

Fachhochschule Wedel

29.06.2021

Dokumentation

Projekt Kaffee Mare



Maurice Allers <wing104268@fh-wedel.de>

Jannick Rowedder <wing104278@fh-wedel.de>

Felix Keller <stec102317@fh-wedel.de>

Heiko Jedamski <stec102594@fh-wedel.de>

Betreut von:

Frank Bargel <ba@fh-wedel.de>

Ulrich Hoffmann <uh@fh-wedel.de>

Inhaltsverzeichnis

Die Einleitung	1
Anforderungsliste	2
Konzipieren	3
Lösungskonzepte	5
Dosiermechanismus an der Schütte	5
Durchflussgeschwindigkeit am Mechanismus an der Schütte	6
Wiegebehälter	6
Füllstand der Schütte	8
Funktionsbeschreibung Programmablauf/Abfüllung	10
Der Schaltschrank	12
Die Elektronik	14
Die Software	15
Der finale Aufbau	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Mechanismus an der Schütte	Seite 6
Abbildung 2	Servo am Mechanismus der Schütte	Seite 8
Abbildung 3	Statistik Abfüllmenge pro Zeit	Seite 9
Abbildung 4	Prototyp aus Holz	Seite 10
Abbildung 5	Fertiger Wiegebehälter aus Blechen	Seite 10
Abbildung 6	Füllstandsmessung mit Wägezelle	Seite 11
Abbildung 7	Skizze - ohne zulaufende Form	Seite 12
Abbildung 8	Skizze - verwendete Schütte	Seite 12
Abbildung 9	Flussdiagramm Funktionsbeschreibung Programmablauf/Abfüllung	Seite 14
Abbildung 10	Die Anordnung im Schaltschrank	Seite 16
Abbildung 11	Aufbau der Schaltung	Seite 17
Abbildung 12	Programmcode Abfüllung	Seite 20
Abbildung 13	Der finale Aufbau - 3D Modell	Seite 21
Abbildung 14	Der finale Aufbau - Umsetzung des 3D-Modells	Seite 22

Die Einleitung

Kaffee ist ein schwarzes Koffeinhaltiges Getränk und erfreut sich unter Anderem in Deutschland an großer Beliebtheit. Im vergangenen Jahr ist der Jahres Kaffeekonsum in Deutschland um 1,5% auf über 150 Liter pro Kopf gestiegen. Bei der Herstellung des Kaffees existieren unterschiedliche Produktionsschritte, begonnen bei der Ernte über die Röstung und schließlich die Abfüllung der fertigen Bohnen in verkaufsgerechte Portionierungen.

In der Vorliegenden Arbeit wird speziell die Abfüllung der fertigen Kaffeebohnen von *Mare Kaffee* betrachtet. Aktuell wird in der Kaffeerösterei die Abfüllung der verarbeiteten Kaffeebohnen manuell in verschiedene Gewichtseinheiten abgewogen und abgefüllt. Eine im Vorfeld durchgeführte Analyse des Prozesses kam zu dem Entschluss, dass zur Steigerung der Produktivität eine automatische Kaffeeabfüllanlage eingesetzt werden kann.

Der aktuelle Abfüllprozess wird durch eine manuelle Dosierung aus einem Kaffeeabfüllschütte mit einem Volumen von 50 kg realisiert. Ein Mitarbeiter stellt eine Verpackung für die Kaffeebohnen auf eine vorher tarierte Waage und füllt über eine verstellbare Auslassöffnung solange Bohnen in die Verpackung, bis das zu erreichende Endgewicht erzielt ist. Die abgefüllte Verpackung wird anschließend zur weiteren Verarbeitung aus dem Abfüllbereich entfernt. Dieser manuelle Abfüllprozess soll in der vorliegenden Arbeit durch ein automatisches System optimiert werden.

Zur Realisierung einer automatischen Kaffeeabfüllanlage werden zunächst die Anforderungen an die spezifische Abfüllanlage definiert. Aufbauend werden Konzepte für die Realisierung erarbeitet und beschrieben. Anhand der realisierten Abfüllanlage werden Testversuche zur Bewertung der Produktivität durchgeführt und eine umfassende Dokumentation über die Konstruktion, der verwendeten Elektronik und deren Aufbau dargelegt. Zur Beschreibung des Funktionsablaufs der automatischen Abfüllanlage wird eine Funktionsbeschreibung in der vorliegenden Dokumentation implementiert.

Anforderungsliste

Nr.	Beschreibung/Name der Anforderung	Toleranz	Priorität (1=hoch, 3=niedrig)	Ursprung/Erläuterung
1	Automatisiertes Abfüllen	+ - 3 Gramm	1	3 Gramm Toleranz sind aus der Lebensmittelindustrie gegeben
2	Zeit zum Abfüllen	max. 20 s	1	Die 20 s ergeben sich aus: Gefüllte Tüte zuschweißen, Tüte wegstellen, neue Tüte greifen und unter den Trichter halten
3	Abfüllung durch Fußtaster		1	Um beide Hände für die Tüte zu haben
4	Schaltschrank (ordentliche Verkabelung)		2	Damit das Produkt professionell aussieht
5	Lebensmittelechte Materialien		1	Da einige Bauteile mit den Kaffeebohnen in Kontakt kommen, müssen diese Lebensmittelecht sein
6	Langlebigkeit der Mechanismen		2	Um Ausfälle des Produktes zu vermeiden auf langlebigkeit achten
7	Kostengünstig	max. 2000€	1	Innerhalb des gegebenen Budgets zu bleiben
8	Ergonomisches nachfüllen der Schütte ermöglichen		2	Um dem Mitarbeiter die Arbeit zu erleichtern und Ausfälle durch Krankheit vorzubeugen
9	Ergonomisches arbeiten ermöglichen		2	
10	Fehler in Software ausschließen		1	Damit es zu keinem Absturz des Programms kommt
11	Verständliche und bedienbare Benutzeroberfläche		1	Der Bediener sollte nicht erst eine Anleitung lesen müssen um das Produkt zu verstehen
12	Gerüst für die Schütte bauen		1	Soll Stabilität bieten

Konzipieren

Herr Rode hat eine Schütte mit einem Fassungsvermögen von 50 kg Kaffeebohnen bereitgestellt. Um die von Herr Rode bereitgestellte Schütte zu automatisieren, muss diese mit mehreren Mechanismen versehen werden. Der Füllstand der Schütte soll durch eine 50 kg Wägezelle bestimmt werden. Da die Schütte ein Fassungsvermögen von 50 kg Kaffeebohnen hat, muss die Wägezelle so angebracht werden, dass nicht das komplette Gewicht auf dieser einen Wägezelle liegt. An der Schütte befindet sich ein Öffnungsmechanismus (zu sehen auf Abbildung 1), welcher aktuell nur manuell bedient werden kann. Um diesen zu automatisieren, soll ein Servomotor mit einem Arm angebracht werden, welcher den Knauf bewegt und somit die Öffnung vergrößert oder verkleinert bzw. schließt. Der Servomotor ist auf einer Rotationsachse mit dem dargestellten Dosiermechanismus. Um den Durchfluss der Kaffeebohnen zu dosieren, wird die Öffnungszeit variiert. Sobald die Kaffeebohnen aus dieser Öffnung fallen, landen sie auf einer Auslassführung, welche die Kaffeebohnen in einen Behälter leitet. Dieser Behälter steht auf einer Wägezelle und wird im Folgenden als Wiegebehälter bezeichnet. An der Vorderseite dieses Behälter soll sich eine Öffnung befinden. Diese Öffnung soll von einer Klappe verschlossen werden. Durch das Betätigen eines Fußtasters, soll diese Klappe von einem weiteren Servomotor nach oben gezogen werden, wodurch die Bohnen in einen Trichter fallen. Der Trichter führt die Bohnen in die Abfülltüte. Die Tüte muss von einem Mitarbeiter darunter gehalten werden.



