

# Funktionsanalyse der Hauptfunktionen: Boilerbefüllung / Tassenwärmung / Milchsäumen

Dokumentation im Rahmen einer FMEA für einer Siebträger-Espressomaschine  
im Modul Absicherung von Fahrzeugfunktionen (F4030.2)

Dozent: Dipl.-Ing. Armin Rohnen LbA

Stand: 21.05.2020  
Verfasserin: Nermin Arbi  
Matrikelnummer: 40519116

## 1 Kurzfassung / Abstract

Die Dokumentation befasst sich mit einer Funktionsanalyse der Hauptfunktionen: Boilerbefüllung, Tassenwärmung und Milchsäumen einer Siebträger Espressomaschine. Im Bericht werden die Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen, die beteiligte mechanische Komponenten, die beteiligte elektrische/elektronische Komponenten und die Softwarefunktionen dargelegt und beschrieben.

## 2 Verzeichnis Formelzeichen

°	grad
bar	Druck in bar
C	Celsius
L	Liter

## 3 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
ELSA	Einfach Lösbarer Steck-Anschluss
evtl.	Eventuell
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis Fehler-Möglichkeiten und Einfluss Analyse
ggf.	gegebenfalls
NTC	Negative Temperature Coefficient
PIC	Programmable Interrupt Controller
PTFE	Polytetrafluorethylen
SSR	Solid state relais
z. B.	zum Beispiel

## 4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schaltbild der Funktion Boilerbefüllung (Abschnitt aus Anhang [HP]) .....	7
Abbildung 2: Schaltbild der Funktionen Tassenwärmung und Milchsäumen (Abschnitt aus Anhang[HP]) .....	12

## 5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufteilung der Funktion Boilerbefüllung .....	6
Tabelle 2: Aufteilung der Funktion Boilerdruck .....	9
Tabelle 3: Aufteilung der Funktion Tassenwärmung.....	12
Tabelle 4: Aufteilung der Funktion Milchsäumen .....	12

## 6 Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung / Abstract.....	2
2	Verzeichnis Formelzeichen.....	2
3	Abkürzungsverzeichnis.....	2
4	Abbildungsverzeichnis.....	3
5	Tabellenverzeichnis.....	3
6	Inhaltsverzeichnis.....	4
7	Einleitung.....	5
8	Aufgabenstellung.....	5
9	Funktionsanalyse der Hauptfunktionen:.....	6
9.1	Boilerbefüllung.....	6
9.1.1	Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen .....	6
9.1.2	Beteiligte Komponenten.....	7
9.1.2.1	beteiligte mechanische Komponenten.....	7
9.1.2.2	beteiligte elektrische/elektronische Komponenten.....	8
9.1.2.3	Softwarefunktionen.....	9
9.2	Boilerdruck.....	9
9.2.1	Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen .....	9
9.2.2	Beteiligte Komponenten.....	10
9.2.2.1	beteiligte mechanische Komponenten.....	10
9.2.2.2	beteiligte elektrische/elektronische Komponenten.....	11
9.2.2.3	Softwarefunktionen.....	11
9.3	Tassenwärmung und Milchsäumen.....	11
9.3.1	Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen ....	11
9.3.2	Beteiligte Komponenten.....	13
9.3.2.1	beteiligte mechanische Komponenten.....	13
9.3.2.2	beteiligte elektrische/elektronische Komponenten.....	13
9.3.2.3	Softwarefunktionen.....	13
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	14
11	Literatur-/Quellenverzeichnis.....	14
12	Anhang.....	15
12.1	Hydraulikplan [HP].....	15

## 7 Einleitung

Im Wintersemester 16/17 entstand die Idee eine Siebträger-Espressomaschine und labortechnischen Espressomaschine zu entwickeln. Ziel dieser Entwicklung ist es, alle Espressomaschinen, die auf dem Markt sind, abbilden zu können. Sie soll in allen geschmacksgebenden Größen, wie Wassertemperatur und Dampfdruck, einstellbar sein. Dieses Projekt wurde in verschiedene Teilaufgaben unterteilt, welche im Rahmen von Bachelor- und Projektarbeiten bewältigt werden sollen.

