. Dieses soll dann direkt vor den Reifen platziert werden können und durch seine Verarbeitungsweise möglichst flach sein. Dadurch sollen Schwierigkeiten beim Herüberfahren minimiert werden. Die beim Drüberfahren über das Kissen entstehende Druckänderung wird mit dem Sensor gemessen. Anschließend kann daraus das Gewicht des Fahrzeugs ermittelt werden.

5.1.1. Theorie

Mit dem Drucksensor soll die Änderung des Drucks im System des Prototypen gemessen werden. Druck ist als Kraft pro Fläche definiert.

$$P = \frac{F}{A} \Leftrightarrow F = P \cdot A \quad (5.1)$$

Für die Waage ist die Gewichtskraft Interessant, die durch das zu wiegende Fahrzeug auf die Waage einwirkt. Deshalb wird eine bekannte Fläche benötigt, über die die Kraft in das System eingeleitet wird. Aus der Gewichtskraft wiederum kann anschließend die Masse des zu wiegenden Objektes bestimmt werden.

$$F = m \cdot a \Leftrightarrow m = \frac{F}{a} \quad (5.2)$$

Durch Einsetzen von Gleichung 5.1 in Gleichung 5.2 und Einsetzen der Gravitationsbeschleunigung g für a folgt daraus:

$$m = \frac{P \cdot A}{g} \quad (5.3)$$

In der Theorie kann somit über den Drucksensor das Gewicht ermittelt werden.

5.1.2. Bauteile

Um einen funktionierenden Prototypen zu bauen, werden folgende Bauteile benötigt:

- Ein mit Flüssigkeit befüllbares Kissen
- Drucksensor
- Mikroprozessor zum Auslesen des Drucksensors
- Schlauchleitungen
- Ventile
- Kabel zur Stromversorgung und Kommunikation zwischen Drucksensor und Mikroprozessor
- Stromversorgung für den Mikrocontroller
- Display zum Anzeigen der Messergebnisse
- Steckbrett zur einfacheren Verkabelung
- Platte als definierte Fläche zur Krafteinleitung

Die Aufgabe besteht darin, den Prototypen möglichst simpel zu gestalten und nach Möglichkeit mit bereits vorhanden Gegenständen zu arbeiten, um Zeit und Kosten einzusparen. Als Mikroprozessor wird daher ein Arduino Uno Rev3 gewählt. Durch die Steckplätze für die Pins ist eine Verkabelung ohne Löten möglich und die Verwendung ist dadurch sehr flexibel. Außerdem gibt es für den Arduino bereits viele Bibliotheken, die die Entwicklung der Software später vereinfachen.

Der Output des Drucksensors kann über ein Display erfolgen. Dafür eignen sich viele LCD oder OLED - Displays. Ebenso ist es auch möglich, den Arduino über ein USB – Kabel mit einem Laptop oder Computer zu verbinden und direkt die Messwerte auszulesen. Dies bringt

zwei Vorteile mit sich. Zum Einen muss kein zusätzliches Display verkabelt und programmiert werden, womit der Arbeitsaufwand verringert wird. Der weitere Vorteil besteht in der Stromversorgung. Der Arduino arbeitet mit 5 V, welche kann auf drei unterschiedlichen Wegen bereitgestellt werden kann. Eine davon ist über das USB – Kabel, mit welchem gleichzeitig die Daten ausgelesen werden können. Daher wird sich für diese Methode entschieden.

Als Drucksensor wird ein DC 5 V Drucksensor mit einem Messbereich von 0 – 150 Psi verwendet. Die 5 V Output entsprechen exakt dem Messbereich der Analogpins am Arduino Uno, wodurch die Kompatibilität gewährleistet ist.

Um das Kissen zu simulieren, wird ein Montagekissen verwendet. Diese werden im Normalfall zum Anheben von z.B. Autos oder zum Öffnen von Autofenstern verwendet, dafür allerdings mit Luft aufgepumpt. Durch ihren normalen Anwendungszweck ist sichergestellt, dass sie die entsprechende Last aushalten können und außerdem entsprechend dicht sind. Montagekissen werden mit einem kleinen Handblasebalg aufgepumpt. Mit größerem Kraftaufwand eignet sich dieser ebenfalls dazu, Wasser in das Montagekissen zu pumpen. Damit die Luft, die sich bereits im Ruhezustand im Montagekissen befindet, auch entweichen kann, wird ein System aus Ventilen und Schläuchen für Aquarien verwendet. Diese besitzen denselben Durchmesser wie der Anschluss des Montagekissens und können daher miteinander verbunden werden.

Als Fluid wird Wasser verwendet. Da nicht sichergestellt werden kann, dass es zu keinem Leck kommen wird, wird von der Verwendung von Hydraulikflüssigkeit oder anderem Öl abgesehen. Außerdem steht Wasser in größeren Mengen zur Verfügung und ist weniger problematisch bei der Entsorgung.

Um herauszufinden, wie groß der Einfluss der Fläche ist, werden zwei unterschiedlich große Platten verwendet. Die erste Platte ist 91,6 mm × 55,4 mm groß, die Andere 113,8 mm × 74,8 mm.

5.1.3. Aufbau

Damit der Prototyp funktionieren kann, muss das System luftleer und komplett mit Wasser befüllt sein. Dabei muss auch sichergestellt werden, dass die sich bereits im Kissen befindliche Luft vollständig entweicht. Im Gegensatz zu Fluiden sind Gase kompressibel. Wenn sich noch Luftblasen im System befinden, würden diese unter Last komprimiert werden und der Drucksensor würde inkorrekte Messwerte liefern.

5. Entwicklung und Bau von Prototypen

Das System besteht aus mehreren Schlauchleitungen, Verbindern und Ventilen. Mit einfachen Mitteln ist es nicht möglich, beim ersten Versuch direkt ein luftleeres System zu erzeugen. Dementsprechend sind zwei Ventile notwendig: Das erste Ventil ist mit dem Handblasebalg verbunden. Dadurch kann nach Belieben zusätzliches Wasser in das System gepumpt und an dieser Stelle das System abgeschlossen werden. Das zweite Ventil dient als Abfluss. Mit diesem kann die Wassermenge im System reduziert werden. Außerdem kann durch dieses die Luft aus dem System entweichen. Dafür muss im Zusammenspiel neues Wasser in das Montagekissen gepumpt werden und anschließend durch Kompression des Montagekissens wieder Wasser entlassen werden, wodurch Luftblasen in Richtung des Ventils befördert werden können. Beide Ventile sind mit einem T – Verbinder mit der Hauptleitung verbunden. Diese verbindet direkt das Montagekissen mit dem Drucksensor.

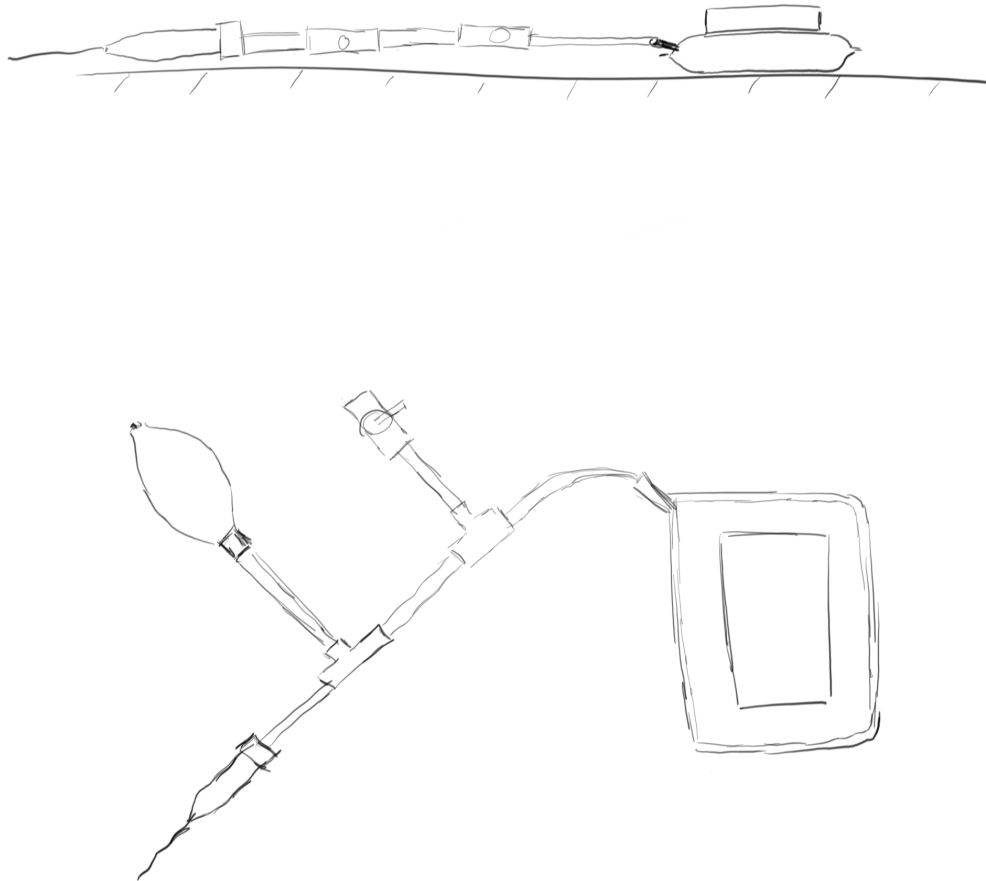


Abbildung 17.: Schematische Darstellung des Prototypen mit Drucksensor

Damit von vornherein möglichst wenig Luft im System befindlich ist, erfolgt die gesamte Montage in einer großen, mit Wasser befüllten Plastikkiste.

Der Drucksensor besitzt drei Anschlüssen, die mit dem Mikrocontroller verbunden werden müssen. Diese Anschlüsse sind +5 V, Ground und Data. Ground und +5 V müssen mit den entsprechenden Pins auf dem Arduino verbunden werden, damit der Stromkreis geschlossen wird. Die Data Leitung wird mit einem der vier analogen Pins auf dem Arduino verbunden. Um die Jumper Kabel vom Steckbrett mit den längeren Kabeln zum Drucksensor zu verbinden, werden Wago – Klemmen verwendet. Die Platten werden nacheinander lose auf das gefüllte Kissen gelegt.

5.2. Prototyp mit Kraftsensoren

Der zweite Prototyp soll mit Kraftsensoren arbeiten. Diese können in einem Gehäuse verbaut werden, welches dem der Konkurrenzprodukte ähnelt. Dadurch würde ein Produkt entstehen, welches den Kunden bereits bekannt vorkommt und sie unserem Produkt weniger skeptisch gegenüberstehen.

5.2.1. Theorie

Die Kraftsensoren funktionieren mit Dehnungsmesstreifen. Diese können die durch eine Belastung entstehende Dehnung in eine proportionale Widerstandsänderung umwandeln. Durch die Wheatsonsche Brückenschaltung kann diese Widerstandsänderung durch das Verhältnis von Eingangsspannung zu Ausgangsspannung gemessen werden. Dadurch kann über die elastische Dehnung die Belastung ermittelt und so das Gewicht berechnet werden.

5.2.2. Bauteile

Kraftsensoren gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen. Diese unterscheiden sich besonders in ihrem zulässigen Maximalgewicht und der Messtoleranz. Für den Prototypen wurden daher unterschiedliche Kraftsensoren besorgt. Folgende Maximalgewichte und Toleranzen stehen für den Prototypen zur Verfügung:

- 2000 kg mit 0,05 % FS
- 100 kg mit 0,05 % FS
- 1500 kg mit 0,3 % FS
- 750 kg mit 0,3 % FS

Dabei werden zwei unterschiedliche Bauformen getestet: Die beiden Kraftsensoren mit 0,05 % FS Toleranz sind mit einem Innengewinde ausgestattet, über welches die Last eingeleitet wird. Mit diesem kann eine einfache Vorrichtung gebaut werden, über die unterschiedliche Lasten eingeleitet werden können. Dadurch eignen sich diese besonders gut für einen ersten Prototypen. Die anderen beiden Kraftsensoren sind von einer flachen Bauform, wie sie später im finalen Produkt verwendet werden würden. Durch die flachere Bauform ist die Messabweichung jedoch minimal größer. Außerdem besitzen sie kein Gewinde zur Krafteinleitung. Diese erfolgt lediglich über einen erhöhten Druckpunkt auf der Oberseite des Kraftsensors.

Für den ersten Prototypen werden zusätzlich folgende Bauteile verwendet:

- Arduino Uno Rev3 als Mikroprozessor
- Signalverstärker zur Kommunikation zwischen Kraftsensor und Mikroprozessor
- Steckbrett
- Jumper Kabel zur Verkabelung auf dem Steckbrett
- Schrauben und Muttern
- Wiegefläche

Der Arduino Uno, der zuvor für den Prototypen mit Drucksensor verwendet wurde, wird für diesen Prototypen ebenfalls verwendet. Das Ausgangssignal des Kraftsensors ist ebenfalls ein analoges Signal, abhängig von der gegebenen Eingangsspannung. Die analogen Pins des Arduino arbeiten mit einer Auflösung von 10 Bit. Dies bedeutet, dass der Messbereich in 1024 Teile eingeteilt wird. Bei einem Messbereich von 0 – 2000kg folgt daraus, dass jeder einzelne Step einem Unterschied von 1,95 kg entspricht. Diese Messgenauigkeit ist jedoch nicht brauchbar, weshalb ein HX711 24 – Bit – Analog – Digital – Wandler (ADC) verwendet wird. Dieser bietet eine deutlich höhere Genauigkeit und dient als Schnittstelle zwischen dem Mikrocontroller und dem Kraftsensor. Der HX711 kommuniziert mit dem Arduino nicht über einen analogen Pin, sondern durch eine serielle Schnittstelle. Dafür benötigt er zwei digitale Pins.

Bei dem verwendeten Kraftsensor wird die Last über das Gewinde eingeleitet. Damit unterschiedliche Lasten zum Test geprüft werden können, wird eine Platte mit einer Schraube mit dem Gewinde verbunden. Auf dieser können anschließend Gewichte abgestellt werden, damit die Funktionstüchtigkeit und Genauigkeit des Kraftsensors überprüft werden kann.