Abbildung 1 - Mechanismus an der Schütte

Die Schütte soll auf einem Gerüst aus Aluminiumprofilen stehen. Die Entscheidung fiel zunächst auf 40x40 mm Vierkantprofile. Diese wurden als überdimensioniert eingestuft, weshalb die Wahl auf 20x20 mm Profile fiel. Diese Profildicke ist für die Kräfte, die auf das Gerüst wirken, ausreichend. Damit die Kabel strukturiert verlaufen, soll ein Schaltschrank eingebaut werden. Das Gerüst aus Aluminiumprofilen bietet ausreichend Platz, um diesen zu Befestigen. Die Stabilität der Konstruktion im Hinblick auf seitlich wirkende Kräfte oder Verschiebung ist auch gegeben, da das Gerüst mit einer 15 mm starken Holzplatte verschraubt ist, unter der sich Füße befinden. Diese Füße sind notwendig, da die Vierkantprofile mit dem Brett verschraubt sind und deshalb Muttern und Schraubenköpfe herausragen. Als Bedienelement soll ein Touch-Display verwendet werden. Es soll zwei Bedienfenster geben, um die Abfüllung zu kontrollieren. Der Startbildschirm dient zur Eingabe der Abfüllgrößen. Zusätzlich wird der aktuelle Füllstand angezeigt. Daran kann sich der Benutzer orientieren, um zu entscheiden, ob mehr Kaffeebohnen eingefüllt werden müssen oder ob die aktuelle Menge für die Charge ausreicht. Nachdem die Abfüllgröße eingestellt wurde, kann man beim Klick auf den "Abfüllung"-Button das Abfüllfenster öffnen. Auf dieser Bedienoberfläche soll die Abfüllung gestartet und gestoppt werden. Des Weiteren sollen dort mehrere, für die Bedienung relevante Werte angezeigt werden. Das Display ist in der vordersten Vorbauebene eingelassen. Mit Hilfe eines Halterungssystem bestehend aus zwei 5 mm starken, rechteckigen Sperrholzplatten, die mit der Innenseite der Vorbauebene verklebt sind, sitzt das Bedienelement fest im Vorbau. In diesem Vorbau befinden sich außerdem zwei weitere Sperrholz-Ebenen, in welchen die Servomotoren befestigt werden sollen.

Lösungskonzepte

Dosiermechanismus an der Schütte

Abbildung 2 zeigt einen Servomotor, der von einer an der Schütte befestigten Konstruktion gehalten wird. Der Servo befindet sich auf einer Rotationsachse mit dem Dosiermechanismus. An dem Servo befindet sich eine Messingplatte, an dessen Ende sich zwei Hebel befinden, die den Knauf des Mechanismus umfassen. Mit Hilfe dieses Hebels wird der Knauf nach links und rechts bewegt, um den Mechanismus zu öffnen oder zu schließen. Fährt der Servo auf ca. 90°, fallen die Kaffeebohnen durch die Öffnung auf die Rutsche und anschließend in den Wiegebehälter.

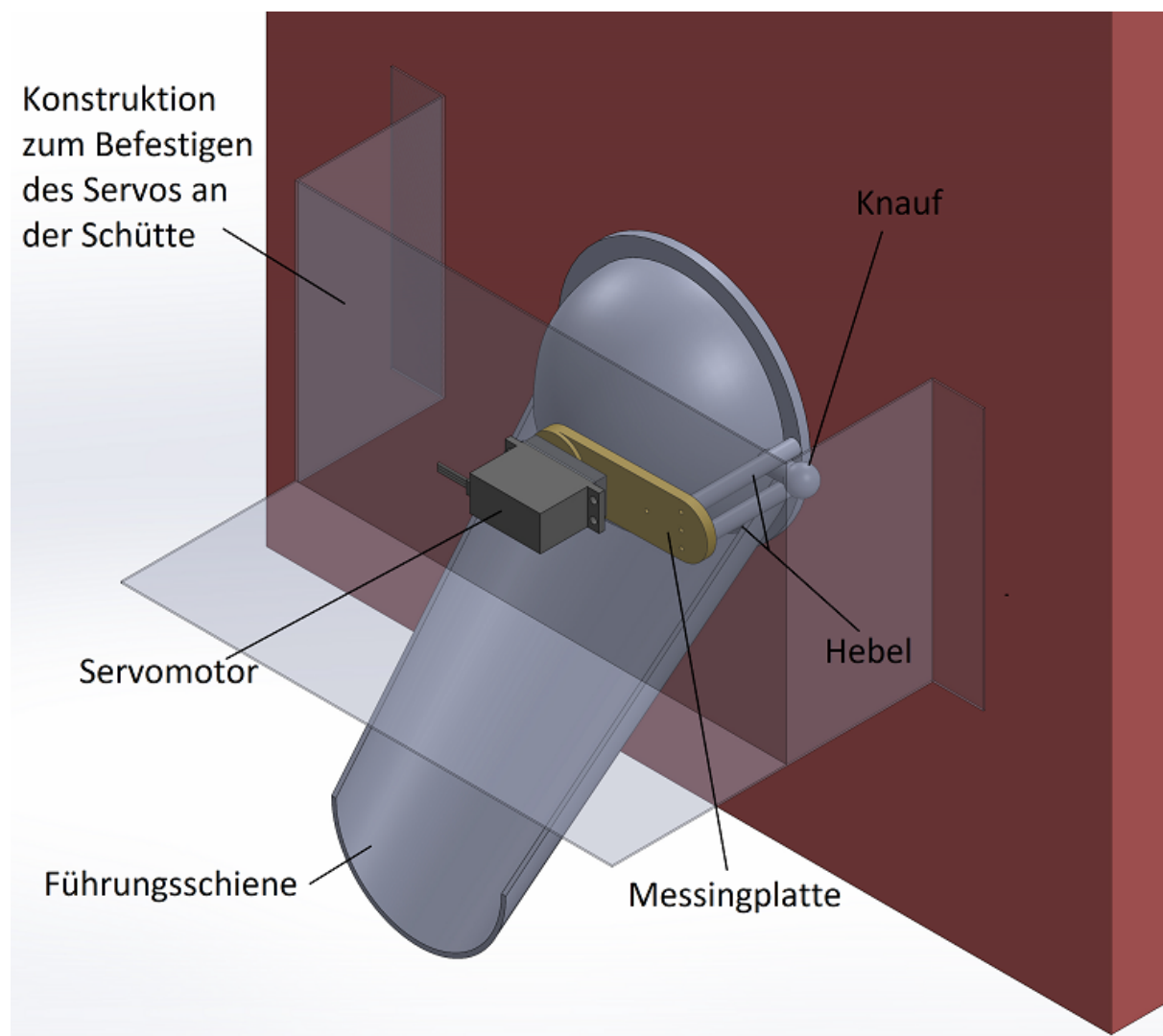


Abbildung 2 - Servo am Mechanismus der Schütte

Durchflussgeschwindigkeit am Mechanismus an der Schütte

Um Einschätzen zu können, wie viel Zeit die Kaffeebohnen benötigen um aus der Schütte zu fließen, wurden Messungen durchgeführt. Ziel der Messungen war es herauszufinden, ob bei unterschiedlichem Füllstand unterschiedliche Durchflussgeschwindigkeiten an der Schütte erkennbar sind. Abbildung 3 zeigt eine Grafik, welche die Durchflussmenge an Kaffeebohnen bei maximaler Öffnung pro Zeiteinheit darstellt. Dabei ist erkennbar, dass der Füllstand keinen sonderlich großen Einfluss auf die Durchflussmenge hat. Das bedeutet, dass auch bei geringem Füllstand schnell und zuverlässig abgefüllt werden kann. Die Abfüllung darf nicht länger als ca. 15 Sekunden dauern. Somit konnte festgestellt werden, dass die reine Durchflussgeschwindigkeit deutlich ausreicht, um diesen Anforderung gerecht zu werden.