Das Besondere an der Espressomaschine ist das Dual-Boiler-Konzept d.h, dass die Produktion von Dampf und Heißwasser getrennt stattfindet. Das hat den Vorteil der genaueren, konstanten und unabhängigen Temperierung von Dampf und Wasser. Außerdem, wird die benötigte Temperatur des Wassers, welches in die Brühgruppe geleitet wird, durch Mischung von heißem und kaltem Wasser mittels Dosierventile erreicht. Dadurch kann die Temperatur exakt und schnell eingestellt werden.

Insgesamt sollen vier Varianten der Espressomaschine konstruiert werden:

1. Die Laborvariante mit einem 3,6 Liter Stahlboiler und einer Brühgruppe.
2. Die Baristavariante mit einem 7,2 Liter Stahlboiler und zwei Brühgruppen.
3. Die Homevariante mit einem 1,8 Liter Stahlboiler und einer Brühgruppe.
4. Die Stylevariante mit Borosilikatboiler und einer Brühgruppe.

Die FMEA wird für die Variante mit 1,8 bzw. 3,6 Liter Stahlboiler durchgeführt.

## 8 Aufgabenstellung

Für die Hauptfunktionen

1. Espresso Bezug (1 Tasse, 2 Tassen), Teewasserbezug (Michael Urbin)
2. Boilerbefüllung / Tassenwärmung / Milchsäumen (Nermin Arbi)
3. Rückspülung / Spülung (Danilo Sladoje)
4. halbautomatische Entkalkung (Alexander Egger)

sind Dokumentationen (Bericht) und Präsentationen für die Funktionsanalyse anzufertigen.

Im Inhalt von Bericht und Präsentation müssen dargelegt und beschrieben sein:

- Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen
- beteiligte mechanische Komponenten
- beteiligte elektrische/elektronische Komponenten
- Softwarefunktionen

Im Bericht muss die Beschreibung in "technischer Prosa" überwiegen. Höchstens 15% des Berichts dürfen in Tabellen- oder Aufzählungsform gestaltet sein.

Präsentationstermin: 18. Mai 2020

[Moodle]

## 9 Funktionsanalyse der Hauptfunktionen:

Die Funktionsanalysen dieser Dokumentation haben den gleichen Aufbau. Es wird empfohlen den Abschnitt 9.1 als erstes zu lesen um den Verlauf der Analyse zu verstehen.

### 9.1 Boilerbefüllung

#### 9.1.1 Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen

Der Dampfboiler wird beim Anschalten der Maschine automatisch zu zwei Dritteln mit Wasser befüllt. Das verbleibende Drittel des Volumens wird, zu einem späteren Zeitpunkt, vom Wasserdampf eigenommen (siehe Abschnitt 9.2.1).

Die Füllstandhöhe wird kontinuierlich überwacht. Fällt diese unter einen bestimmten Wert wird den Boiler neu befüllt.

Die Hauptfunktion *Boilerbefüllung* kann, wie folgt (siehe Tabelle 1), in Unter- und Elementarfunktionen aufgeteilt werden.

Hauptfunktion	Unterfunktion	Elementarfunktion	
Boilerbefüllung	Ventile steuern		
	Füllstandserkennung		
	Pumpensteuerung		
	Dicht bleiben	Dichtung	
	Verkalkungsschutz		Leitfähigkeit erfassen
			evtl. Nutzer warnen
			evtl. abschalten

Tabelle 1: Aufteilung der Funktion Boilerbefüllung

#### Ablauf der Funktion:

Mit Hilfe des Hydraulikplans (siehe Abb.1) kann der genauere Ablauf der Funktion nachverfolgt werden.

Im ersten Schritt werden die Magnetventile Y01 und Y03 geöffnet. Danach treibt ein Motor die Pumpe an und fördert das Frischwasser in den Boiler. Auf dem Weg zur Boiler wird die Leitfähigkeit des Wassers erfasst und ggf. den Nutzer gewarnt bzw. die Maschine abgeschaltet. Die Pumpe fördert weiter bis die benötigte Füllhöhe (zwei Drittel des Boilersvolumens) erreicht wird. Dies wird über ein Füllstandsensoren überprüft. Als letzter Schritt werden die Magnetventile Y01 und Y03 geschlossen. Denselben Füllstandsensoren überwacht kontinuierlich die Füllstandhöhe. Fällt diese unter dem Grenzwert wird die Pumpe vom Motor neu angetrieben und den Boiler neu befüllt.