5.2.3. Aufbau

Zunächst wird für den Prototypen der Kraftsensor mit maximaler Kapazität von 100 kg und einer Messgenauigkeit von 0,05 % FS verwendet. Dies entspricht einer Messabweichung von 0,05kg und ist somit der Kraftsensor, der am genauesten funktioniert. Der Kraftsensor ist mit einem M12 Gewinde ausgestattet, über welches die Last eingeleitet werden soll. Damit dies möglich ist, wird eine Holzplatte verwendet. Durch diese wird die Schraube durchgesteckt und mit einer Mutter von unten befestigt. Bevor die Platte in den Kraftsensor geschraubt wird, muss noch das Eigengewicht der Wiegefläche festgehalten werden, da diese ebenfalls den Kraftsensor belastet. Die Wiegefläche wird im Anschluss nicht komplett in den Kraftsensor eingeschraubt, damit durch die Vorspannung keine Eigenspannung auf den Kraftsensor wirken und die Last tatsächlich über das Gewinde übertragen wird.

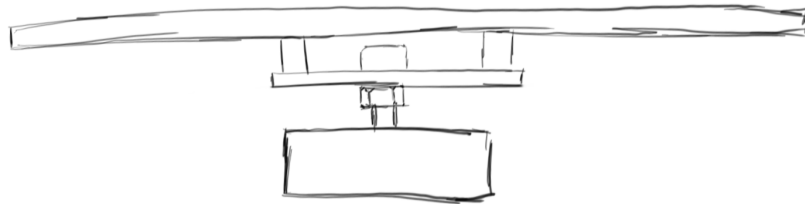


Abbildung 18.: Aufbau des Prototypen mit dem 100 kg Kraftsensor

Alle Kraftsensoren werden über vier Adern angesteuert. Diese sind +5 V, Ground, +Signal und -Signal. Diese könnten direkt mit dem Arduino verbunden werden, aufgrund der durch die 10 – Bit Auflösung der Arduino Pins entstehenden Messungenauigkeit ist dies jedoch nicht sinnvoll. Deshalb wird der HX711 ADC zwischengeschaltet.

5.3. Prototyp mit piezoelektrische Keramiken

Um die Brauchbarkeit der piezoelektrischen Keramiken für uns überprüfen zu können, muss zunächst herausgefunden werden, wie konstant diese arbeiten. Aus der Theorie geht hervor, dass kurzzeitig hohe Spannungen bei der Kompression entstehen können. Würde die Spannung ebenfalls über die Pins des Mikrocontrollers gemessen werden, könnten diese beschädigt werden, da diese nur bis zu einer maximalen Spannung von 5 V ausgelegt sind. Um dies zu verhindern, werden die piezoelektrischen Keramiken zunächst mit einem USB – Oszilloskop getestet um in Erfahrung zu bringen, wie groß die Spannungen tatsächlich sind, wie konstant die Keramiken arbeiten und wie die Spannung anschließend abfällt.

5.3.1. Bauteile

Um die Keramiken kontrolliert belasten zu können und die Spannung abzunehmen, sollen diese in eine Vorrichtung eingelegt werden. Die Spannung kann anschließend über Kontakplättchen abgenommen werden und an dem Oszilloskop ausgelesen werden.

- Piezoelektrische Keramik
- Kupferplättchen
- Vorrichtung für die Keramiken und Kupferplättchen
- Kabel
- Oszilloskop
- Lötkolben und Lötzinn
- Krokodilsklemmen

Es wurden zwei unterschiedliche Arten piezoelektrischer Keramiken bestellt: PZT-4 und PZT-8. Die PZT-8 Keramiken sind härter, wodurch sie präziser sind, jedoch eine geringere Spannung erzeugen sollen als die PZT-4 Keramiken. Die Kupferplättchen wurden beim selben Zulieferer mitbestellt. Damit die Spannungsänderung der Keramiken von den Kupferplättchen abgenommen werden kann, werden 24 AWG Kabel an diese gelötet. Bei dem Oszilloskop handelt es sich um ein Hantek 6022BE. Mit der dazugehörigen Software kann der Spannungsverlauf während der Belastung analysiert werden. Um die über die Kupferplättchen abgenommene Spannung mit dem Oszilloskop auslesen zu können, werden die Anschlüsse von diesem mit den Krokodilsklemmen mit den an den Kupferplättchen angelöteten Kabeln verbunden.

5.3.2. Aufbau

Die Keramiken werden in die runde Vorrichtung eingesetzt, in der sie nicht verrutschen können. Unter der Keramik und über der Keramik wird jeweils ein Kupferplättchen eingesetzt, womit die Spannung abgenommen werden kann. An diese Plättchen ist jeweils ein Kabel gelötet, an welches eine Krokodilsklemme angeklemt wird. Diese sind mit den Eingängen des Oszilloskops verbunden, welches wiederum über USB an einem Laptop angeschlossen ist. Mit diesem Aufbau kann die Spannung unter Belastung beobachtet werden.

Auf der oberen Kupferplatte ist ein Vollplastikteil in die Vorrichtung eingesetzt. Über dieses kann eine Kraft gleichmäßig auf die Keramik übertragen werden.

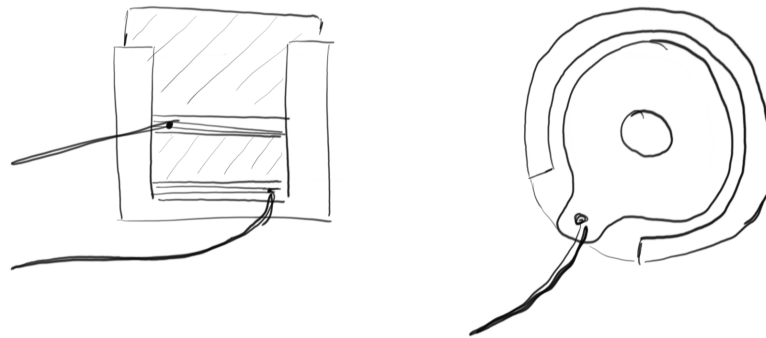


Abbildung 19.: Vorrichtung zum Belasten der piezoelektrischen Keramiken

5.4. Display

Für Mikroprozessoren wie den Arduino gibt es bereits viele verfügbare Displays, die auf unterschiedlicher Technologie basieren. Dennoch können diese in zwei Gruppen eingeteilt werden: Displays mit festgelegten Segmenten und Pixel Displays. Bei Displays mit festgelegten Segmenten können diese einzeln angesteuert und somit an- oder ausgeschaltet werden. Ein Beispiel hierfür sind sieben Segment Displays, mit denen Zahlen dargestellt werden können. Diese Segmente können zusätzlich in allen Formen und Designs hergestellt werden, sodass sich individuelle Displays erstellen lassen. Bei Pixel Displays kann jeder einzelne Pixel programmiert werden. Auf diese Weise lassen sich individuelle Designs umsetzen und die Displays sind flexibler als mit bereits festgelegten Segmenten. Dadurch ist die Programmierung jedoch aufwändiger.

Aufgrund der höheren Flexibilität wird trotz des größeren Aufwands ein Pixel Display gewählt. Es hat eine Auflösung von 128x160 Pixel bei einer Bildschirmdiagonale von 1,77“. Wie bereits in der Wettbewerbsanalyse festgestellt wurde, ist das Displaylayout der anderen Produkte verbesserungswürdig. Mit diesem Display können unterschiedliche Designs ausprobiert werden, bevor ein finales Design festgelegt wird. Displays dieser Art werden häufig zusammen mit Mikrocontrollern wie dem Arduino im DIY-Bereich verwendet. Deswegen gibt es bereits viele Bibliotheken und Beispiele, welche die Programmierung vereinfachen. Allerdings arbeitet das Display mit einer Spannung von 3,3V, weswegen ein Logic Level Converter zwischengeschaltet werden muss.

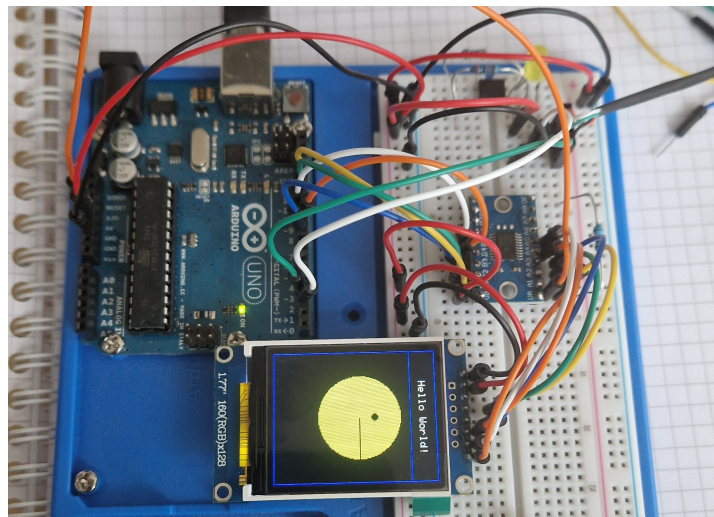


Abbildung 20.: Verkabelung des Displays auf dem Steckbrett

6. Software

Um die Prototypen später testen zu können, muss für jeden eine Software entwickelt werden, welche die Sensorik ansteuern und auf dem Display die Messwerte ausgeben kann. Außerdem soll diese später als Grundlage für die finale Software dienen. Die Software wird in C++ geschrieben, weil diese Sprache mit sehr vielen Mikrocontrollern funktioniert, darunter auch der für die Prototypen verwendete Arduino. Durch die große Verbreitung der Sprache gibt es bereits viele Bibliotheken, die die Programmierung vereinfachen. Dies vereinfacht die Entwicklung der Prototypen und die Festlegung auf einen bestimmten Microcontroller kann später erfolgen. Ein weiterer Teil der Software ist das Display. Für die Prototypen wird ein Pixel Display verwendet, mit welchem unterschiedliche Designs getestet werden können. Diese müssen jedoch ebenfalls programmiert werden. Mit dem Display kann anschließend die Bedienung und die Programme getestet werden. Dabei ist besonders wichtig, dass die Steuerung intuitiv ist.

6.1. Drucksensor

Die erste Software ist für den Prototypen mit einem Drucksensor vorgesehen. Damit dieser getestet werden kann, muss in der Software der Output des Sensors zunächst korrekt interpretiert werden.

6.1.1. Theorie

Der analoge Pin des Arduino kann Spannungen bis zu 5 V messen. Aufgrund der 10 Bit Auflösung konvertiert er Messwerte von 0 V bis 5 V linear in einen Wert von 0 bis 1023, was insgesamt 1024 möglichen Messwerten entspricht. Der verwendete Drucksensor gibt bei maximaler Belastung von 150 Psi eine Spannung von 4,5 V aus, ohne Belastung 0,5 V. Dazwischen soll er ein lineares Verhalten aufweisen. Nach Gleichung Gleichung 6.1 ergibt sich daraus ein analoger Messwert von 102 ohne Belastung und ein Messwert von 922 bei maximaler Belastung.

$$\frac{x}{1024} = \frac{U_x}{5V} \quad (6.1)$$

Aus diesen Werten lässt sich eine lineare Funktion aufstellen, die den analogen Output beschreibt.

$$P = \frac{(x - x_{min}) \cdot P_{max}}{x_{max} - x_{min}} \quad (6.2)$$

Um aus dem Druck die Kraft zu bestimmen, wird eine definierte Fläche benötigt, mit der die Kraft auf das Hebekissen eingebracht wird.

6.1.2. Ansteuerung des Drucksensors und Ausgabe der Messwerte

Für den Drucksensor werden keine zusätzlichen Bibliotheken benötigt. Er kann über einen einfachen `analogRead` Befehl ausgelesen werden. Dieser Wert wird anschließend nach Gleichung Gleichung 6.2 umgerechnet.

```
1 // read sensor voltage
2 float rawVoltage = analogRead(pressureSensorPin);
3 float voltage = rawVoltage * (5 / 1024);
```

Listing 6.1: Auslesen des Drucksensors

Die Messungen werden in einem Abstand von 10 ms genommen. Anschließend wird eine Reihe von 2500 Messwerten aufgenommen, aus denen der Mittelwert gebildet wird, um Ausreißer in der Messreihe auszugleichen.

```
1 // readings for calculating the average values
2 numReadings = sampleRate / Delay;
3
4 // array for saving the sensor values
5 int readings[numReadings];
6
7 index = 0;
8 readingsCount = 0;
9 total = 0;
10
11 for (int i = 0; i < numReadings; i++){
12     // Read the analog value from the pressure sensor
13     sensorValue = analogRead(pressureSensorPin);
14     readings[index] = sensorValue;
15
16     index++;
```

```
17     readingsCount++;
18     total += readings[i];
19
20     delay(Delay);
21 }
22
23 // calculating average
24 sensorAverage = total / (float)numReadings;
```

Listing 6.2: Sammeln der Messwerte

Mit dem Mittelwert wird das Gewicht ermittelt. Dafür wird der Messwert von PSI in Bar umgerechnet und am Laptop ausgegeben.

```
1 // convert sensor value into psi
2 float value_psi = ((sensorAverage - sensorValueZero) *
3 sensorMaxPSI) / (sensorValueMax - sensorValueZero);
4
5 // convert sensor value into bar
6 float value_bar = value_psi * 0.068475729;
7
8 // convert pressure into force
9 float weight = (value_bar * (surfaceArea + surfaceArea2)) /
10 (grav * 10);
11 // *10 because of 10^5 bar to Pa and 10^-6 mm^2 to m^2
```

Listing 6.3: Berechnung des Gewichts

6.2. Kraftsensor

Zwischen den Kraftsensoren und dem Arduino ist der HX711 ADC zwischengeschaltet. Dieser wandelt das analoge Signal des Kraftsensors in eine Binärzahl um, welche anschließend über zwei Pins am Arduino ausgelesen werden kann.

6.2.1. Theorie

Die Kraftsensoren benötigen eine Eingangsspannung, damit diese die Widerstandsänderung unter der Belastung messen können. Diese wird vom Arduino mit 5 V bereitgestellt. Um eine höhere Messauflösung zu erreichen, wird der ACD Wandler zwischengeschaltet. Für diesen gibt es bereits eine Bibliothek, welche die Umrechnungen übernimmt. Es muss nur der jeweilige Kalibrierungsfaktor des Kraftsensors ermittelt werden.

6.2.2. Ansteuerung des Kraftsensors

Um den HX711 ADC verwenden zu können, wird die HX711_ADC Bibliothek von Olav Kallhovd verwendet. Diese besitzt bereits grundlegende Funktionen wie die Ansteuerung des HX711 und die Interpretation der Daten. Zusätzlich ist eine Kalibrierungsfunktion zum Ermitteln des Kalibrierungsfaktors bereits integriert.