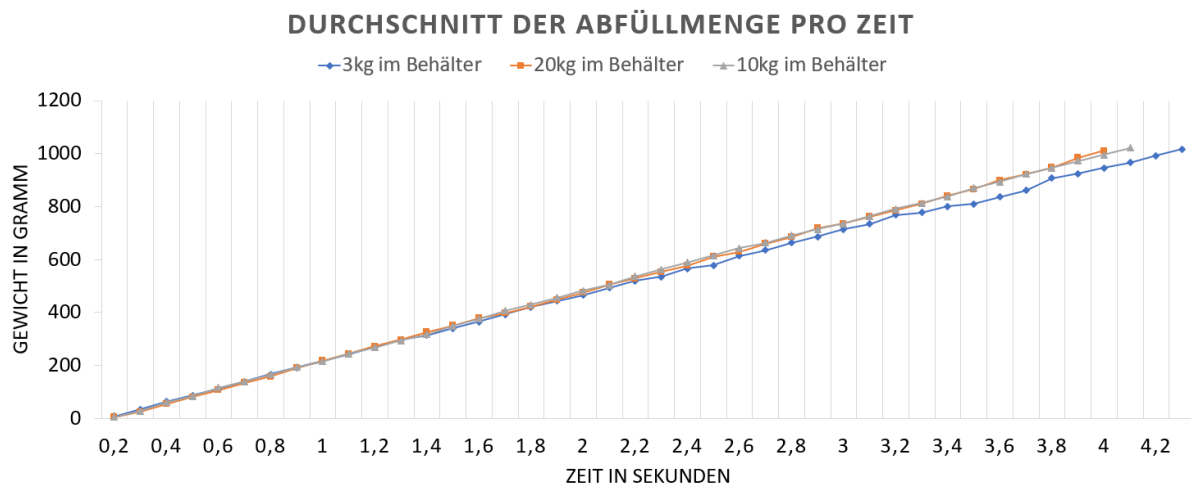


Abbildung 3 - Statistik Abfüllmenge pro Zeit

Wiegebehälter

Als Wiegebehälter sollte ein trichterförmiger Teigdosierer dienen. Um diesen während des Abfüllprozesses wiegen zu können, wurde dieser in einem Gerüst aus Aluminiumprofilen verschraubt und dieses Gerüst auf zwei 5 kg Wägezelle geschraubt. Durch das gegenüberliegende Verschrauben entstand eine Verspannung der beiden Wägezellen, was zu einem ungenauen Messergebnis führte. Dabei wurde festgestellt, dass es von Vorteil ist, eine Wägezelle am Schwerpunkt unter dem Wiegebehälter zu befestigen. Dadurch wird eine Verspannung unter mehreren Wägezellen ausgeschlossen und das Gewicht wird an einem zentralen Punkt gemessen. Das bedeutet allerdings, dass der Teigdosierer nicht als Wiegebehälter verwendet werden kann. Es wird daher eigener Wiegebehälter konstruiert und ein Prototyp aus Holz gebaut, um die Konstruktion zu testen. Die CAD-Zeichnung

dieses Prototyps ist auf Abbildung 4 zu sehen. An der Klappe ist eine Stange befestigt, welche durch eine Servomotor nach oben gezogen wird. Diese Stange wird durch einen Messingblock geführt. Des Weiteren soll sich links und rechts von der Klappe jeweils zwei Rollen befinden, welche die Klappe leichtgängig nach oben und unten führen. Dieser Holz-Prototyp soll im Anschluss des Projekts durch einen aus Edelstahlblechen bestehenden Aufbau ersetzt werden, um die Lebensmittelechtheit gewährleisten zu können. Der Aufbau aus Edelstahlblechen ist in Abbildung 5 zu sehen. In Abbildung 5 ist zu erkennen, dass sich am Boden der Wiegebehälters zwei Bohrungen befinden. Dort wird die Wägezelle durch Schrauben mit dem Wiegebehälter verbunden. Dadurch hat der Wiegebehälter einen festen Stand und steht zentriert auf der Wägezelle.