Parallel zur Funktion muss sichergestellt werden, dass die Magnetventile Y02, Y04, Y05 und Y06 nicht defekt oder falsch gesteuert sind. Wenn diese oder die passive Komponenten (siehe 9.1.2) fehlerhaft sind könnte die Hauptfunktion beeinträchtigt werden.

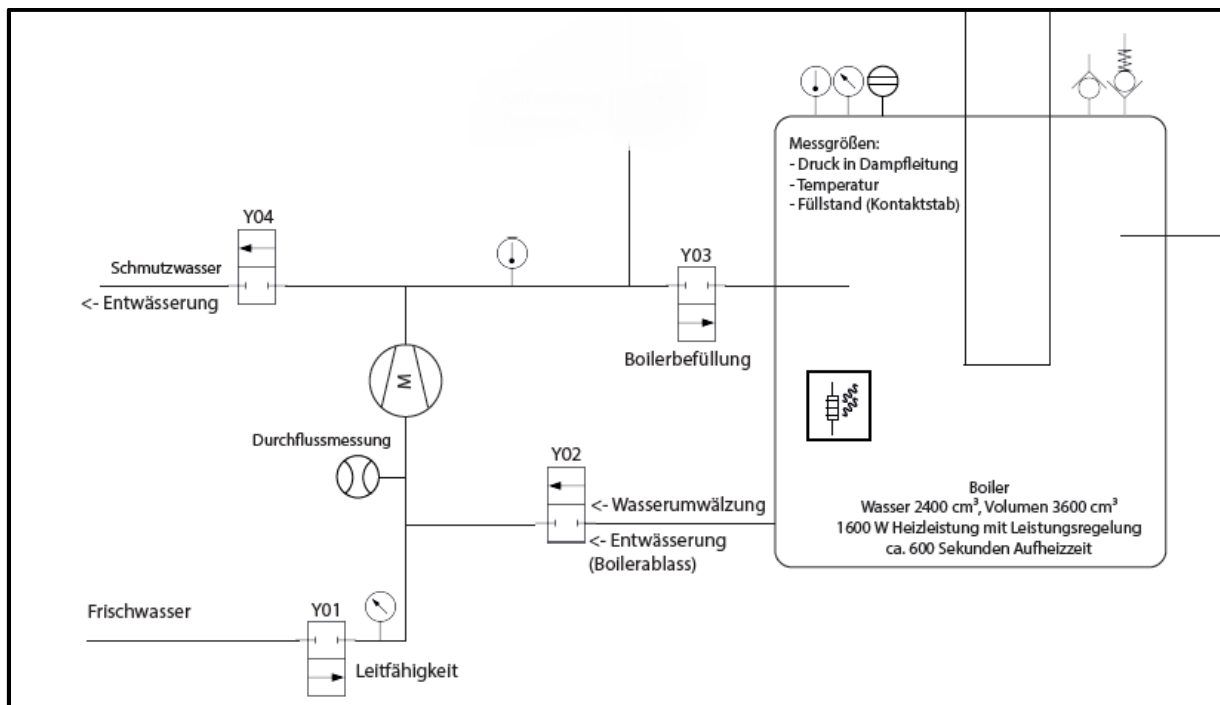


Abbildung 1: Schaltbild der Funktion Boilerbefüllung (Abschnitt aus Anhang [HP])

Im weiteren Verlauf werden alle Komponenten, die in der Durchführung der Funktion beteiligt sind, aufgelistet.

## 9.1.2 Beteiligte Komponenten

Die beteiligten Komponenten können in mechanische-, in elektrische-/Elektronische-Komponenten und in Softwarefunktionen aufgeteilt werden. Die Komponenten die im beschriebenen Ablauf (siehe Abschnitt 9.1.1) erwähnt wurden sind aktive Komponenten. In diesem Abschnitt werden auch die passiven Komponenten aufgelistet (Blau markiert). In dieser Dokumentation wird der Begriff „aktive Komponente“ für die Komponente, die notwendig zur Durchführung der Funktion ist, benutzt und der Begriff „passive Komponente“ für die, die nicht notwendig ist aber trotzdem aktiviert wird, weil sie sich auf dem Schaltweg befindet.