Mit dem LoadCell.update() Aufruf wird über den HX711_ADC der Kraftsensor ausgelesen. Durch die Variable unitFactor wird bestimmt, ob der Output in Gramm oder in Kilogramm angegeben ist. Es wird der Maximalwert während der Messung gespeichert, indem der Wert überschrieben wird, wenn ein größerer Messwert ermittelt wurde.

```
1 // function for reading load cell output
2 void readLoadCell() {
3     // check for new data/start next conversion:
4     if (LoadCell.update()) {
5         newDataReady = true;
6     }
7
8     // get smoothed value from the dataset:
9     if (newDataReady) {
10         data = 0;
11         data = LoadCell.getData()/unitFactor;
12     }
```

```
13      // get maximum output value from load cell during measurement
14      if (data > maxVal) {
15          maxVal = data;
16      }
17  }
18 }
```

Listing 6.4: Kraftsensor auslesen

Der Kalibrierungsfaktor der Kraftsensoren wird experimentell bestimmt. Dafür wird ein bekanntes Gewicht auf dem Kraftsensor platziert. Anschließend kann der Output des Kraftsensors mit dem bekannten Gewicht in Verhältnis gesetzt werden. Für die vier vorhandenen Kraftsensoren sind folgende Kalibrierungsfaktoren bestimmt worden:

- 32.96 für den 100kg Kraftsensor
- 3.62 für den 750kg Kraftsensor
- 1.57 für den 1500kg Kraftsensor
- 1.24 für den 2000kg Kraftsensor

Zur Bestimmung wurden jeweils die beiden Gusseisengewichte mit einem Gesamtgewicht von 31,8 kg verwendet. Abhängig davon, welcher Kraftsensor mit dem Arduino verbunden ist, wird der dazugehörige Kalibrierungsfaktor in der Software hinterlegt.

6.3. Programme und Display

Damit getestet werden kann, ob sich die Waage intuitiv bedienen lässt, werden die Programme in den Code der Kraftsensoren eingepflegt und mit diesen zusammen getestet. Dargestellt werden diese auf dem 1,77"Pixel OLED Display. Dafür werden folgende Bibliotheken benötigt:

- Adafruit_GFX für einfache Geometrien
- Adafruit_ST7735 um den Displaycontroller anzusteuern

Ein Flussdiagramm, wie eine gesamte Messung ablaufen soll, ist im Anhang zu finden.

6.3.1. Programmablauf

Im Loop des Programms wird kontinuierlich abgefragt, ob einer der Knöpfe betätigt wird. Ist dies nicht der Fall, wird der Kraftsensor ausgelesen, sobald ein vorgegebenes Intervall vergangen ist. Das Intervall wird mit der `millis()` Funktion kontrolliert, welche die `time` Variable nach jeder Messung auf den aktuellen Millisekunden Wert setzt. Zusätzlich wird überprüft, ob die Messung abgeschlossen wurde. Dies wird signalisiert, indem der aktuelle Messpunkt den Wert `centerWeight` annimmt. In diesem Fall werden die beiden Seiten, das Gesamtgewicht sowie die Achslast aus den Einzelwerten berechnet. Die Gewichtsverteilung sowie das Gesamtgewicht werden anschließend auf dem Display ausgegeben.

6.3.2. Messpunkte

Die Waage nimmt kontinuierlich Messwerte auf. Insgesamt gibt es über sämtliche Programme verteilt acht unterschiedliche Messpunkte. Damit die Lesbarkeit des Codes verbessert ist, werden die Messpunkte als Enumeratoren gespeichert.

```
1  enum MeasurementPoint {  
2      hitch,  
3      frontLeft,  
4      rearLeft,  
5      frontRight,  
6      rearRight,  
7      centerWeight,  
8      leftCenter,  
9      rightCenter,  
10     numMeasurementPoints,  
11     };
```

Listing 6.5: Enumeratoren für die Messpunkte

Basierend auf dem aktuell ausgewählten Programm werden die Messpunkte entweder angesteuert oder übersprungen. Beim Auswählen des nächsten Messpunktes wird der aktuelle Messwert über die `safeWeight` Funktion im vorherigen Enumerator hinterlegt.

```
1 // save the weight values for later summation
2 void safeWeight(MeasurementPoint currentPoint) {
3     measurementData[currentPoint].value = round(maxVal);
4 }
5
6 // switch current point to the next measurement point
7 void nextMeasurementPoint() {
8     if (currentProgramm != onlyHitch) {
9         // store weight result for later summation
10        safeWeight(currentPoint);
11        // switch to next measurement point
12        currentPoint = static_cast<MeasurementPoint>
13            ((currentPoint + 1) % leftCenter);
14        if (currentPoint != hitch || (currentProgramm == twoAxleVan
15            && currentPoint != frontLeft)) {
16            // clear index for previous point
17            displayIndex(currentProgramm, lastPoint, BLACK);
18        }
19        checkMeasurementPoint(currentProgramm, currentPoint);
20        // set first iteration to false if the programm has ran
21        // at least once
22        if (currentPoint == centerWeight) {
23            firstIteration = false;
24        }
25        if (firstIteration == true) {
26            maxVal = 0;
27        }
28        // prevent carry over of higher maxValues from previous
29        // point if measurement is redone
30        if (firstIteration == false) {
31            maxVal = measurementData[currentPoint].value;
32        }
33        completed = false;
34    }
35 }
```

Listing 6.6: Auswahl des nächsten Messpunktes

Mit der `checkMeasurementPoint` Funktion wird überprüft, ob der ausgewählte Messpunkt im aktuellen Programm valide ist. Ist dies nicht der Fall, wird die Funktion erneut aufgerufen, bis ein korrekter Messpunkt ausgewählt ist. Auf diese wird im Abschnitt der jeweiligen Programme genauer eingegangen.

6.3.3. Anhänger mit einer Achse

Im Programm Anhänger mit einer Achse werden die beiden Messpunkte für die Hinterräder nicht benötigt. In der `checkMeasurementPoint` Funktion wird dementsprechend geprüft, ob hinten links oder hinten rechts ausgewählt wurde. Ist dies der Fall, wird der Enumerator weiter gezählt und der nächste Messpunkt aufgenommen.

```
1 // check, if the current measurement point is a valid point
2 void checkMeasurementPoint(Programm currentProgramm,
3                             MeasurementPoint currentPoint) {
4
5     if (currentProgramm == oneAxleHitch && (currentPoint == rearLeft
6         || currentPoint == rearRight || currentPoint == leftCenter
7         || currentPoint == rightCenter)) {
8         nextMeasurementPoint();
9     }
10 }
```

Listing 6.7: Überprüfung der Messpunkte im Anhänger mit einer Achse Programm

Zusätzlich ist die Gewichtsverteilung überflüssig, da diese direkt aus dem Messwert für die beiden Räder entnommen werden kann.

6.3.4. Anhänger mit Doppelachse

Das Programm für Anhänger mit einer Doppelachse bedient sich jedem möglichen Messpunkt. Dementsprechend muss keiner übersprungen werden. Die späteren Messpunkte `leftCenter` und `rightCenter` dienen der Darstellung der Gewichtsverteilung, der Punkt `centerWeight` zeigt das Gesamtgewicht an.

6.3.5. Fahrzeug mit zwei Achsen und weitem Radstand

Da Fahrzeuge keine Deichsel besitzen, ist der erste aufgenommene Messpunkt das linke Vorder-
rad. Deswegen muss beim Programmstart der erste Enumerator für die Deichsel übersprungen
werden und auf frontLeft gesetzt werden.

```
1
2  void checkMeasurementPoint(Programm currentProgramm,
3                               MeasurementPoint currentPoint) {
4
5     // van has no hitch, so the next point will be front Left
6     if (currentProgramm == twoAxleVan && currentPoint == hitch) {
7         nextMeasurementPoint();
8     }
9 }
```

Listing 6.8: Überprüfung auf validen Messpunkt

Die Gewichtsverteilung und das Gesamtgewicht werden analog zum Anhänger mit zwei Achsen
an den identischen Punkten dargestellt.

6.3.6. Berechnen der Ergebnisse

Die Messergebnisse werden durch die `safeWeight()` Funktion in eine Liste gespeichert. Um das Gesamtgewicht zu berechnen, wird mit einer Schleife die gesamte Liste aufsummiert. Dies funktioniert auch bei Programmen, die Messpunkte überspringen, da in diesem Fall der Wert in der Liste null ist. Für die Gewichtsverteilung und die Achslast werden explizit die jeweiligen Messpunkte summiert.

```
1 // sum up all measurement points of current programm
2 void sumTotalWeight() {
3     totalResult = 0;
4     for (int i = hitch; i < centerWeight; i++) {
5         totalResult += measurementData[i].value;
6     }
7 }
8
9 // calculate the weight for the left side tires
10 void leftResultWeight() {
11     leftResult = 0;
12     leftResult = measurementData[frontLeft].value +
13                 measurementData[rearLeft].value;
14 }
```

Listing 6.9: Berechnung der Ergebnisse

Analog zur `leftResultWeight()` Funktion gibt es eine `rightResultWeight()` Funktion, welche die Messwerte der rechten Fahrzeugseite summiert. Abhängig vom gewählten Displaytyp werden die Ergebnisse entweder als Text durch Programmierung der Pixel oder durch Ansteuerung der entsprechenden Segmente ausgegeben.

6.3.7. Darstellung auf dem Display des Prototyps

Auf dem Pixel TFT Display des Prototypen können mit der Adafruit_GFX Bibliothek simple Geometrien angezeigt werden, mit denen ein Fahrzeug oder ein Anhänger dargestellt werden kann. Dafür werden für jede Geometrie Koordinaten hinterlegt. Die `displayIndex()` Funktion ruft die `drawTriangle()` Funktion auf, welche an den Koordinaten, die mit der `displayIndex()` Funktion vorgegeben werden, ein Dreieck in einer vorgegebenen Farbe zeichnet.

```
1 // function to draw a triangle indicator
2 void drawTriangle(int x, int y, uint16_t colour) {
3     tft.fillTriangle(x, y, x - 6, y + 9, x + 6, y + 9, colour);
4 }
5
6 // index pointer hitch
7 void displayIndex(Programm currentProgramm,
8                   MeasurementPoint aktivePoint,
9                   uint16_t colour)
10 if (aktivePoint == hitch) {
11     drawTriangle(coordinateTrailer.IndexH.x,
12                 coordinateTrailer.IndexH.y, colour);
13 }
```

Listing 6.10: Hilfsfunktion zum Zeichnen von Dreiecken als Index

Über die Variable `colour` im Funktionsaufruf kann entschieden werden, ob das Dreieck sichtbar ist oder nicht. Wird eine Geometrie in der Hintergrundfarbe des Displays gezeichnet, wird diese unsichtbar. Auf dieselbe Art wird ein abgerundetes Viereck als Fahrzeugmodell verwendet. Auch die Messergebnisse werden an vorgegebenen Koordinaten mit dem Aufruf `tft.print(Value)` angezeigt. Zum Löschen der Messwerte auf dem Display wird ein Rechteck in der Hintergrundfarbe an derselben Stelle gezeichnet.

In Abbildung 21 sind beispielhaft die Design für einen Anhänger mit zwei Achsen und für ein Fahrzeug dargestellt.

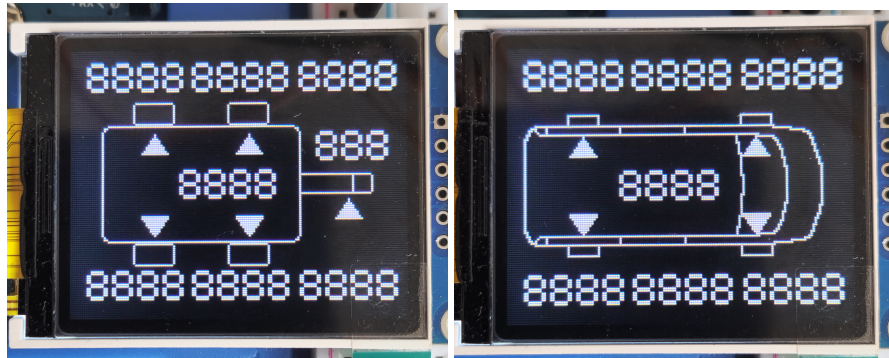


Abbildung 21.: Pixeldarstellung eines Anhängers mit zwei Achsen und einem Fahrzeug

6.3.8. Bedienung der Waage

Damit die Bedienbarkeit getestet werden kann, sind auf dem Steckbrett drei Taster verkabelt, die die Knöpfe am finalen Produkt simulieren. Jeder der drei Knöpfe ist mit einer Doppelfunktion belegt. Abhängig davon, wie lange ein Knopf gedrückt wird, wird ein unterschiedlicher Befehl ausgeführt. Im Folgenden wird beispielhaft am Delete Button dargestellt, welche Funktionen durch das Betätigen des Knopfes ausgelöst werden können.

```

1 // if delete button is pressed short,
2 // delete the current displayed value and reset the value
3 void functionDelete(Programm currentProgramm,
4                     MeasurementPoint currentPoint) {
5     clearWeightDisplay(currentProgramm, currentPoint);
6     maxVal = 0;
7 }
8
9 // if delete button is pressed long, clear display,
10 // delete all values and start again
11 void functionDeleteLong(Programm currentProgramm,
12                        MeasurementPoint currentPoint) {
13     startAgain(currentProgramm);
14     for (int i = frontLeft; i < numMeasurementPoints; i++) {
15         measurementData[i].value = 0;
16     }
17 }

```

Listing 6.11: Funktionen des Delete Knopfes

Der maxVal Wert ist der Messwert, der auf dem Display angezeigt wird. Durch kurzes Betätigen des Knopfes wird dieser Wert auf null zurückgesetzt. Die startAgain Funktion, die beim langen Betätigen ausgelöst wird, setzt den aktuellen Messpunkt auf den Startpunkt zurück und löscht sämtliche gesammelte Messwerte, sodass ein sauberer Neustart ausgeführt wird. Ob der Knopf kurz oder lange betätigt wurde, wird mit der buttonPress Funktion ermittelt.

```
1  void buttonPress(Input input, int pin, Programm currentProgramm,
2      MeasurementPoint currentPoint) {
3      startTime = millis();
4      while (digitalRead(pin) == HIGH) {
5      }
6      unsigned long pressDuration = millis() - startTime;
7      if (pressDuration > longPressDuration) { // long button press
8          currentInput = static_cast<Input>(input + 1);
9          if (input == sel){
10             functionSelectLong(currentProgramm, currentPoint);
11         }
12         if (input == del){
13             functionDeleteLong(currentProgramm, currentPoint);
14         }
15         if (input == on){
16             functionOnLong(currentProgramm, currentPoint);
17         }
18     }
19     else { // short button press
20         currentInput = input;
21         if (input == sel) {
22             functionSelect(currentProgramm, currentPoint);
23         }
24         if (input == del) {
25             functionDelete(currentProgramm, currentPoint);
26         }
27         if (input == on) {
28             functionOn(currentProgramm, currentPoint);
29         }
30     }
31 }
```