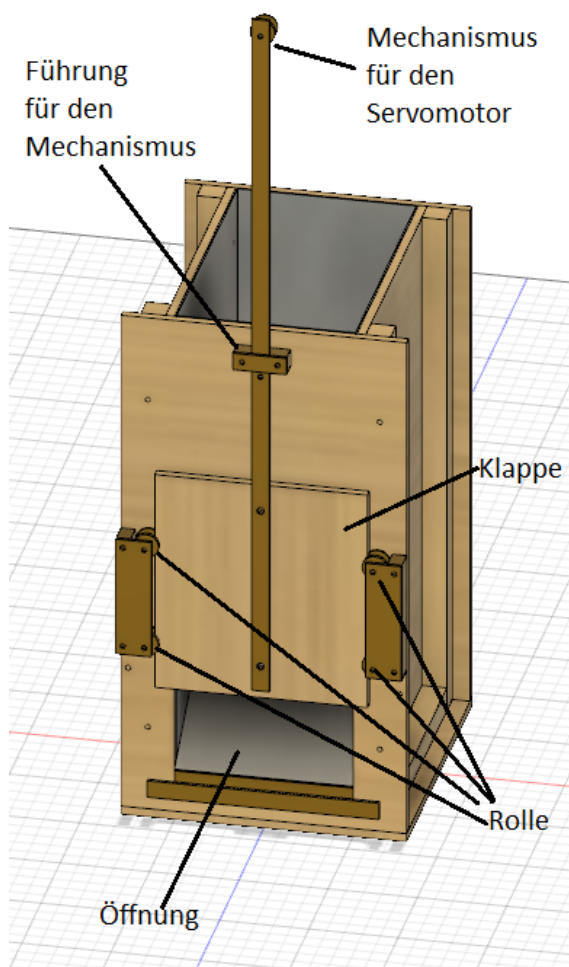


Abbildung 4 - Prototyp aus Holz

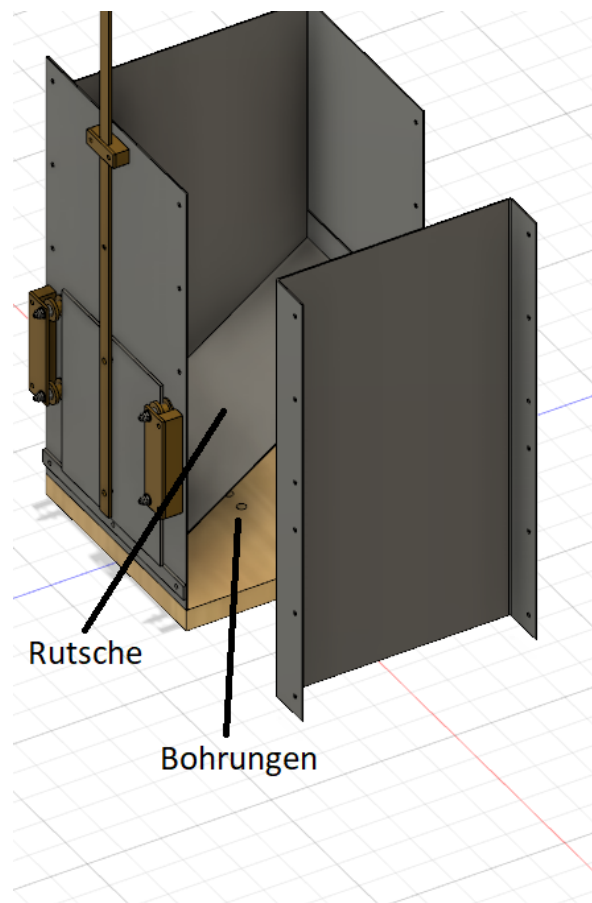


Abbildung 5 - Fertiger Wiegebehälter aus Blechen

Füllstand der Schütte

In Abbildung 6 sieht man, dass die Schütte (roter Behälter) auf einer Wägezelle steht. Die Wägezelle wird genutzt um den Füllstand zu erfassen. Die Gewichtskraft der Kaffeeschütte samt Inhalt wird von zwei Scharnieren (drehbare Lager) sowie einer Wägezelle aufgenommen. Hierbei spricht man von einer Dreipunktauflage. Des Weiteren sieht man, dass die Schütte auf einer 15 mm starken Holzplatte steht. Die Schütte wird über einen Winkel mit einer Holzplatte verbunden. Damit wird erreicht, dass die Kaffeeschütte bei Befüllung oder anderen äußeren Einflüssen stabil steht und nicht kippen kann. Die Wägezelle wird bei dieser Konstruktion ungefähr die Hälfte des reinen Kaffeebohnen Gewichts messen. Weitere Faktoren, die die Gewichtsmessung mittels Wägezelle beeinflussen wie z.B. das Eigengewicht der Schütte sowie das Gewicht des Dosiermechanismus werden tariert. In diesem Aufbau ist der Vorbau an der Kaffeeschütte befestigt. Im finalen Aufbau wurde der Vorbau von der Kaffeeschütte entkoppelt. Erst dadurch kann eine valide Erfassung des Füllstandes mittels Wägezelle ermöglicht werden.

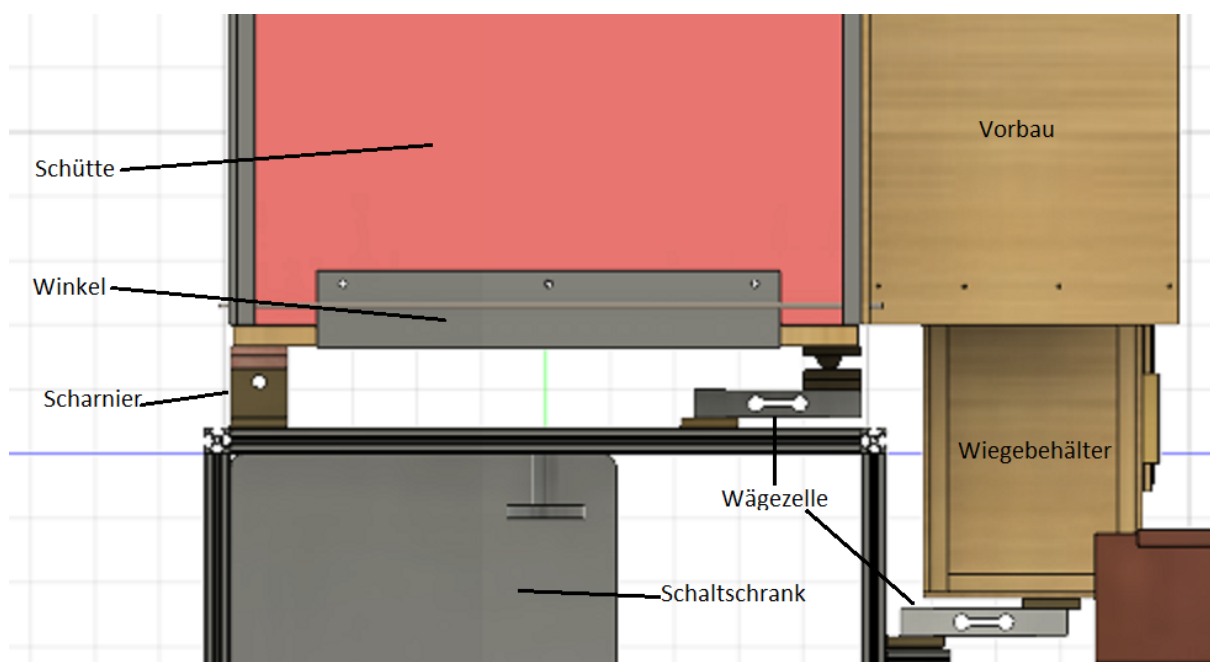


Abbildung 6 - Füllstandsmessung mit Wägezelle

Die Kaffeeschütte ist innen so geformt, dass die Bohnen zum Auslass (Dosiereinrichtung) geführt werden. Der horizontale Schwerpunkt bei einer bestimmten Befüllung wäre bei einem einfachen Behälter (ohne zulaufende Form), unabhängig von der Füllhöhe bzw. Masse, immer in der Mitte (siehe Abbildung 7). Für die verwendete Schütte gilt das aber nicht. Hier verschiebt sich der horizontale Schwerpunkt mit Änderung der Füllhöhe (Abbildung 8). Im Folgenden wird die Momentengleichung für das System mit einer Schütte

ohne zulaufende Form (Abbildung 7) aufgestellt. Die Gewichtskraft der Kaffeebohnen wird als $F_k (= m_k \cdot g)$ bezeichnet. Die Kraft F_w ist die Gegenkraft zu F_k (action = reactio). Die rechtsdrehenden Drehmomente werden mit negativen Vorzeichen festgelegt. Der horizontale Abstand von den Scharnieren (Festlager) zum Messpunkt der Wägezelle wird als "l1" bezeichnet. Dieser Abstand ist bereits durch die Konstruktion festgelegt. "l2" ist der Abstand vom Lager zum horizontalen Schwerpunkt der Kaffeebohnen (Sp1). Dieser Abstand bleibt bei unterschiedlicher Befüllung in dem System aus Abbildung 7 annähernd konstant.

$$F_k \cdot l_2 - F_w \cdot l_1 = 0 \quad / \quad + F_w \cdot l_1 : l_1$$

$$F_w \cdot l_1 / l_1 = F_k \cdot l_2 / l_1$$

$$F_w = F_k \cdot l_2 / l_1$$

Um für unser System das tatsächliche Gewicht der Kaffeebohnen zu ermitteln wird diese Formel allerdings nicht ausreichen, da sich der Abstand "l2" in unserem System mit der Füllhöhe verändert. Wenn folgende Abbildungen verglichen werden, fällt auf, dass der horizontale Schwerpunkt in Abbildung 8 bei gleicher Füllhöhe (h_1, h_2) aufgrund der zulaufenden Form eher links der Mitte liegt.