### 9.1.2.1 beteiligte mechanische Komponenten

Ein wichtiger Bestandteil ist die Baugruppe Boiler. Diese besteht aus:

- Stahlboiler 1,8 bzw. 3,6 Liter (Boilerzylinder) aus dem Material AISI 316L [MK]
- Boilerdeckel und –Boden
- Dichtung, Flachdichtung aus PTFE
- Schrauben
- [Isolierung \(vollumfängliche 25mm Armaflex-Isolierung\)](#)
- ELSA Anschlüsse für den Wasser Zu- und Ablauf
- Wasser- und Dampfleitungen
- [Wasserwendel](#)
- [Heizelemente](#)

Neben der Baugruppe Boiler sind folgende Komponente in der Realisierung der Funktion *boilerbefüllung* beteiligt:

- Rotationspumpe
- Die Magnetventile Y01, Y03, Y02, Y04, Y05 und Y06, 2Wegeventile

### 9.1.2.2 *beteiligte elektrische/elektronische Komponenten*

Komponenten der Baugruppe Boiler:

- **Einschraubtemperaturfühler**
- Füllstandsensoren (Messstab, Kurzschlussdetektion)
- **Drucksensoren**
- **Überdruckventile**
- **Unterdruckventile (Anti-Vakuum Ventile)**

Komponenten die nicht zur Baugruppe Boiler gehören:

- 24V DC Motor (treibt Pumpe an)
- Die Magnetventile Y01, Y03, Y02, Y04, Y05 und Y06, 2Wegeventile
- Leitwertensoren
- **Durchflussmesser (Flowmeter)**
- **Temperatursensoren (NTC-Temperatursensoren)**
- **Raspberry Pi 3B** (mini-computer) Dieser Mikrocomputer soll die Eingangs- und Messsignale überwachen, auswerten, weiterverarbeiten und entsprechende Steuersignale an die Ausgänge senden. (für die Laborvariante 3,6L) oder **PIC (Mikrocontroller)** (für die Homevariante 1,8L)
- **Temperaturplatine (NTC-Messplatine)**
- U-Messplatine für Spannungsmesser
- SSR-Insel (Solid State Relais) , in diesem Fall zum Schalten der Magnetventile und Pumpe
- Basisplatine, zum Erfassen von Füllstand und **Durchflussmenge** und zum treiben des DC-Motors
- 24V Spannungswandler
- Verkabelung

Diese Elektrische- bzw. Elektronische- Komponenten sind Teil einer Messkette. Die physikalischen Größen werden mittels die oben genannte Sensoren aufgenommen, in elektrische Signale konvertiert und an die jeweilige Platine weitergeleitet. Diese Signale werden von der Software benötigt. Welche Softwarefunktionen mittels diese Signale durchgeführt werden, sind im folgendem aufgelistet.



### 9.1.2.3 Softwarefunktionen

Die Steuerung der Laborvariante basiert auf einem Raspberry Pi 3B und einer Softwarekombination aus Python Skripten und MATLAB®-GUI. Bei der Homevariante ist eine PIC-Lösung über einen MATLAB® kompatiblen I2C/SPI-Host-Adapter vorgesehen.

Damit lassen sich in beide Fälle folgende Softwarefunktionen für die Hauptfunktion *Boilerbefüllung* durchführen:

- Füllstandsregelung
- Pumpenregelung

Der genauer Ablauf und die beteiligte Komponenten zur Realisierung dieser Softwarefunktionen sind unter 9.1.1 zu finden.

## 9.2 Boilerdruck

Bei der Funktionsanalyse wurde festgestellt, dass die Funktion *Boilerdruck* unabhängig von den anderen Funktionen ist. Diese Hauptfunktion wird von den Funktionen *Tassenwärmung* und *Milchsäumen* abgerufen und könnte auch getrennt durchgeführt werden (der Druck im Boiler ist frei wählbar). Im Folgenden wird die Funktion *Boilerdruck* analysiert.