Listing 6.12: Funktionen der Knöpfe

6.3.9. Weitere Funktionen

Aus Komfortgründen soll eine `autoSwitch()` Funktion integriert werden. Diese soll nach einer erfolgreichen Messung automatisch auf den nächsten Messpunkt switchen. Somit kann zumindest eine Fahrzeugseite in einem Durchgang gemessen werden, ohne dass der Fahrer dafür aussteigen muss um die Waage neu zu platzieren. Dafür wird die Variable `autoSwitchValue` eingeführt. Wenn dieser Wert überschritten wurde und anschließend die Waage nicht mehr belastet wird, wird die `nextMeasurementPoint` Funktion aufgerufen. Mit einem `autoSwitchValue` von 20 kg und einer Untergrenze von 0,5 kg konnte ein zuverlässiger Betrieb erreicht werden.

```
1 // switch automatically to next measurement point
2
3 void autoSwitch() {
4     if (maxVal > autoSwitchValue && data < 0.5
5         && currentPoint != centerWeight) {
6         nextMeasurementPoint();
7     }
8 }
```

Listing 6.13: Autoswitch Funktion

Ist eine Messreihe abgeschlossen, besteht die Möglichkeit, einzelne Messpunkte auszuwählen und den Messwert erneut aufzunehmen, falls der Benutzer der Meinung ist, dass der Messwert inkorrekt sei. Hierfür muss die `autoSwitch()` Funktion deaktiviert sein, da sie ansonsten durchgehend den nächsten Messpunkt auswählt, weil bereits ein Messwert über dem `autoSwitchValue` gespeichert ist. Dies wird über eine Wahrheitsabfrage erzielt. Wird eine Programm von vorne gestartet, wird die `firstIteration` Variable auf `true` gesetzt. Wenn das Gesamtgewicht ermittelt wurde, setzt die `checkMeasurementPoint()` Funktion die Variable auf `false`, wodurch die `autoSwitch()` Funktion deaktiviert wird. Über die `firstIteration` Variable wird ebenfalls gesteuert, ob beim Auswählen eines Messpunktes die `maxVal` Variable auf `null` gesetzt wird oder sie das zuvor gespeicherte Messergebnis annimmt.

7. Festlegung des Funktionsprinzips

In diesem Abschnitt werden die Erfahrungen aus den Prototypen ausgewertet um eine finale Entscheidung treffen zu können, mit welcher Messtechnik unsere Waage arbeiten soll. Außerdem werden weiteren Komponenten festgelegt, sodass am Ende feststehen wird, aus welchen Bauteilen das fertige Produkt zusammengesetzt wird.

7.1. Testen der Prototypen

Die Prototypen mit dem Drucksensor und mit dem Kraftsensor werden mit identischen Gewichten getestet, deren Gewicht zuvor mit einer Waage aus dem Lager und bei leichteren Gewichten mit einer Feinwaage festgehalten wird. Es werden Messreihen aufgestellt, anhand derer die Genauigkeit der Messprinzipien ermittelt werden kann. Dabei kommen folgende Gewichte zum Einsatz:

- 16 kg Gewicht aus Gusseisen
- 15,8 kg Gewicht aus Gusseisen
- Eimer mit Streusand und einem Gewicht von 5,24 kg
- Dose mit Schmierfett und einem Gewicht von 1,68 kg
- Aluminiumblock mit einem Gewicht von 0,5216 kg
- M16 Schraube mit einem Gewicht von 0,0718 kg

Bei den Kraftsensoren ist die Wiegefläche groß genug, um eine Kombination mehrerer Gewichte zu testen. Deshalb werden Gewichte gemessen, die einer Kombination der vorhandenen Gewichten entspricht.

7.1.1. Drucksensor

Die Messreihe des Drucksensors ist in Tabelle 7.1 dargestellt. Es wird der Mittelwert aus zehn Messungen mit beiden Platten genommen. Die gesamte Messreihe ist im Anhang zu finden.

Gewicht	Mittelwert große Platte	Mittelwert kleine Platte
16 kg	15,979 kg	16,025 kg
15,8 kg	15,669 kg	15,807 kg
1,68 kg	1,441 kg	1,634 kg
0,521 kg	0,433 kg	0,493 kg

Tabelle 7.1.: Mittelwerte der Messreihe des Drucksensors

Fazit

Die Bestimmung des Gewichts mit einem Drucksensor und einem Fluid befüllten Kissen funktioniert zuverlässig. Bei kleineren Gewichten gibt es eine größere Abweichung als bei schwereren. Bei schweren Fahrzeugen sollte dies dementsprechend kein Problem darstellen. Mit einem soliden Gehäuse, in dem das Kissen stabiler liegt, kann der wackelige Aufbau vermieden werden. Mit professioneller Fertigung können weniger und kürzere Schläuche verwendet werden und die Wiegefläche wird konstanter den Druck in das System übertragen können. Wenn die Größe der Auflagefläche festgelegt ist und der maximale Druck im System bekannt ist, kann ein Drucksensor mit einem geringeren Maximalwert verwendet werden. Dadurch wird die Genauigkeit noch einmal erhöht.

Zusätzlich spricht für ein Produkt mit einem Drucksensor, dass wir ein damit ein Alleinstellungsmerkmal erreichen und uns von der Konkurrenz abheben können.

Negativ ist jedoch, dass der Aufbau komplex ist und bei der Fertigung des Kissens sichergestellt werden muss, dass dieses nicht beschädigt werden kann oder unter der Belastung versagt.

7.1.2. Kraftsensor

Es werden Messreihen mit folgende Kraftsensoren aufgenommen:

- 2000 kg mit 0,05 % FS
- 100 kg mit 0,05 % FS
- 750 kg mit 0,3 % FS

Die gesamten Messreihen sind im Anhang zu finden. Es wurden jeweils zehn Messungen pro Gewicht durchgeführt. Dafür wurde in der Software die Anzahl der Readings so gewählt, dass für fünf Sekunden das Gewicht aufgenommen wird, damit das Gewicht in Ruhe ist. Als erstes wird der Kraftsensor mit 100 kg getestet, da bei ihm die größte Genauigkeit zu erwarten ist. in Tabelle 7.2 werden der Mittelwert aus den zehn Messungen sowie die Abweichung von diesem zum bekannten Gewicht dargestellt.

Bekanntes Gewicht	Mittelwert	Messabweichung %
31,8 kg	31,811 kg	0,036%
18,2 kg	18,223 kg	0,116%
16,0 kg	16,057 kg	0,355%
15,8 kg	15,851 kg	0,324%
5,24 kg	5,281 kg	0,672%
1,68 kg	1,669 kg	-0,648%
0,5216 kg	0,514 kg	-1,392%
0,0728 kg	0,071 kg	-2,047%

Tabelle 7.2.: Messreihe 100kg Kraftsensor

Der 2000 kg Kraftsensor besitzt dieselbe prozentuale Messabweichung wie der zuvor getestete Kraftsensor. Aufgrund des höheren Maximalgewichts wird hier eine höhere Messabweichung erwartet. Mittelwert und Messabweichung der Messreihe für den 2000 kg Kraftsensor sind in Tabelle 7.3 dargestellt.

Aufgrund der Bauform sind nur der 750 kg und der 1500 kg Kraftsensor potentiell für die Waage geeignet. Sie besitzen von den getesteten Kraftsensoren die niedrigste Genauigkeit. Der 750 kg Kraftsensor besitzt dabei nur die halbe Messabweichung. Deswegen wird dieser getestet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.4 aufgelistet.

Bekanntes Gewicht	Mittelwert	Messabweichung %
31,8 kg	31,838 kg	0,119%
18,2 kg	18,243 kg	0,229%
16 kg	16,055 kg	0,342%
15,8 kg	15,852 kg	0,330%
5,24 kg	5,226 kg	-0,390%
1,68 kg	1,669 kg	-0,659%
0,5216 kg	0,514 kg	-1,440%
0,0728 kg	0,071 kg	-2,461%

Tabelle 7.3.: Messreihe 2000kg Kraftsensor

Bekanntes Gewicht	Mittelwert	Messabweichung %
31,8 kg	31,901 kg	0,316%
18,2 kg	18,297 kg	0,526%
16 kg	16,090 kg	0,561%
15,8 kg	15,872 kg	0,455%
5,24 kg	5,265 kg	0,356%
1,68 kg	1,666 kg	-0,852%
0,5216 kg	0,511 kg	-2,045%
0,0728 kg	0,071 kg	-3,031%

Tabelle 7.4.: Messreihe 750kg Kraftsensor

Fazit

Wenn die Kraftsensoren korrekt kalibriert sind, funktionieren alle sehr genau. Bei leichteren Gewichte zeigt sich eine stärkere Messabweichung als bei den schweren Gewichten. Da der Kalibrierungsfaktor mit dem schwersten Gewicht ermittelt wurde, ist dieses Verhalten zu erwarten, da die Kraftsensoren nicht zu 100 % linear arbeiten.

Es fällt jedoch auf, dass sie schnell dazu neigen, von ihrem Nullwert abzuweichen. Liegt der Kraftsensor in der Sonne, zeigt er bereits nach weniger als einer Minute ohne Belastung bereits einen Messwert von über 2 kg an. Wird die Software erneut genullt, kann kurzzeitig wieder zuverlässig gewogen werden. Dies widerspricht der Theorie, dass Temperatureinflüsse durch die Wheatsonsche Brückenschaltung ausgeglichen werden sollten. Dieses Verhalten kann zwei Ursachen haben. Entweder ist keine Vollbrücke verbaut oder der Drift ist nicht auf die Temperatureinflüsse zurückzuführen.

7.1.3. Piezoelektrische Keramik

Die piezoelektrischen Keramiken werden zunächst darauf getestet, wie reproduzierbar ihre Messergebnisse mit demselben Gewicht sind. Dafür werden mit dem Oszilloskop die Spannungskurven abgenommen, die entstehen, wenn eine Kraft auf die Keramik einwirkt. In Tabelle 7.5 sind die maximalen Spannungen dargestellt, die bei der Belastung mehrerer piezoelektrischer Keramiken gemessen wurden. Es wurden von beiden Typen von Keramiken jeweils zwei getestet und jeweils zehn Mal mit dem 16 kg Gewicht belastet.

Messung	PZT-4 1	PZT-4 2	PZT-8 1	PZT-8 2
1	1,39 V	1,21 V	0,97 V	0,69 V
2	2,01 V	1,38 V	1,34 V	0,86 V
3	0,74 V	1,94 V	1,29 V	1,19 V
4	0,97 V	0,71 V	1,27 V	1,04 V
5	0,87 V	1,38 V	0,76 V	0,89 V
6	1,13 V	2,04 V	1,21 V	0,81 V
7	1,23 V	2,05 V	1,36 V	0,73 V
8	1,82 V	1,05 V	0,73 V	1,08 V
9	1,37 V	2,05 V	0,96 V	1,23 V
10	1,13 V	1,39 V	1,38 V	0,85 V
Mittelwert	1,27 V	1,52 V	1,13 V	0,94
Standardabweichung	0,38	0,45	0,24	0,18

Tabelle 7.5.: Messreihe piezoelektrische Keramiken

Es ist zu erkennen, dass keine Muster zu erkennen sind. Jede Keramik liefert bei Belastung stark voneinander abweichende Ergebnisse. Dabei sind die Spannungen bei den PZT-4 Keramiken etwas höher, wie auch aus der Theorie zu erwarten ist.

Fazit

Das Verhalten der piezoelektrischen Keramiken erfordert eine impulsartige Belastung. Wird die Kraft zu langsam eingeleitet, entsteht eine geringere Spannung als bei einem kurzen Impuls. Dies hat zur Folge, dass das selbe Gewicht deutlich unterschiedliche Spannungen erzeugen kann, wodurch eine natürliche Messunsicherheit entsteht. Dies ist auch bei der CWC zu erkennen, welche mit solchen Keramiken funktioniert.

Bereits bei der ersten Keramik war ersichtlich, dass wir keine reproduzierbaren Ergebnisse erzeugen können. Die wiederholte Belastung mit demselben Gewicht erzeugte stets unterschied-

liche Spannungskurven. Daher werden piezoelektrische Keramiken für unsere Anwendung nicht mehr in Frage kommen.

Zusätzlich wird die Anwendung von piezoelektrischen Keramiken durch die Gefahr der Überspannung erschwert. Es bedarf mehr Entwicklungsaufwand für die Platine, wie am Vergleich der CWC zur Obelink Statera zu sehen ist. Für die Spannungsabnahme werden jeweils zwei Kupferplättchen benötigt, wodurch auch die Anzahl der zusätzlichen Komponenten erhöht wird.

7.1.4. Fazit

Sowohl der Drucksensor als auch die Kraftmesssensoren liefern zuverlässige Ergebnisse. Dabei arbeiten die Kraftmesssensoren nochmal genauer als der Drucksensor und sind zusätzlich noch preisgünstiger.

7.2. Festlegen der Lösung

Nachdem die Prototypen ausgewertet sind, kann sich auf eine finale Lösung festgelegt werden.

7.2.1. Messprinzip

Da sich sowohl der Drucksensor als auch die Kraftsensoren als zuverlässige Lösung herausgestellt haben, erfolgt die Auswahl anhand anderer Kriterien.

Für die Funktionsweise mit dem Drucksensor konnte in der Zeit kein Supplier gefunden werden, der im Rahmen des angestrebten Preises gewährleisten will, dass sie ein solches Produkt fertigen können. Damit fällt dieses Funktionsprinzip weg und wird nicht weiter verfolgt.

Bei den Kraftsensoren wird kein komplexer Aufbau benötigt. Bereits für die Prototypen wurden entsprechende Kraftsensoren bei einem Hersteller gefunden. Auf diesen kann zuverlässig zurückgegriffen werden, weshalb die Verfügbarkeit und der weniger komplexe Aufbau eindeutig für die Kraftsensoren sprechen.

Daraus ergibt sich, dass unser Produkt mit Kraftsensoren funktionieren soll.