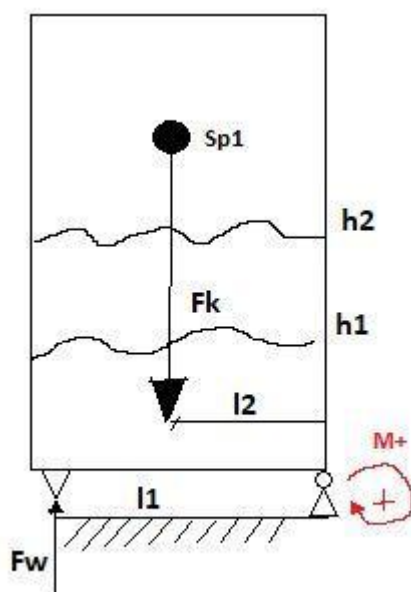


Abbildung 7 Skizze - ohne zulaufende Form

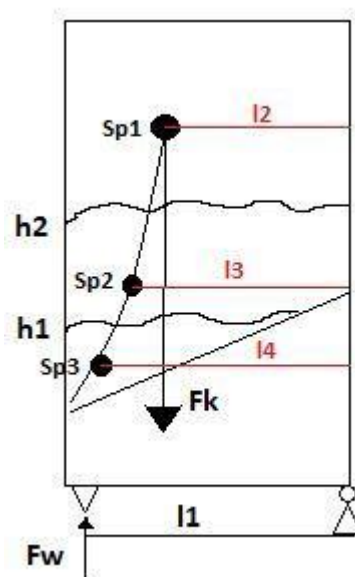


Abbildung 8 Skizze - verwendete Schütte

Da der Füllstand der Schütte nur als grober Richtwert dienen soll, um den Mitarbeiter darüber zu informieren, ob sich noch mehr als 3 kg Kaffeebohnen in der Schütte befinden, ist eine Ermittlung der exakten Funktion nicht vonnöten.

Funktionsbeschreibung Programmablauf/Abfüllung

Die Schütte kann unabhängig davon, ob die Maschine mit Spannung versorgt wird, befüllt werden. Sobald die Abfüllanlage an das Stromnetz angeschlossen ist und der Raspberry Pi hochgefahren ist, kann das Bedienelement (Touch-Display) genutzt werden. Wenn z.B. 250 Gramm Kaffeebohnen abgefüllt werden sollen, gibt es zwei Varianten diese Abfüllung zu starten.

Variante 1: Man drückt den “250” - Button. Dies bewirkt, dass 250 Gramm ins Programm übernommen werden und leitet einen direkt zum Abfüllungsbildschirm.

Variante 2: Über den Schieber kann 250 eingestellt werden. Über den Button “Wert übernehmen” wird der Wert ins Programm übernommen. Anschließend kann der Button “Abfüllen” gedrückt werden. Dieser leitet einen direkt zum Abfüllungsbildschirm.

Wenn im Abfüllungsbildschirm der Start-Button gedrückt wurde, ohne das sich ausreichend Bohnen in der Schütte befinden, wird auf dem Display angezeigt, dass die Schütte befüllt werden soll. Falls sich ausreichend Bohnen in der Schütte befinden, wird die Abfüllung gestartet. Sobald im Wiegebehälter das Zielgewicht erreicht wurde, wird auf dem Display das abgefüllte Gewicht ausgegeben und farblich markiert. Wenn sich die Abfüllung innerhalb des Toleranzbands befindet, wird dies mit einem grünen Hintergrund signalisiert. Für den Fall, dass der Wert außerhalb der Toleranz liegt, ist der Hintergrund des Labels rot. Unabhängig davon, wird auf die Betätigung des Fußtasters gewartet. Sobald der Fußtaster betätigt wird, öffnet sich die Klappe und die Bohnen fließen in den Trichter. Nach einer bestimmten Zeit schließt sich die Öffnung wieder. Sobald eine weitere Sekunde vergangen ist, startet die Abfüllung erneut. Dieser Ablauf wiederholt sich, bis die Schütte leer ist oder der “Stop”-Button gedrückt wird. Über den “Zurück”-Button, kommt man wieder auf den Einstellungsbildschirm. Wenn dort der “Schütte leeren” Button gedrückt wird, öffnet sich der Mechanismus an der Schütte und alle restlichen Bohnen fließen in den Wiegebehälter. Nur wenn sich weniger als 1 kg in der Schütte befinden, hat das Anklicken des Buttons eine Aktion zur Folge. Wenn dieser Button gedrückt wird, obwohl sich noch mehr als 1 kg Kaffeebohnen in der Schütte befinden, öffnet sich ein Fenster mit einer Warnung. Wenn auf dem Einstellungsbildschirm der “Beenden”-Button gedrückt wird, fährt der Raspberry Pi direkt runter.

Eine Darstellung dieses Programmablaufs ist auf Abbildung 9 zu sehen. Die roten Pfeile bedeuten jeweils ein Fenster zurück oder das Beenden des Programms bzw. Herunterfahren des Raspberry Pi's.