7.2.2. Display

Die Entscheidung für ein Display fällt zwischen einem Pixel Display und einem individuellem Segment Display. Pixel Displays besitzen eine deutlich bessere Verfügbarkeit und sind preisgünstiger, da für die individuellen Segmente eigene Formkosten dazukommen. Bei einer Anfrage bei der Fa. admatec GmbH kam heraus, dass sich Formkosten auf ca. 4000 € belaufen würden. Der Stückpreis würde bei unter 5 € liegen. Pixeldisplays hingegen kosten je nach Auflösung unter 2 € das Stück und es kommen keine zusätzlichen Formkosten dazu.

Da auch großer Wert auf die Optik gelegt wird, müsste das Pixeldisplay eine entsprechend hohe Auflösung besitzen. Aufgrund der Erfahrungen mit dem Display für den Prototypen ist bekannt, dass mindestens die doppelte Anzahl an Pixeln auf dieselbe Größe notwendig ist, um ein ansprechendes Design vorweisen zu können. Individuelle Segment Displays besitzen keine definierte Auflösung, da die gesamte Kontur des Segments aufleuchtet. Wenn wie in unserem Fall genau bekannt ist, welche Formen auf dem Display dargestellt werden sollen, kann mit segment Displays ein deutlich ansprechenderes Aussehen ermöglicht werden.

Aufgrund des günstigeren Stromverbrauchs und des ansprechenderen Designs kommt für die Waage trotz der hohen Kosten nur ein LCD Display mit individuellen Segmenten in Frage. Es wurde ein Hersteller gefunden, der unsere Displayschematik umsetzen kann und zusätzlich bei der Ansteuerung des Display mit der Software helfen wird.

LCD Displays gibt es als positiv oder als negativ Typ. Dabei sind die Segmente dann entweder schwarz beim positiven Typ oder weiß beim negativen Typ. Abhängig davon ist die Hintergrundfarbe, damit die Segmente eindeutig zu erkennen sind. Es wird ein helles Display angestrebt, dementsprechend wird auch ein LCD Display im Positivmodus gewählt. Zusätzlich können LCD Displays mit einer Hintergrundbeleuchtung ausgestattet werden. Aufgrund des erhöhten Stromverbrauchs und der normalen Anwendungszeit am Tag wird auf eine Hintergrundbeleuchtung verzichtet.

Zusätzlich muss bei einem LCD Display festgelegt werden, aus welcher Blickrichtung dieses betrachtet werden soll. Wir streben an, dass man nicht direkt über der Waage stehen muss, um das Display ablesen zu können. Im Idealfall kann dieses auch aus bis zu zwei Metern Entfernung vor der Waage abgelesen werden. Dies entspricht einer viewing direction von 6 o'clock.

7.2.3. Stromversorgung

Als Stromversorgung wird sich aufgrund der guten Verfügbarkeit für einen 3,7 V Akku entschieden. Diese gibt es bereits in vielen verschiedenen Größen und Kapazitäten. Bei einer Spannung von 3,7 V kann das Display direkt versorgt werden. Für den Mikroprozessor kann die Spannung auf 5 V hochgestuft werden. Alternativ gibt es auch einzelne Mikroprozessoren, die mit 3,3 V betrieben werden können. Auch die Kraftmesssensoren können bereits mit 3 V betrieben werden. Hier ist es jedoch sinnvoll, diese mit einer höheren Spannung zu betreiben, da diese bei höherer Versorgungsspannung genauere Messergebnisse liefern.

7.3. Zusätzliche Bauteile

Die einzelnen Bauteile der Waage können nicht in der eigenen Firma gefertigt werden. Dementsprechend wird bei unterschiedlichen Lieferanten nach Lösungen gesucht.

7.3.1. Kraftsensoren

Aufgrund ihrer Bauform kommen die 1500 kg und die 750 kg Kraftsensoren von Sensorcon in Frage. Es wird ein Modell mit zwei Füßen angestrebt. Um das zulässige Maximalgewicht von 1500 kg zu gewährleisten, ist die Auswahl von zwei 750 kg Kraftsensoren sinnvoll. Sie besitzen einen Überlastschutz von 150 %, wodurch genügend Sicherheit vorhanden ist. Die 750 kg Kraftsensoren haben nur die halbe Messabweichung im Vergleich zu den 1500 kg Kraftsensoren, weswegen sie auch aus technischer Sicht zu bevorzugen sind.

7.3.2. Display

Das Display wird von Shenzhen Baolaiya Opto-Electronics Co., Ltd. in China produziert werden. Das finale Displaydesign ist in Abbildung 22 zu sehen. Die Displayfläche ist 50 mm × 58 mm groß. Mit den Pins zur Stromversorgung und Ansteuerung sowie einem Rahmen um das Display herum ist das Gesamtmaß 56 mm × 68 mm groß.

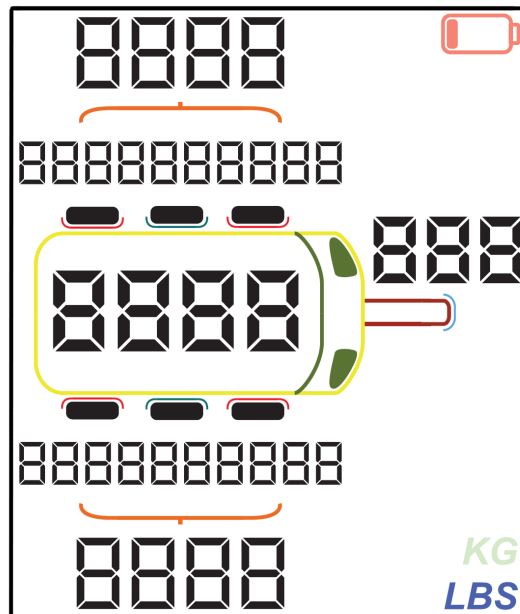


Abbildung 22.: LCD Display mit allen Segmenten

Gleichfarbige Segmente werden zusammen geschaltet. Mit diesen Segmenten können die gewünschten Programme dargestellt werden. Die zehn Zahlen auf beiden Fahrzeugseiten können in Vierergruppen verwendet werden, sodass entweder die vorderen und hinteren vier Ziffern gleichzeitig zur Darstellung von Gewichten über 1000 kg verwendet werden können oder die mittleren vier Ziffern bei einem Anhänger mit einer Achse. Die Klammern, welche sich um jeden Reifen und vorne an der Deichsel befinden, dienen als Indikatoren. Diese können blinken und dadurch signalisieren, welcher Messpunkt gerade aktiv ist.

Bei der Deichsel werden keine vier Ziffern benötigt, da die Stützlast der Anhängerkupplung bei Fahrzeugen derzeit 350 kg nicht überschreitet. [1]

In Abbildung 23 sind die verwendeten Segmente für die einzelnen Programme dargestellt.

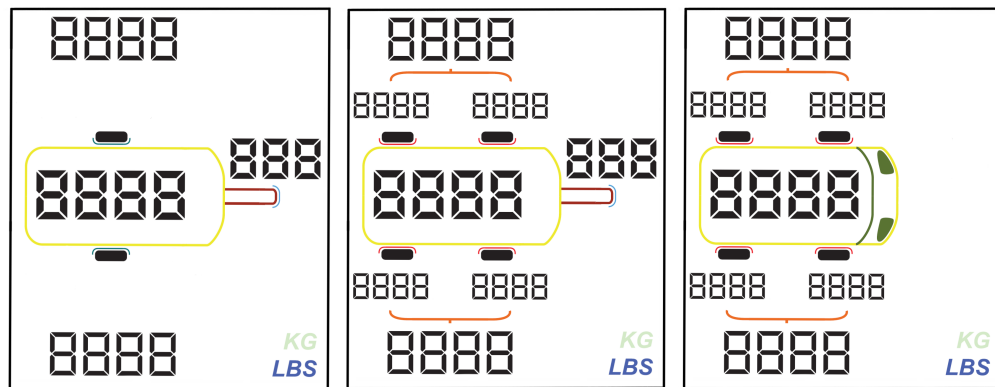


Abbildung 23.: Verwendung der Segmente für die einzelnen Programme

Die mittleren Ziffern, die das Gesamtgewicht anzeigen, werden erst nach Abschluss der gesamten Messung angezeigt. Selbiges gilt für die geschweiften Klammern und die Ziffern am oberen und unteren Rand, über welche die Gewichtsverteilung in den Programmen für Anhänger mit zwei Achsen und für Fahrzeuge angezeigt wird. Die Ziffern an den Rädern werden nach Abschluss der jeweiligen Messung aktiv. Dadurch wird der Stromverbrauch des Displays minimal gehalten.

Für die Stromversorgung und Ansteuerung der Segmente werden insgesamt 70 Pins benötigt. Diese sitzen an der kurzen Seite über- und unterhalb des Displays, wie in Abbildung 24 zu sehen ist.

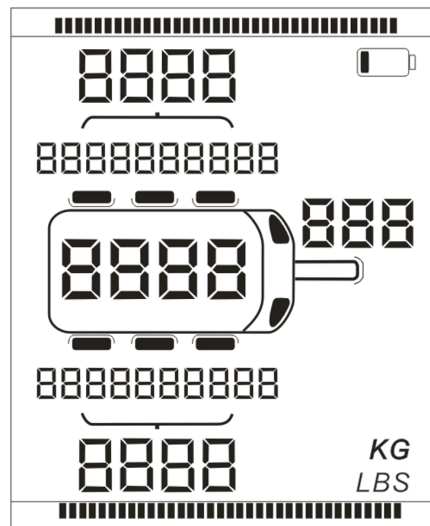


Abbildung 24.: Gesamtansicht des Displays mit sichtbaren Pins

7.3.3. Bedienung

Aufgrund der Kundenmeinung werden drei Druckknöpfe verbaut werden. Aus dem Vergleich der Konkurrenzprodukte wird als Fazit gezogen, dass die größeren Tasten mit längerem Hub der CWC ein angenehmeres Bediengefühl besitzen. Dementsprechend sollen bei unserer Waage möglichst große Knöpfe verbaut werden. Vorgesehen sind 12 mm Durchmesser. Dadurch wird ermöglicht, dass die Waage auch mit Handschuhen bedient werden kann. Als Taster können einfache $6\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ Drucktaster verwendet werden, auf die individuelle Kappen aufgesetzt werden können.

Um die Wasserdichte zu ermöglichen, muss dennoch eine Folie über Display und Knöpfe verklebt werden. Dies verringert den Hub und die Haptik der Knöpfe wiederum.

7.3.4. Stromversorgung

Für die Stromversorgung wird ein Akku mit 3,7 V Spannung verwendet werden. Die benötigte Kapazität ergibt sich aus dem Stromverbrauch der Kraftsensoren, des Displays und des Mikroprozessors.

Aus dem Datenblatt des Kraftsensors entnehmen wir folgende Daten:

- Eingangsimpedanz: $2000\ \Omega$
- Erregungsspannung: 3 - 10 V

Aus Gleichung 2.6 folgt ein Verbrauch von 50 mW bei einer Spannung von 10 V. Da zwei Kraftsensoren verbaut werden, verdoppelt sich der Verbrauch dementsprechend auf 100 mW.

Der Stromverbrauch wird ausgehend von dem Mikrocontroller der CWC mit maximal $200\ \mu\text{A}$ bei 5 V kalkuliert [14]. Daraus ergibt sich ein Verbrauch von 1 mW.

Für das Display wird basierend auf den Informationen über andere Segment LCD mit einem Stromverbrauch von $2\ \mu\text{A pro cm}^2$ [6] ein maximaler Verbrauch von $12\ \mu\text{A}$ bei einer geschätzten Gesamtgröße aller Segmente von 600 mm^2 berechnet. Ausgehend davon, dass im Betrieb nur 20 % der Segmente gleichzeitig in Betrieb sind, wird bei einer Displayspannung von 3 V ein Verbrauch von $7,2\ \mu\text{W}$ erreicht.

Der Gesamtverbrauch liegt somit bei ca. 101 mW. Nach Formel Gleichung 2.6 ergibt sich für eine Betriebsdauer von 20 Stunden eine benötigte Kapazität von 546 mAh. Es wird sich für einen Akku mit 800 mAh entschieden, um genügend Sicherheitsreserven zu haben.

7.3.5. Mainboard

Das Mainboard wird ebenfalls vom Hersteller des Displays gefertigt werden. Für dieses muss der Mikrocontroller noch festgelegt werden, dies geschieht jedoch nicht mehr im Rahmen dieser Arbeit. Durch die Konstruktion des Gehäuses im nächsten Kapitel werden bereits Maße für das Mainboard sowie dessen Befestigungspunkte vorgegeben werden. Somit steht für den späteren Verlauf fest, dass das Mainboard eine maximale Breite von 70 mm haben und nicht höher als 104 mm sein darf. Es wird an vier Stellen mit dem Oberteil des Gehäuses verschraubt werden. Die beiden oberen Befestigungspunkte sind mit einem Abstand von 50 mm symmetrisch zur Mittellinie in einem Abstand von 10 mm zum oberen Rand positioniert. Die beiden unteren Befestigungspunkte sind ebenfalls symmetrisch zur Mittellinie in einem Abstand von 26 mm zueinander sowie 18 mm vom unteren Rand zwischen den Bedienknöpfen positioniert.

8. Entwicklung des Gehäuses

Für die Konstruktion und Dimensionierung eines geeigneten Gehäuses haben folgende Punkte priorität:

- Größe der Wiegefläche
- Integration einer Auffahrhilfe
- Größe des Displays
- Maße der Kraftsensoren

Die Abmessungen in der Anforderungsliste gehen aus dem Vergleich mit den Konkurrenzprodukten hervor. Dennoch sind die Maße noch nicht festgelegt, sodass bei der Konstruktion ein gewisser Spielraum vorhanden ist. Vorgegeben jedoch sind die Maße des Displays, des Akkus und dem Ladeanschluss sowie der Kraftsensoren. Diese wurden bereits ausgewählt, weswegen sie in das Gehäuse integriert werden müssen.

Die Form des Gehäuses orientiert sich an der Obelink Statera. Es soll kein Absatz unter dem Display vorhanden sein. Außerdem soll das Display nicht senkrecht nach oben zeigen, damit dieses besser abgelesen werden kann, wenn man nicht direkt über der Waage steht. Angestrebt wird, dass ein 1,80 m großer Mensch aus einem Meter Entfernung das Display in einem 70° Winkel anschauen kann. Dies entspricht dem ausgewählten Blickwinkel des Displays.

8.1. Wiegefläche

Aus der Anforderungsliste geht hervor, dass eine Länge der Wiegefläche von 255 mm angestrebt wird und das Optimum bei 275 mm liegt. Eine Breite von 70 mm ist erstrebenswert, wodurch es erleichtert werden soll, auf der Waage gezielt für eine ruhige Messung stehen zu bleiben. Wird die Waage zu breit, schlägt sich dies negativ auf die Handlichkeit aus.

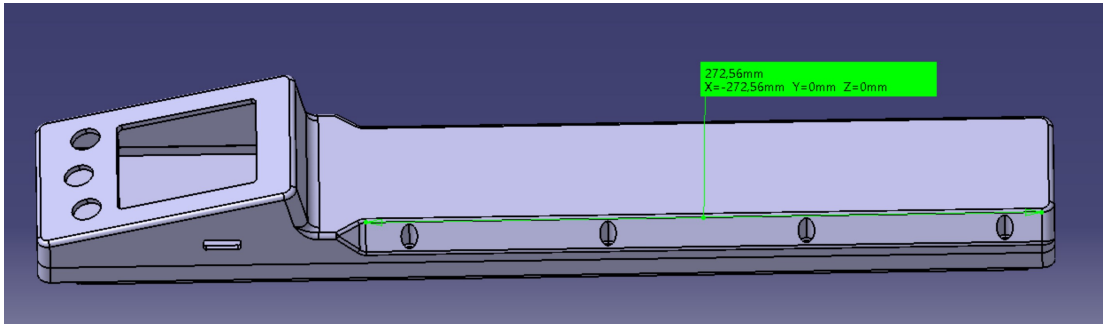


Abbildung 25.: Seitliche Sicht aus 45° auf des Gehäuses

Die Länge der Wiegefläche wird durch die Abschrägungen der integrierten Auffahrhilfe definiert, wie in Abschnitt 8.2 beschrieben ist. Die finalen Maße unserer Wiegefläche lauten 273 mm × 54 mm. Diese besitzt einen Abstand von 25 mm bis zum Boden.

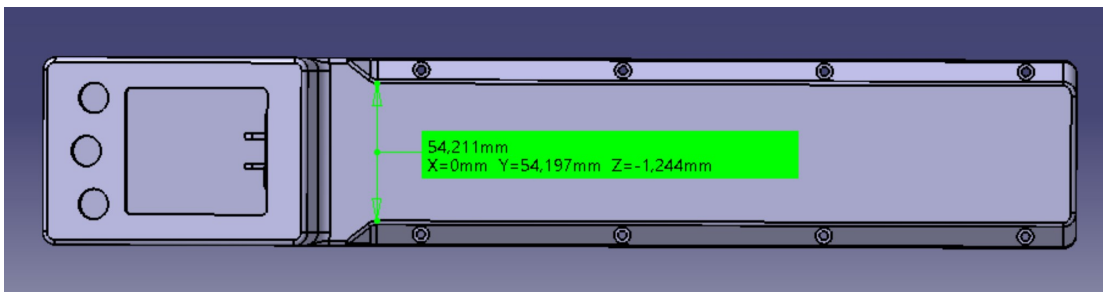


Abbildung 26.: Draufsicht auf das Gehäuse

Die Aufstandsfläche soll keinesfalls direkt bis an den Absatz vom Display gehen, damit weder das Display noch das Mainboard versehentlich durch Fehler bei der Benutzung oder Spannungen beschädigt werden. Deshalb ist ein Sicherheitsabstand vom 20 mm vorgesehen.

8.2. Integration einer Auffahrhilfe

Die Möglichkeit einer integrierten Auffahrhilfe wird durch die Dimensionen der Wiegefläche sowie der Höhe des Gehäuses beschränkt. Weil das Gehäuse aus zwei Teilen bestehen muss, kann die Abschrägung erst in der oberen Hälfte beginnen. Ansonsten würde es zu folgenden Problemen kommen:

- Die Aufstandsfläche der Waage würde zu schmal werden, sodass es erschwert ist, zuverlässig auf der Waage stehen zu bleiben.
- Die Durchgangslöcher für die Schrauben müssten in größerem Abstand zum Rand positioniert werden, da ansonsten nicht genügend Material zum Versenken der Schrauben vorhanden wäre. Dadurch würden sie jedoch mit den Kraftsensoren kollidieren.
- Alternativ kann der Winkel der Anschrägung angepasst werden. Dieser müsste jedoch so steil werden, dass kein merklicher Unterschied zu einer senkrechten Außenwand wie bei der Konkurrenz vorhanden wäre. Zusätzlich würde dadurch die Optik beeinträchtigt werden, da für die Löcher noch tiefere Aussparungen vorgesehen werden müssten.

Deswegen wird die Auffahrhilfe nur im oberen Gehäuseteil, wie in Abbildung 27 zu sehen ist, integriert. Die Seiten sind in einem Winkel von 48° angeschrägt. Sie beginnen in einer Höhe von 14 mm über dem Boden. Die Verkleinerung der Aufstandsfläche auf 54 mm ist zwar unter unserer idealen Anforderung, erfüllt aber die Mindestmaße.

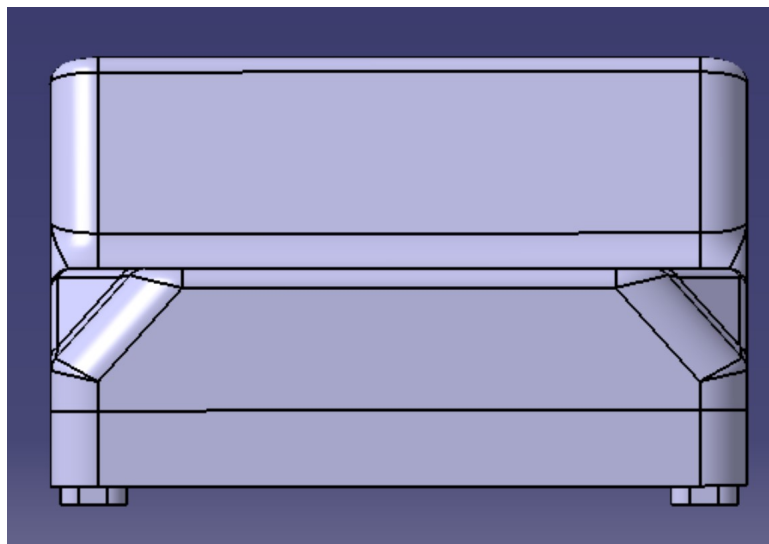


Abbildung 27.: Rückansicht der Waage mit erkennbaren Abschrägungen

Für einen sauberen Übergang zwischen Auffahrhilfe und dem erhöhten Display ist die Kante mit einer 30° Fase angeschrägt.

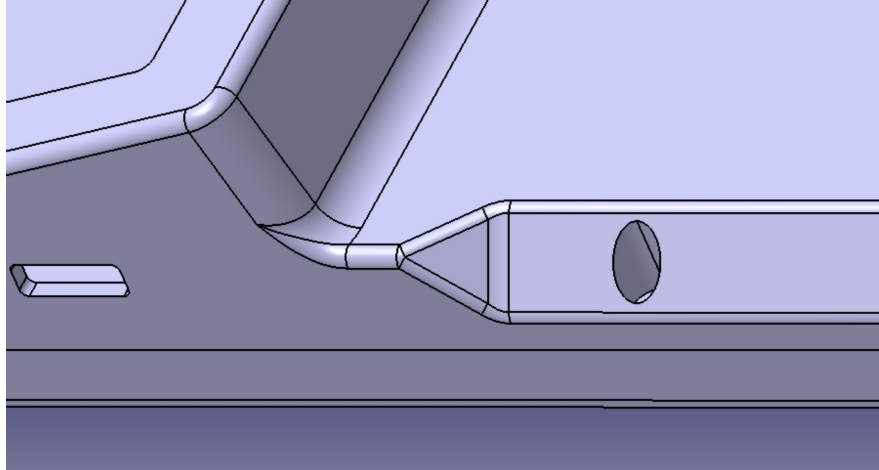


Abbildung 28.: Fase am Übergang von Auffahrhilfe zum Displayabstz

8.3. Display und Tasten

Das Display besitzt die Abmessungen $50\text{ mm} \times 58\text{ mm}$. Dementsprechend besitzt die Aussparung für dieses dieselben Maße. Die Ecken sind aus optischen Gründen mit einem Radius von 1 mm abgerundet. Da das Gesamtmaß des Displays mit $56\text{ mm} \times 68\text{ mm}$ größer ausfällt, werden die Knöpfe ausgehend von ihrem Mittelpunkt aus 13 mm unterhalb des Displays positioniert. Sie sollen einen Durchmesser von 12 mm besitzen, womit sie auch mit großen Fingern oder Handschuhen noch gut zu bedienen sein sollen. Ebenfalls aus optischen Gründen ist der mittlere Knopf um weitere 3 mm weiter in Richtung des unteren Rand verschoben. Dieser sitzt genau mittig auf dem Display, während die beiden äußeren Tasten mit einem Abstand von 42 mm zueinander platziert werden sollen.

Das Display und die Tasten werden fest auf dem Mainboard verbaut sein. Die Befestigungspunkte werden wie zuvor in Unterabschnitt 7.3.5 beschrieben positioniert und zeichnen sich im Gehäuse durch zusätzliche Zylinder aus, in deren Mitte die Schrauben zur Befestigung des Mainboard hineingeschraubt werden können.

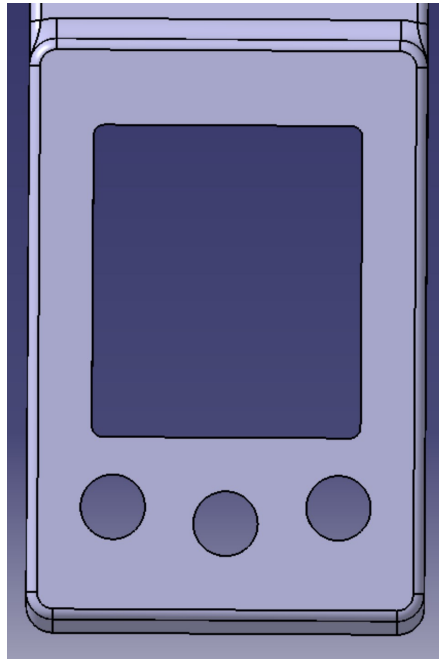


Abbildung 29.: Draufsicht auf die Aussparungen für Display und Bedienknöpfe

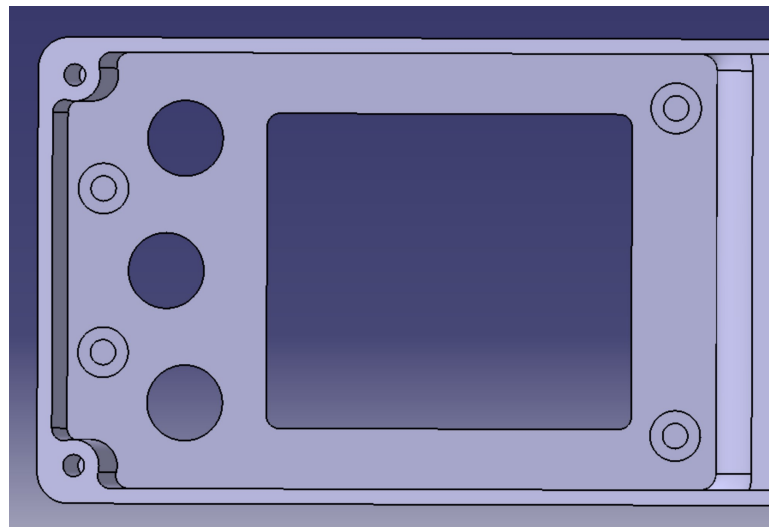


Abbildung 30.: Befestigungspunkte für das Mainboard auf der Unterseite

Die Platine muss parallel zum Display liegen. Deswegen gehen die Befestigungspunkte senkrecht von der Rückseite des Displayteils des Gehäuses ab und sind freistehend von der Außenwand und den Durchgangslöchern für den Zusammenbau des Gehäuses platziert.

8.4. Dimensionierung für die Kraftsensoren

Die Kraftsensoren besitzen einen Durchmesser von 40 mm und eine Höhe von 11,6 mm. Um das Gehäuse wasserdicht zu bekommen, müssen die Aussparungen mit einem flexiblen Material abgedichtet werden, welches unter Belastung nachgibt und die Kraft komplett an den Kraftsensor überträgt. In den Füßen wird zusätzlich ein fester Fuß aus Hartplastik eingesetzt werden, auf dem der Kraftsensor aufliegen kann.

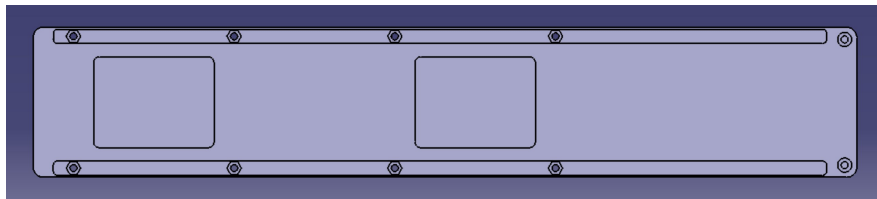


Abbildung 31.: Unterseite der Waage mit Aussparung für die Füße

Zwar werden die Kraftsensoren auf dem Aluminiumblock im oberen Teil des Gehäuses verbaut, weshalb die Füße und deren Aussparung nicht an den Durchmesser der Kraftsensoren gebunden sind, dennoch wird durch möglichst große Füße der Eindruck eines robusten Produktes vermittelt und die Waage steht auch auf unebenem Untergrund stabil.

Der Messpunkt der verwendeten Kraftsensoren befindet sich in deren Mitte, wodurch eine zuverlässige Kontaktfläche mit unterschiedlichen Bauformen gewährleistet werden kann. Zwar war bei den untersuchten Konkurrenzprodukten die Form der Füße abhängig von der verbauten Messtechnik, die deutlich breiteren Füße der Obelink Statera sorgten aber für einen deutlich verbesserten Stand. Aus dieser Beobachtung folgt die Entscheidung, auch bei unserem Produkt trotz runder Kraftsensoren keine runden Füße zu verbauen.

8.5. Akku und Ladeanschluss

Ein Selbstversuch im Büro mit der Obelink Statera ergab, dass Rechtshänder meistens die Waage mit der linken Hand greifen, damit sie mit der rechten Hand das Ladekabel anschließen könne. Deswegen soll sich der Ladeanschluss für den integrierten Akku auch auf der rechten Seite des Gehäuses befinden.