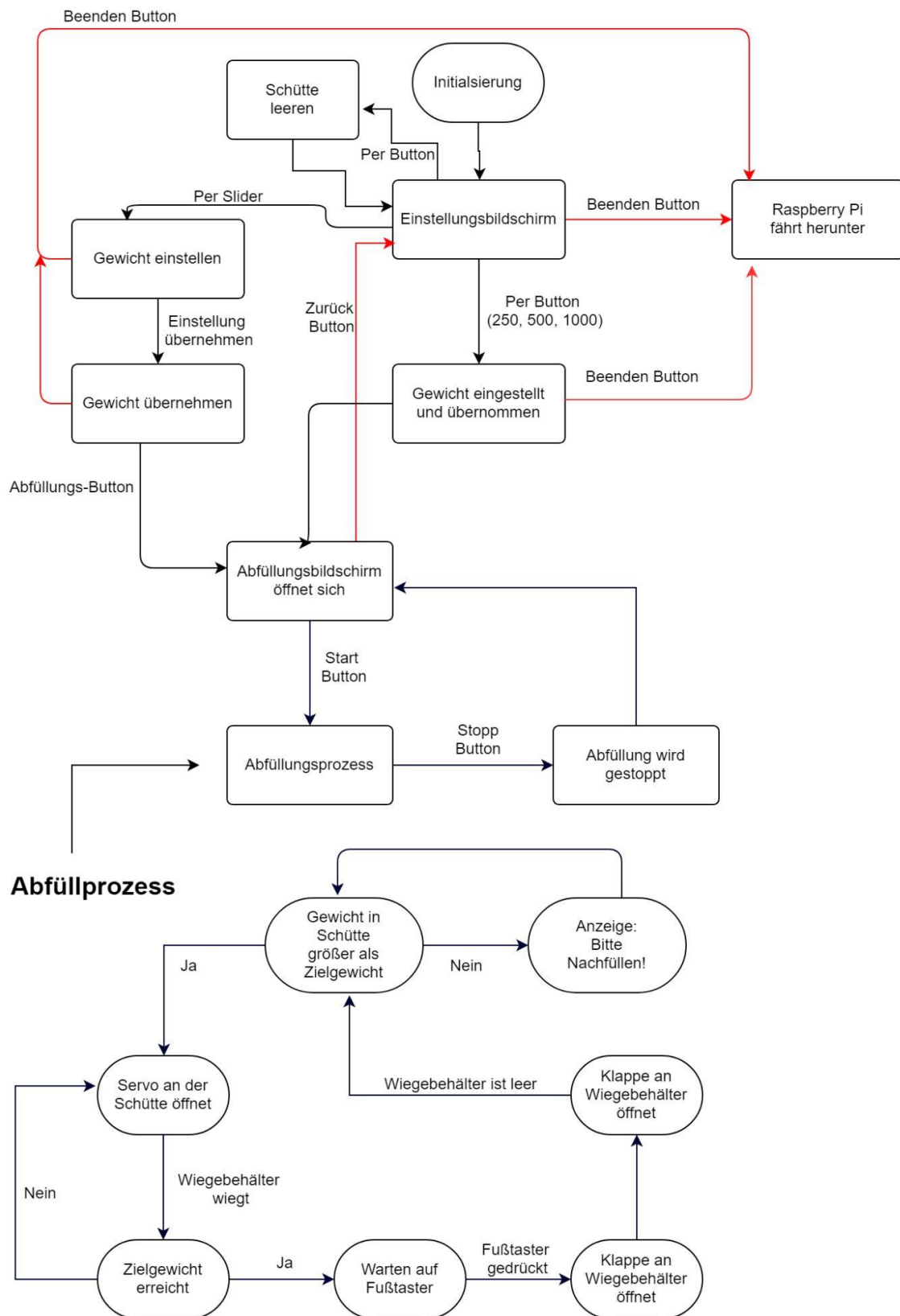


Abbildung 9 - Flussdiagramm Funktionsbeschreibung Programmablauf/Abfüllung

Der Schaltschrank

Die sachgemäße Verdrahtung und Zusammenführung der Elektronikkomponenten ist innerhalb eines Schaltschranks realisiert. Ein schematischer Aufbau ist in Abbildung 10 im Folgenden dargelegt. Für die Spannungsversorgung wurde eine H05RR-F 3G 1,5 mm² Leitung verwendet. Diese gelangt in den Schaltschrank auf die Einspeisungs-Klemmen X1. Die Einspeisung ist somit 230 Volt einphasig. Ausgehend von der Klemme für die Einspeisung wird über einen Leitungsschutzschalter F1 der Transformator T1 mit Spannung versorgt. Der Leitungsschutzschalter mit B16-Charakteristik gewährleistet einen Schutz gegen einen Kurzschluss und Überlast. Innerhalb des Transformators T1 wird die Spannung von 230V auf 5V herab transformiert.

Der Transformator T1 versorgt somit den Raspberry innerhalb des Schaltschranks sowie die Servomotoren und die Wägezellen mit Spannung. Hierbei wird eine Verdrahtung, ausgehend vom Transformator, über die gebrückten Klemmen zur Spannungsversorgung an X2 mit Klemmen 1-6 für L und Klemmen 15-20 N, zu den jeweiligen Verbrauchern realisiert. Die Verdrahtung innerhalb des Schaltschranks, ausgehend von dem Transformator T1, wurde mit dem Leitungstyp H05V-K 1 x 0.75 mm² durchgeführt. Wohingegen die Verdrahtung der Lastspannung, ausgehend von den Einspeisungsklemmen X1, über den Leitungsschutzschalter zu dem Transformator mit einem Leitungsdurchmesser von 1,5 mm² realisiert ist.

Jegliche Verdrahtung von den Klemmen im Schaltschrank zu den Sensoren und Aktoren, wird über die Klemmen X2 realisiert, was dem Schaltplan zu entnehmen ist. Hierbei wurde die Sensorleitung 2454P3409 verwendet. Die Leitungen der Sensoren und Aktoren gehen folglich über Verbindungen vom Sensor über die Sensorleitung auf die Klemmen an X2, von welchen ausgehend ein Jumperkabel zum Raspberry Pi verwendet wird.

Die Ansteuerung der Servomotoren wird mit dem PCA9685 Servo Motor Controller Board erzielt, welches über die Klemmen L und N an X2 mit Spannung versorgt wird und mittels Sensorleitung an die Servos angebunden ist.

Die Wägezellen sind in separatem Klemmkasten in der Nähe des Einbauortes mit den Umformern HX711 verbunden, von wo aus die Verbindung in den Schaltschrank über Servoleitungen realisiert wurde. Dies erfolgt, da das Messprinzip der Wägezellen auf dem Widerstand in der Zelle verbauter Dehnungsmessstreifen basiert. Durch die Verlängerung der Messleitung und die Verwendung zusätzlicher Klemmstellen vor dem HX711-Messumformer, würde der Widerstand durch die Leitungslänge und die Klemmstellen erhöht, was den Messwert verfälschen würde. Daher wurde die Leitungslänge zwischen Wägezelle und Messumformer so gering wie möglich gehalten.

Das Display wird mit 5V vom Trafo T1 versorgt und erhält diese über ein Micro-USB-Kabel, wobei die Adern des Potentials und der Masse auf die Klemmen von X2 aufgelegt sind.

Weitere Details über genaue Klemmenbelegungen sind aus dem Stromlaufplan zu entnehmen. Die Stromlaufpläne der Spannungsversorgung sowie der Verdrahtung der Waagen, Servos und des Fußtasters befinden sich detailliert in der weiterführenden Dokumentation.