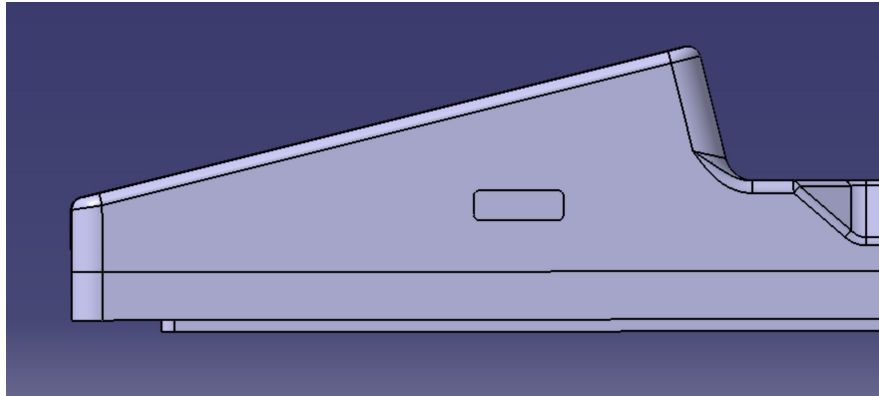


Abbildung 32.: Aussparung für den Ladeanschluss

Durch EU Richtlinien sind Hersteller dazu verpflichtet, einen USB-C Ladeanschluss zu verwenden, wenn sie ein wiederaufladbares Produkt auf den Markt bringen. Dieser besitzt die Maße $8,4\text{ mm} \times 2,6\text{ mm}$. Damit dieser problemlos angeschlossen werden kann, ist eine Aussparung von $15\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ vorgesehen.

Der ausgewählte Akku besitzt die Maße $48\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 6\text{ mm}$. Damit dieser nicht lose im Gehäuse liegt, soll er durch jeweils zwei Stege pro Seite in Position gehalten werden wie in Abbildung 33 zu sehen ist. Außerdem ist an der Stelle das Gehäuse um 1 mm tiefer, damit der Akku so tief wie möglich verbaut ist und nicht mit der Platine kollidiert.

Der Akku ist mittig im Gehäuse und 110 mm von der Vorderseite entfernt. Damit sitzt er direkt unter dem Display und kommt auch nicht mit dem Aluminiumblock in Konflikt.

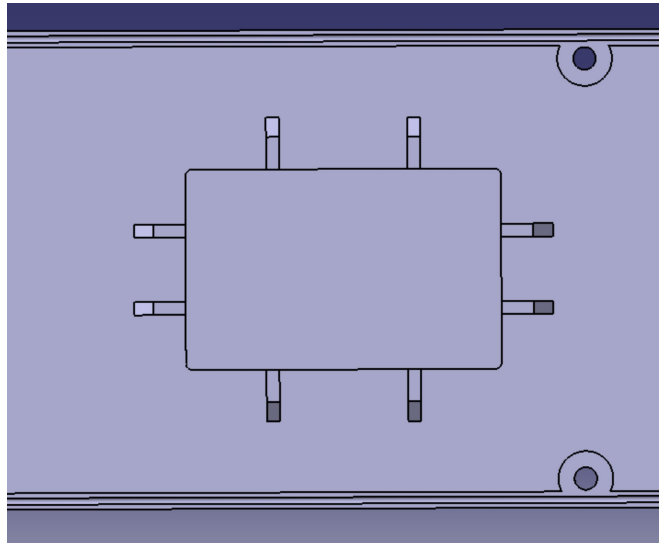


Abbildung 33.: Stege zur Positionierung des Akkus

8.6. Verbinden der Gehäusehälften

Die beiden Gehäusehälften sollen mit zehn M3 Schrauben zusammengehalten werden. Acht davon sollen mit einer Mutter geschraubt werden, die anderen zwei, welche sich unter dem Display befinden, werden direkt in dafür vorgesehene Löcher im Gehäuse geschraubt. Es sollen Zylinderkopfschrauben mit Innensechskant nach DIN EN ISO 4762 verwendet werden. Diese besitzen eine Kopfhöhe von 3 mm. Damit der Schraubenkopf nicht übersteht, sind Senkungen im Gehäuse mit einer Tiefe von 4 mm vorgesehen.

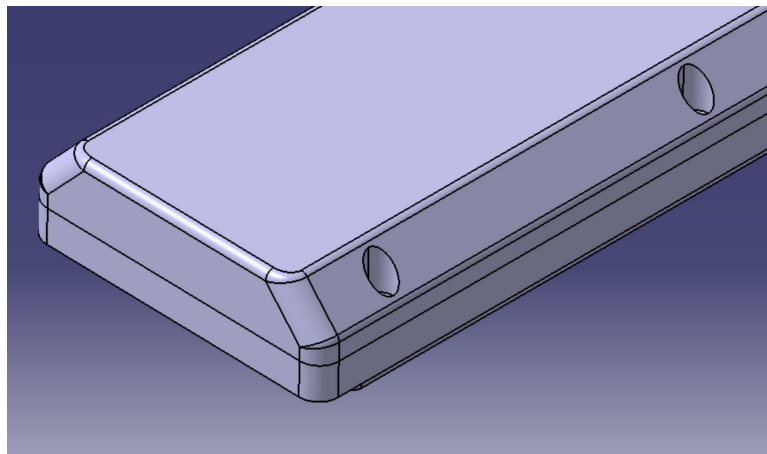


Abbildung 34.: Senkungen für die Schrauben auf der Oberseite

Auf der Unterseite sind direkt Senkungen in Sechskantform vorgesehen, die die Muttern direkt in Position halten sollen. Dies funktioniert auch bei der CWC sehr gut, sodass die Schrauben nur mit einem Innensechskantschlüssel montiert werden können.

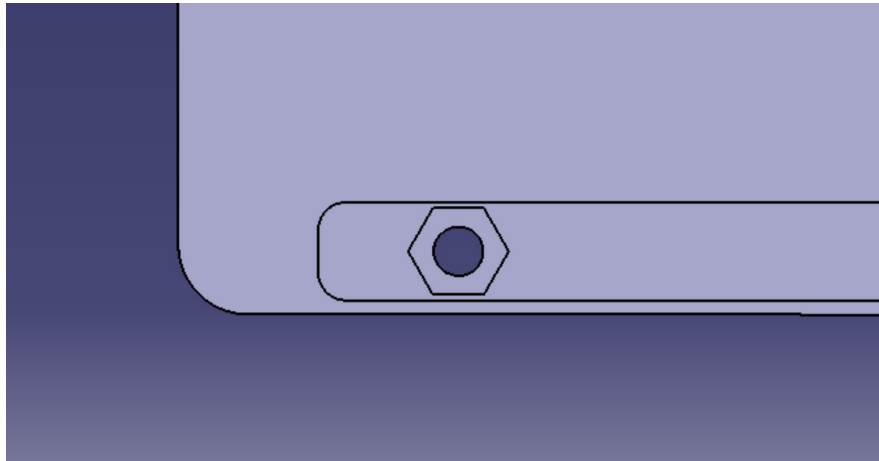


Abbildung 35.: Senkungen für die Muttern auf der Unterseite

8.7. Weitere Details

Für eine bessere Lastverteilung und Steifigkeit der Waage wird ebenfalls ein Aluminiumblock im oberen Teil des Gehäuses positioniert. Dieser soll die Abmessungen $250\text{ mm} \times 55\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ besitzen. Auf ihm sollen die Kraftsensoren angeschraubt werden.

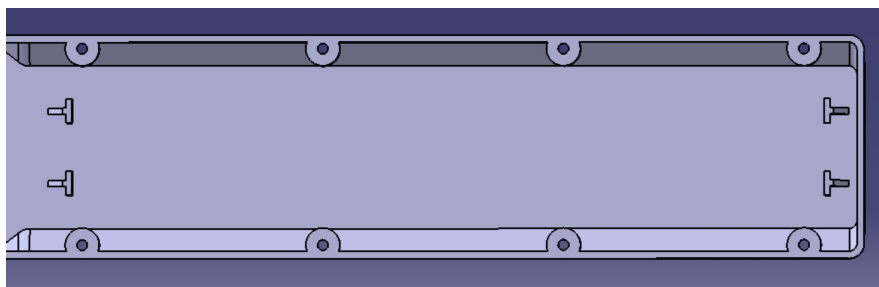


Abbildung 36.: Positionshilfen für den Aluminiumblock

Damit die Kasten der Waage durch das regelmäßige Kippen beim Wiegevorgang nicht so stark abnutzen, abrunden und dadurch Schönheitsfehler bekommen, sind auf beiden Seiten an der Unterseite zwei Stege über die gesamte Länge vorgesehen Abbildung 31. Fährt ein Fahrzeug auf die Waage und diese neigt sich zur Seite, dienen diese Stege als Kontaktfläche zum Boden.

Wenn diese Abgenutzt werden, ist dies nur an der Unterseite zu sehen und seitlich sieht das Gehäuse länger unbeschadet aus.



Abbildung 37.: Kanten zum Verhindern von übermäßigem Kippen

Damit eventuelle Nässe durch Regen gezielt von der Waage ablaufen kann, ist auf der Oberseite ein Muster eingelassen, welches an bestimmten Stellen die Möglichkeit bietet, dass Wasser oder andere Flüssigkeiten möglichst an vorgesehenen Stellen von der Waage laufen kann. Der erwartete Effekt ist nicht groß, zusätzlich dient dieser Muster auch der Optik und der Haptik, damit die Waage sich auch besser greifen lässt.

8.8. Finale Maße

Die finalen Maße des Gehäuses sind $410\text{ mm} \times 74\text{ mm} \times 48\text{ mm}$. Die Wiegefläche ist in einer Höhe von 25 mm. Das Display ist in einem Winkel von 14° nach vorne geneigt. Im Inneren ist eine Höhe von 17,1 mm vorhanden.

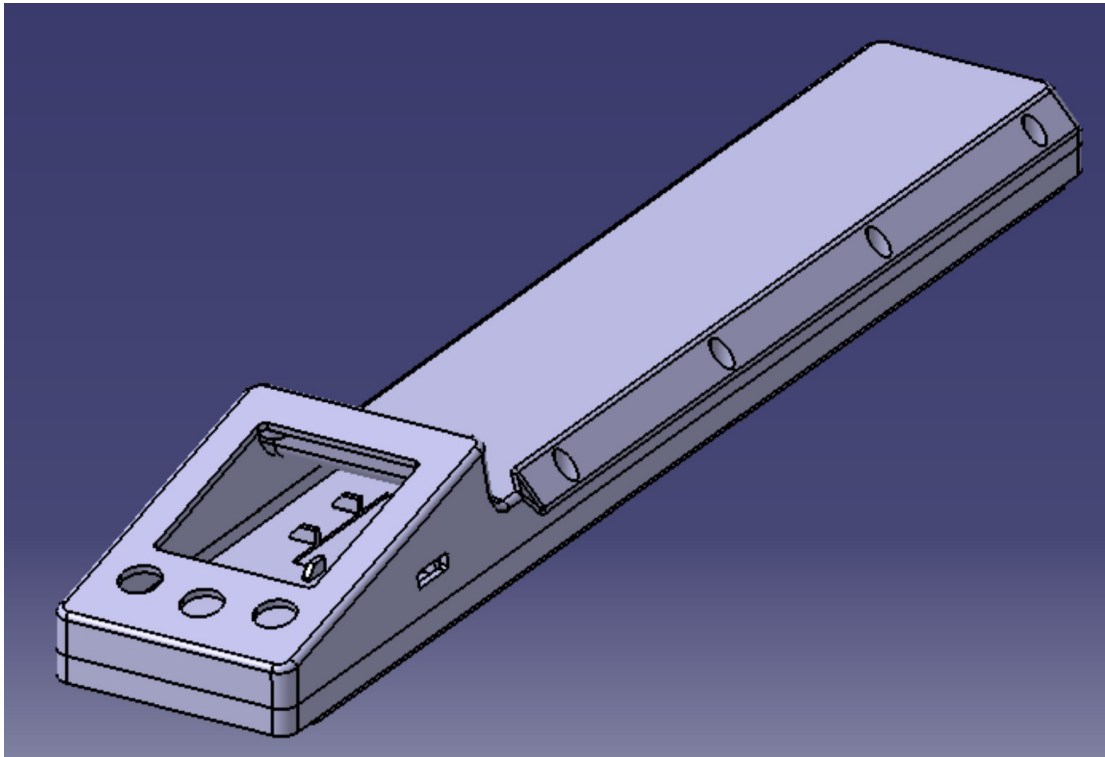


Abbildung 38.: Gesamtansicht des Gehäuses

9. Ausblick und Fazit

In dieser Arbeit wurden erfolgreich die Grundlagen dafür geschaffen, eine eigene mobile Waage für Fahrzeuge auf den Markt zu bringen. Die Konkurrenz wurde analysiert und aus den Kundenmeinungen geht heraus, welche Eigenschaften ihnen bei einem neuen Produkt wichtig sind. Aus den Erfahrungen mit den Prototypen geht heraus, welches Funktionsprinzip am zuverlässigsten funktioniert. Mit der für die Prototypen entwickelten Software kann die Bedienung simuliert werden und funktionierende Waagen wurden aus zwei Prototypen gebaut. Die wichtigsten zusätzlichen Bauteile sind ausgewählt und für das Display auch bereits ein Hersteller gefunden. Auch ein Gehäuse, welches sich von der Konkurrenz absetzt und die Anforderungsliste erfüllt ist erfolgreich konstruiert worden.

Um mit dem Projekt fortzufahren, muss als nächstes geklärt werden, ob die finanziellen Mittel bereitgestellt werden. Mit diesen kann das Display in Auftrag gegeben werden. Bis von diesem ein Prototyp gefertigt werden kann, vergehen mindestens sechs Wochen. Anschließend kann ein Prototyp der nächsten Stufe gebaut werden.

Um die Dimensionen zu testen, kann ein Muster des Gehäuses mit dem 3d - Drucker gefertigt werden. Die Kraftsensoren sind bereits vorhanden, sodass diese auch in einen weiteren Prototypen integriert werden könnten. Bis dahin kann weiterhin der Arduino als Mikroprozessor verwendet werden und die Stromversorgung weiter über Kabel erfolgen.