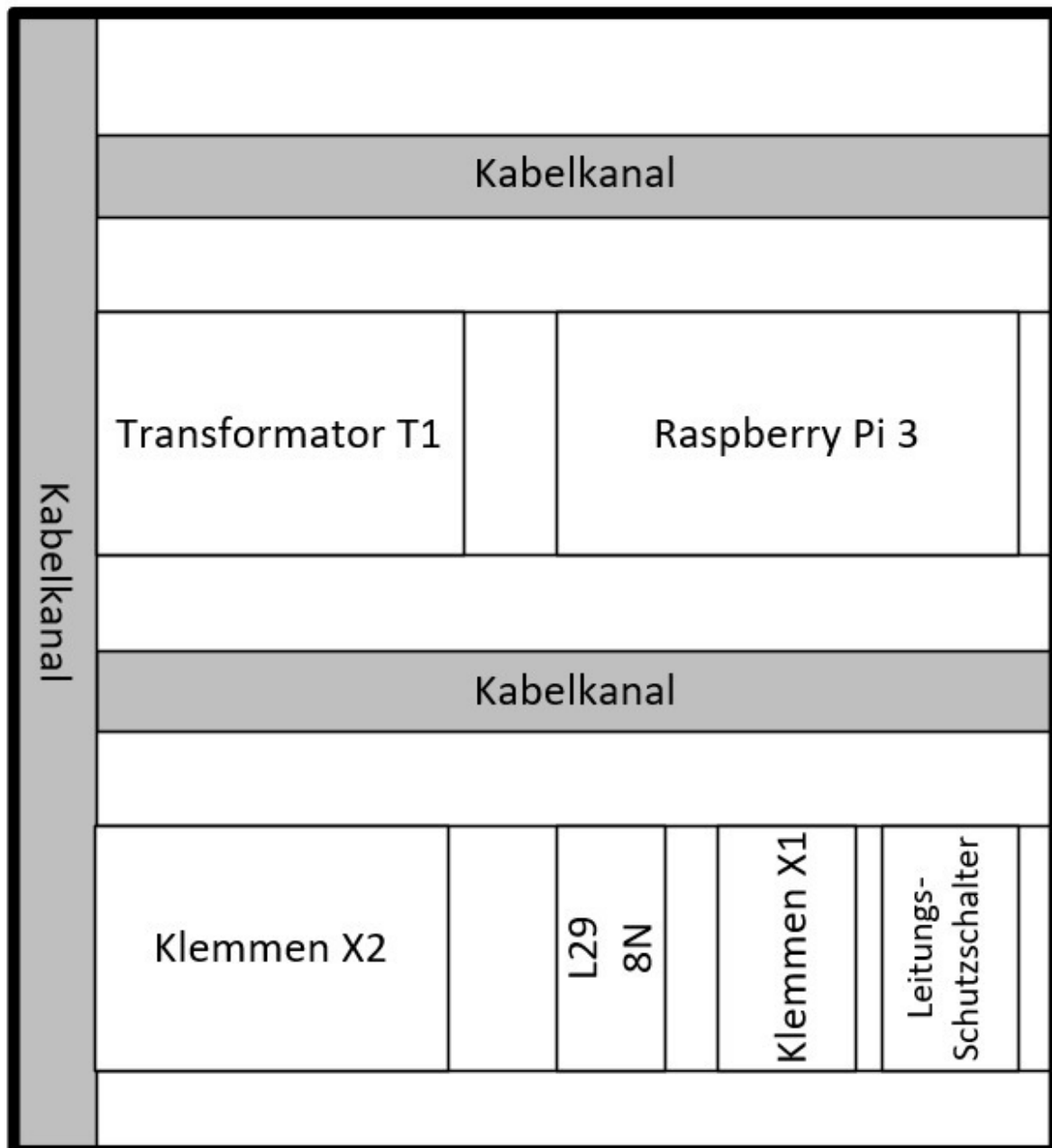


Abbildung 10 - Die Anordnung im Schaltschrank

Die Elektronik

Bei der Auswahl des Mikrocontrollers fiel die Entscheidung auf einen Raspberry Pi 3 Model B+, da dieser alle Ansprüche erfüllt. Das Touch-Display kann direkt per HDMI angeschlossen und es ausreichend GPIO-Pins verfügbar. Um die Servomotoren anzusteuern, wird ein *PCA9685 Servo Motor Controller Board* verwendet. Um den Inhalt der Schütte und des Wiegebehälters zu messen, werden zwei Wägezellen verwendet. Diese Wägezellen werden mit einem HX711-Messumformer an den Raspberry Pi angeschlossen. HX711 ist ein Modul, welches das Auslesen der Daten vereinfacht und genutzt werden kann, um die Waage zu kalibrieren. In Abbildung 11 ist der Aufbau der Schaltung und das Zusammenspiel der Bauteile dargestellt. Die schwarzen Linien stellen eine Verkabelung dar. Die roten Linien zeigen die softwaretechnische Verknüpfung der Bauteile. Das Touch-Display dient als Benutzeroberfläche und Bedienelement für unser Produkt.

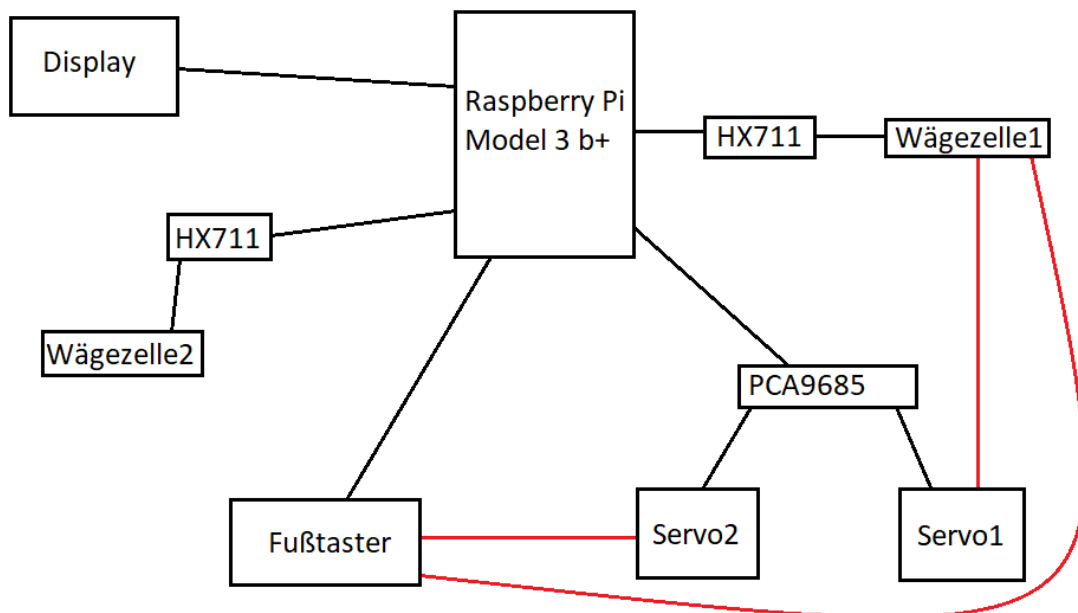


Abbildung 11 - Aufbau der Schaltung

Wägezelle2 misst den Füllstand der Schütte und befindet sich unter der Schütte. Dieser Messwert beeinflusst kein weiteres Bauteil, sondern dient dem Benutzer als Anzeige, um die Schütte bei Bedarf neu zu befüllen. Mit Wägezelle1 wird der Wiegebehälter bzw. dessen Inhalt gemessen. Der Messwert der Wägezelle1 steuert direkt Servo1, welcher den Mechanismus an der Schütte bedient, um den Öffnungsgrad und die Dauer festzulegen. Wenn die Wägezelle1 das Zielgewicht erreicht hat und dann der Fußtaster betätigt wird, bekommt Servo2 ein Signal, welches die Öffnung am Wiegebehälter öffnet. Die Bohnen fließen nun in den Trichter und werden in die Tüte geleitet.

Die Software

Als Programmiersprache wird Python3 genutzt. Um die Benutzeroberfläche zu entwickeln wird das Python3 Interface *Tkinter* verwendet. Da die Benutzeroberfläche nicht bearbeitet werden kann, während das Programm in z.B. einer While-Schleife arbeitet, werden Threads genutzt. Hierbei zählt die Oberfläche an sich als ein eigener Thread. Sobald der "Start"-Button gedrückt wird, startet ein zweiter Thread, welcher die Abfüllung steuert. Dieser Thread ermöglicht die Bearbeitung der Oberfläche während des Abfüllens. Um diesen Abfüll-Thread zu unterbrechen, wurde ein "Stop"-Button eingebunden. Durch das Betätigen dieses Buttons, wird ein zweiter Thread gestartet, welches den ersten Thread beendet. Da es in Python 3 keine Funktion gibt, um einen Thread zu beenden, wird eine boolesche Hilfsvariable verwendet. Sobald diese auf "True" gesetzt wird, wird die Abfüllung gestoppt und somit der Thread beendet.

Bei der Abfüllung wird geprüft, ob sich das aktuell gemessene Gewicht im Wiegebehälter unter dem Zielgewicht befindet. Wenn das zutrifft und der Thread nicht unterbrochen werden soll, wird geprüft, um wie viel Gramm sich das Zielgewicht und das aktuelle Gewicht unterscheidet. Diese beiden Prüfungen sind auf Abbildung 12 bin Zeile 162 und Zeile 163 zu finden. Im Programmcode finden sich für verschiedene Messwerte der Waage unterschiedliche Öffnungszeiten des Mechanismus an der Schütte. Es gibt für die häufigsten Abfüllgewichte eine größere Vordosierung. Wenn z.B. 1 kg abgefüllt werden soll, wird die Öffnung 3,7 Sekunden geöffnet. Dadurch fließen ca 850g in die Wiegebehälter. Wenn 500 Gramm abgefüllt werden sollen, wird die Öffnung 2 Sekunden geöffnet. Dabei fließen ca. 400 Gramm in den Wiegebehälter. Durch die große Vordosierung, sollen schnellere Abfüllzeiten erreicht werden. In Abbildung 12 sind alle Einstufungen zu sehen.

Um die Servomotoren anzusteuern, wird PWM (Pulsweitenmodulation) genutzt. Darüber lassen sich die Servomotoren präziser positionieren. Im Programmcode in Zeile 164 ist zu sehen, wie der Servomotor, welcher den Mechanismus an der Schütte bedient, geöffnet wird. Nach 3,7 Sekunden wird die Öffnung dann wieder geschlossen. Um dem Servomotor genug Zeit zu geben um die Öffnung zu schließen, wird 0,3 Sekunden gewartet.

```

162  ✓ while val_A < wanted_weight and self.kill_thread == False:
163  ✓     if val_A <= wanted_weight - 795:
164         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_auf)
165         time.sleep(3.7)
166         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_zu)
167         time.sleep(0.3)
168  ✓     elif val_A <= wanted_weight - 495:
169         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_auf)
170         time.sleep(2)
171         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_zu)
172         time.sleep(0.3)
173  ✓     elif val_A <= wanted_weight - 180:
174         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_auf)
175         time.sleep(0.9)
176         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_zu)
177         time.sleep(0.3)
178         #Dosiert je iteration ca 50g
179  ✓     elif val_A <= wanted_weight - 70:
180         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_auf)
181         time.sleep(0.55)
182         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_zu)
183         time.sleep(0.4)
184         #durchschnittlich 20g schritte
185  ✓     elif val_A <= wanted_weight - 15:
186         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_auf)
187         time.sleep(0.3)
188         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_zu)
189         time.sleep(0.6)
190         #durchschnittlich 1-3g Schritte
191  ✓     else:
192         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_auf)
193         time.sleep(0.22)
194         self.pwm.set_pwm(0,0,self.servo_zu)
195         time.sleep(0.4)

```

Abbildung 12 - Programmcode Abfüllung

Der finale Aufbau

Abbildung 13 zeigt die 3D-Darstellung des finalen Gesamtaufbaus. Das Gerüst, bestehend aus Aluminiumprofilen, ist, wie auch der Vorbau, mit der Holzplatte verschraubt.

Die Rückwand des Vorbaus ist an der Querstrebe (Aluminium-Profil) befestigt. Neben den Verschraubungen mit der Bodenplatte sorgt auch diese Befestigung dafür, dass der Vorbau stabil steht. Um die Bohnen auf idealem Weg in die Tüte zu lenken, wurde unter dem Wiegebehälter der ehemalige Teigdosierer (Abfülltrichter) angebracht. Dieser ist mit dem Profil-Gestell verbunden. In Abbildung 13 ist das Scharnier zu erkennen, welches sich im Bild hinten links unter dem Behälter befindet, um diesen zu stabilisieren.

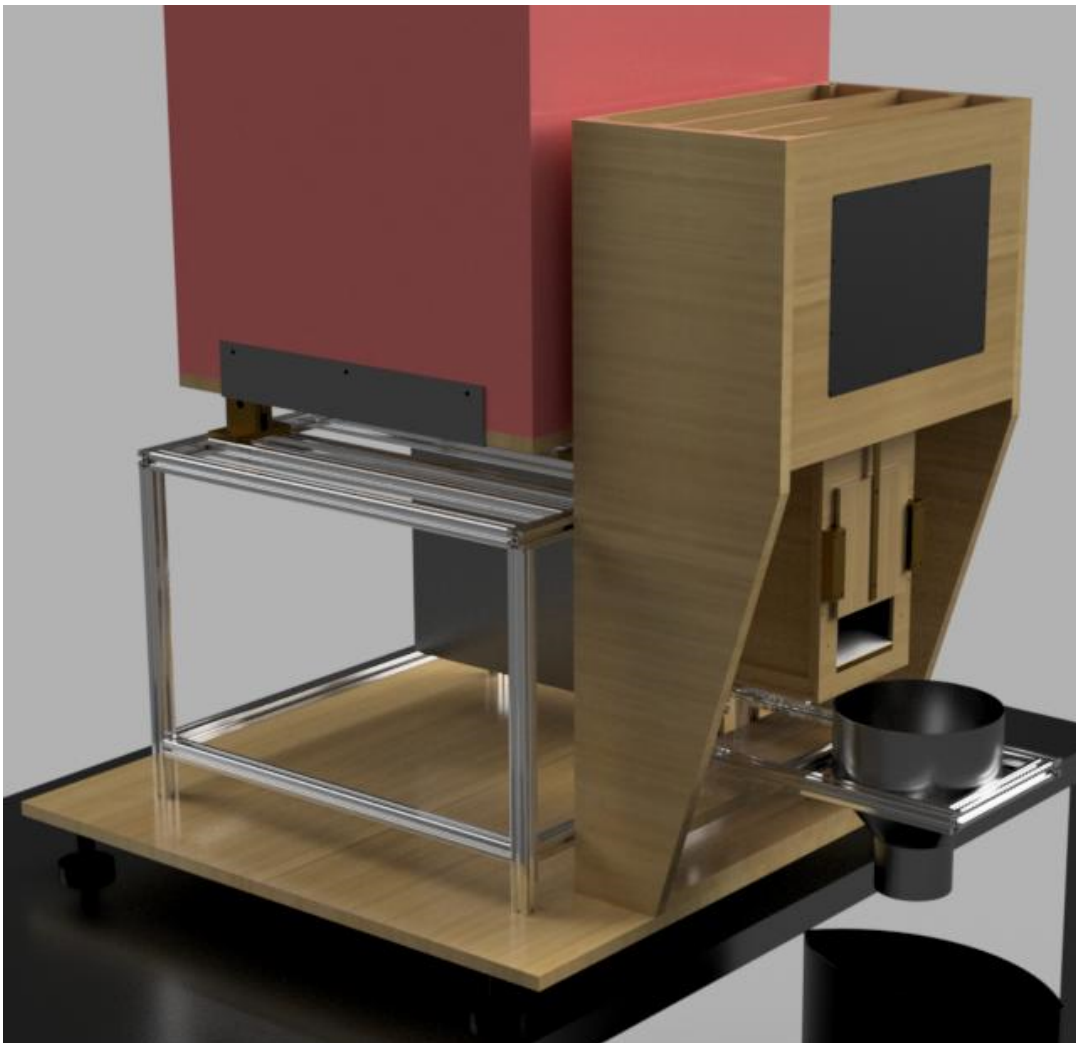


Abbildung 13 - Der finale Aufbau - 3D Modell

Die Umsetzung des in Abbildung 13 dargestellten 3D-Modells ist in Abbildung 14 zu sehen. Dieser Aufbau ist funktionsfähig und beinhaltet alle nötigen elektronischen Bauteile, um die Anforderungen des Kunden zu erfüllen. Auch die Software ist funktionsfähig. Der Wiegebehälter ist im Innenraum mit Edelstahl verkleidet, um die Lebensmittelechtheit zu gewährleisten.



Abbildung 14 - Der finale Aufbau - Umsetzung des 3D-Modells