Auch für das Gehäuse werden Formkosten auf die Firma zukommen. Um ein geeignetes Gehäuse zu fertigen, ist Spritzguss die einzige valide Option. Erst wenn auch von diesem ein Prototyp vorhanden ist, kann final festgestellt werden, wie genau unser Produkt tatsächlich arbeiten wird. Bis dahin ist es nicht möglich, mit einem Fahrzeug reproduzierbare Messungen mit unseren Kraftsensoren durchzuführen.

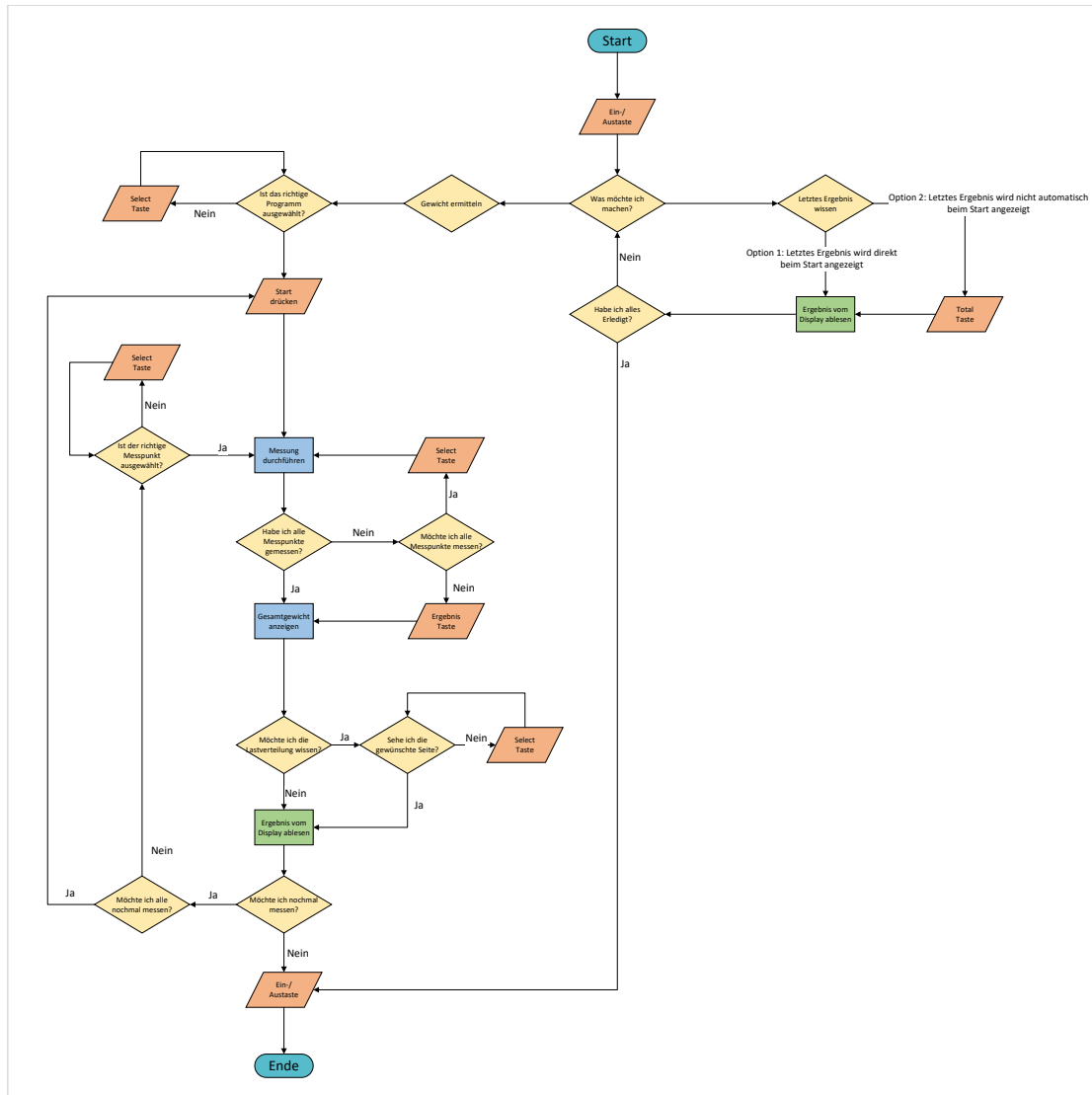
Ob weitere finanzielle Mittel für das Projekt bereitgestellt werden bleibt zunächst offen. Neben den Investitionskosten für das Display und das Gehäuse müssen im weiteren Verlauf auch weitere Mittel für die ersten Produkte aufgebracht werden, bevor die ersten Produkte verkauft werden könnten. Selbst dann ist es noch nicht abschätzbar, wie gut sich unser Produkt verkaufen wird. Ob die Firma das finanzielle Risiko eingehen will ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht absehbar.

Literatur

- [1] Allgemeiner Deutscher Automobilclub. *Stützlast: Was beim Fahren mit Anhänger zu beachten ist*. 2024. URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/kauf-tipps/stuetzlast/> (besucht am 13. 11. 2024).
- [2] Marcell Bräutigam. *Elektronische Druckmesstechnik*. JUMO GmbH, Dez. 2017. ISBN: 978-3-935742-19-1.
- [3] CeramTec. *Hochleistungskeramik in der Piezotechnik*. 2003. URL: https://www.ceramtec-industrial.com/fileadmin/user_upload/Corporate/11_Downloads/04_Piezo_Ceramics/mf_brochure_piezoapplications_en_de.pdf (besucht am 30. 09. 2024).
- [4] chemie.de. *Blei-Zirkonat-Titanat*. 2005. URL: <https://www.chemie.de/lexikon/Blei-Zirkonat-Titanat.html> (besucht am 28. 09. 2024).
- [5] chemie.de. *Piezoelektrizität*. URL: https://www.chemie.de/lexikon/Piezoelektrizit%C3%A4t.html#Piezoelektrische_Kristalle (besucht am 28. 09. 2024).
- [6] DisplayElektronikGmbH. *Data Sheet LCD Standard Panel DE119 Series*. 2003. URL: <https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/A500/LCD40-13.pdf> (besucht am 21. 10. 2024).
- [7] ECF. *Europe: Caravans and Motor Caravans in use 2020*. 2020. URL: https://www.e-c-f.com/wp-content/uploads/2021/08/europabestand_C-RM.pdf.
- [8] ECF. *EUROPE: Registrations of new Leisure Vehicles Jan. - Dec. 2023*. Accessed: 24.7.2024. 2024. URL: https://www.e-c-f.com/wp-content/uploads/2021/08/E.1.0_CY2023.pdf.
- [9] ECF. *EUROPE: Registrations of new Leisure Vehicles January - March 2024*. Accessed: 24.7.2024. 2024. URL: https://www.e-c-f.com/wp-content/uploads/2021/08/E.Q1-24_130524.pdf.
- [10] ECF. *EUROPE: Registrations of new Leisure Vehicles January - December 2022*. Accessed: 24.7.2024. 2023. URL: https://www.e-c-f.com/wp-content/uploads/2023/05/E.1.0_CY_2022.pdf.

- [11] piezosystem jena GmbH. *Piezopedia - Eigenschaften und Leistung*. URL: <https://www.piezosystem.com/de/piezopedia/eigenschaften-und-leistung/> (besucht am 26. 09. 2024).
- [12] KBA. *Anzahl erteilter Fahrerlaubnisse in Deutschland nach Führerscheinklassen von 2004 bis 2023*. 2024. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/5095/umfrage/anzahl-erteilter-fahrerlaubnisse-nach-fuehrerscheinklassen/>.
- [13] Stefan Keil. *Dehnungsmessstreifen*. 2. Aufl. Springer Vieweg Wiesbaden, Feb. 2017. ISBN: 978-3-658-13611-6. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-13612-3>.
- [14] MicrochipTechnologyInc. *PIC16F946Data Sheet*. 2005. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41265a.pdf> (besucht am 21. 10. 2024).
- [15] Kiel) N.I.T. (Institut für Tourismus- und Bäderforschung für Nordeuropa. *Soziodemografische Daten*. 2010. URL: <https://www.civd.de/artikel/soziodemografische-daten/> (besucht am 05. 11. 2024).
- [16] Godwin Nworji u. a. "Effect of Time Factor on the Battery Voltage State of Charge from Foot Beats Piezoelectric System". In: *Asian Journal of Research and Reviews in Physics* (Dez. 2020), S. 53–64. DOI: [10.9734/ajr2p/2020/v3i430129](https://doi.org/10.9734/ajr2p/2020/v3i430129).

A. Anhang



Bekanntes Gewicht	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Messung 6	Messung 7	Messung 8	Messung 9	Messung 10	Mittelwert	Messabweichung %
31,8	31,73425	31,84725	31,81225	31,69710	31,85180	31,84915	31,89830	31,82775	31,87425	31,72275	31,811	0,036
18,2016	18,14514	18,25453	18,18147	18,21023	18,22406	18,28973	18,25353	18,26153	18,21153	18,19451	18,223	0,116
16	16,07158	16,03015	16,12096	16,03887	16,04476	16,05186	15,97409	16,02047	16,15547	16,05918	16,057	0,355
15,8	15,93064	15,82499	15,80989	15,82945	15,85927	15,87421	15,85117	15,83649	15,86675	15,79941	15,851	0,324
5,246	5,22402	5,29498	5,2051	5,24455	5,24175	5,25850	5,35558	5,37840	5,34843	5,26556	5,281	0,672
1,68	1,67617	1,64658	1,66096	1,66880	1,64327	1,67179	1,67584	1,66505	1,66775	1,69688	1,669	-0,648
0,5216	0,51954	0,51351	0,51210	0,51857	0,51276	0,51752	0,51412	0,51169	0,51001	0,51357	0,514	-1,392
0,0728	0,07157	0,07147	0,07066	0,07156	0,07142	0,07071	0,07106	0,07079	0,07212	0,07175	0,071	-2,047

Bekanntes Gewicht	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Messung 6	Messung 7	Messung 8	Messung 9	Messung 10	Mittelwert	Messabweichung %
31,8	31,83165	31,89040	31,81975	31,80133	31,89774	31,87434	31,84528	31,74850	31,77425	31,89457	31,838	0,119
18,2016	18,17987	18,26826	18,27199	18,28953	18,16514	18,35082	18,20933	18,15040	18,30146	18,24635	18,243	0,229
16	15,93522	16,04993	16,11660	16,05745	16,02591	16,09069	15,94818	16,23320	16,05182	16,03746	16,055	0,342
15,8	15,86453	15,78721	15,82559	15,82289	15,87153	15,84464	15,91514	15,87531	15,77441	15,94073	15,852	0,330
5,246	5,22655	5,25025	5,24912	5,28672	5,21754	5,21756	5,19417	5,19927	5,20972	5,20456	5,226	-0,390
1,68	1,67550	1,68272	1,67409	1,68544	1,67456	1,66368	1,65279	1,69224	1,67457	1,61373	1,669	-0,659
0,5216	0,51266	0,50913	0,50960	0,52075	0,51595	0,51836	0,51127	0,51460	0,51317	0,51543	0,514	-1,440
0,0728	0,07129	0,07022	0,07123	0,07025	0,07100	0,07106	0,07089	0,07176	0,07209	0,07031	0,071	-2,461

Bekanntes Gewicht	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Messung 6	Messung 7	Messung 8	Messung 9	Messung 10	Mittelwert	Messabweichung %
31,8	32,05749	31,89658	31,90300	31,84696	31,92874	31,98024	31,82575	31,85150	31,87964	31,83619	31,901	0,316
18,2016	18,31246	18,36182	18,34696	18,34192	18,19460	18,35717	18,35666	18,12094	18,28299	18,29773	18,297	0,526
16	15,98704	16,16842	16,12656	16,07773	16,01296	16,06478	16,10247	16,12394	16,10364	16,12955	16,090	0,561
15,8	15,87611	15,81227	15,87676	15,86761	15,83838	15,95352	15,81279	15,88955	15,92794	15,86397	15,872	0,455
5,246	5,25450	5,30122	5,27988	5,21627	5,32246	5,20777	5,31821	5,21202	5,24600	5,28848	5,265	0,356
1,68	1,67320	1,64709	1,66089	1,66776	1,66640	1,66912	1,65138	1,65923	1,65830	1,70449	1,666	-0,852
0,5216	0,50741	0,51418	0,50710	0,50793	0,50752	0,51085	0,51335	0,51680	0,51502	0,50918	0,511	-2,045
0,0728	0,07023	0,07014	0,07094	0,07048	0,07080	0,07083	0,07021	0,07111	0,07043	0,07077	0,071	-3,031

	16	16	15,8	15,8	15,8	1,68	1,68	1,68	0,521	0,521	Mittelwert 1	Mittelwert 2
1	15,952	15,910	15,718	15,742	15,742	1,586	1,620	1,586	0,484	0,456	16	15,979
2	15,961	15,999	15,700	15,718	15,718	1,656	1,551	1,656	0,420	0,449	15,8	15,669
3	15,947	16,084	15,636	15,792	15,792	1,625	1,472	1,625	0,397	0,438	1,68	1,441
4	16,047	16,176	15,682	15,803	15,803	1,624	1,441	1,624	0,369	0,465	0,521	0,433
5	15,991	16,077	15,669	15,874	15,874	1,592	1,375	1,592	0,437	0,481		
6	16,088	15,990	15,588	15,867	15,867	1,636	1,294	1,636	0,455	0,531		
7	16,053	15,969	15,674	15,808	15,808	1,658	1,370	1,658	0,532	0,462		
8	15,984	16,025	15,649	15,800	15,800	1,722	1,466	1,722	0,450	0,526		
9	15,914	15,989	15,681	15,865	15,865	1,639	1,406	1,639	0,411	0,551		
10	15,854	16,031	15,696	15,801	15,801	1,606	1,420	1,606	0,377	0,575		

A.1. Elektronischer Anhang

Im elektronischen Anhang sind folgende Dateien zu finden:

- Oberteil Gehäuse als .stp
- Unterteil Gehäuse als .stp
- Zusammenbau Gehäuse als .stp
- Software Kraftsensor (load_cell_latest)
- Software Drucksensor in zwei Ausführungen (pressure_sensor_test)
- Flow Chart der Software als .pdf
- Messreihen und Anforderungsliste (127_1_Caravan_Waage_Tabellen)
- Auswertungen der Bewertungen (CWC_Bewertungen)
- Datenblätter der verwendeten Kraftsensoren

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 28. November 2024

Christian Feddern