### 9.2.1 Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen

Ziel dieser Funktion ist die Dampferzeugung. Das Wasser im geschlossenen Boiler wird erhitzt und ein Teil davon verdampft bis sich der Dampf mit dem Wasser im thermodynamischen Gleichgewicht befindet. Somit stellt sich ein Druck im Boiler ein, der sogenannte Dampfdruck. Die Funktion heißt *Boilerdruck* weil, der Druck im Boiler, bis zu einem Grenzwert, frei einstellbar ist.

Der erzeugte Dampf ist für die *Tassenwärmung*- bzw. *Milchsäumen*-Funktion erforderlich.

Die Hauptfunktion *Boilerdruck* kann, wie folgt (siehe Tabelle 2), in Unter- und Elementarfunktionen aufgeteilt werden.

Hauptfunktion	Unterfunktion	Elementarfunktion
Boilerdruck	Druckregelung	Druckmessung
		Temperaturmessung (Sicherheitsfunktion)
		Heizelement Steuerung
		PID-Druckregler
	Temperatur speichern	Isolierung
	Überdruckschutz	Überdruckventil
	Unterdruckschutz	Anti-Vakuum-Ventil

Tabelle 2: Aufteilung der Funktion *Boilerdruck*

### Ablauf der Funktion:

Im ersten Schritt wird das Heizelement eingeschaltet und erhitzt somit das Wasser. Das Wasser soll auf Siedetemperatur gebracht werden, wodurch ein Teil davon verdampft und das letzte Drittel des Boilersvolumens einnimmt. Durch die Entstehung von Wasserdampf baut sich in dem geschlossenen Behälter ein Druck auf, der sogenannte Dampfdruck. Durch den Druckanstieg erhöht sich zugleich die Siedetemperatur. Ab diesen Punkt gibt es zwei Möglichkeiten:

- Wenn die Funktion durchgeführt wird weil der Nutzer über die Bedienung „Aktion Dampf“ ausgewählt hat, werden die Siedetemperatur von 120 °C und ein Dampfdruck von 1,3 bar angestrebt.
- Wenn die Funktion durchgeführt wird weil der Nutzer ein Boilerdruck frei eingestellt hat, wird der eingestellte Wert angestrebt.

Anhand des jeweiligen Drucks, welcher abhängig von der Temperatur ist, wird der Dampferzeugungsprozess PID-geregt (Elementar- und zugleich Softwarefunktion). Dafür werden Temperatur und Druck mittels die im Boiler eingebaute Sensoren erfasst. Die Temperaturmessung erfolgt nur als Sicherheit.

Parallel dazu laufen automatisch die Unterfunktionen *Überdruck-, Unterdruckschutz und Temperatur speichern*:

- Falls bei der Abkühlung des Boilers ein Unterdruck entsteht, öffnet sich das Anti-Vakuum-Ventil automatisch und der Innendruck des Boilers kann sich dem Umgebungsdruck anpassen, wodurch das Zusammenziehen des Dampfboilers verhindert wird. (mechanischer Schutz, wird nicht geregelt bzw. gesteuert.)
- Falls der Druck im Boiler den Auslösedruck des Überdruckventils von 2 bar überschreitet, gibt dieser den Druck automatisch frei.
- Die Funktion *Temperatur speichern* erfolgt über der mechanischen Komponente Isolierung.

## 9.2.2 Beteiligte Komponenten

### 9.2.2.1 *beteiligte mechanische Komponenten*

Die in dieser Funktion beteiligten mechanischen Komponenten gehören alle zur Bauteilgruppe Boiler:

- Stahlboiler 1,8 bzw. 3,6 Liter (Boilerzylinder) aus dem Material AISI 316L [MK]
- Boilerdeckel und –Boden
- Dichtung, Flachdichtung aus PTFE
- Schrauben
- Isolierung(vollumfängliche 25mm Armaflex-Isolierung)
- ELSA Anschlüsse für den Wasser Zu- und Ablauf
- Wasser- und Dampfleitungen
- [Wasserwendel](#)
- Heizelemente

### 9.2.2.2 *beteiligte elektrische/elektronische Komponenten*

Die in dieser Funktion beteiligten elektrischen/elektronischen Komponenten die zur Baugruppe Boiler gehören sind:

- Einschraubtemperaturfühler
- Füllstandsensor (Messstab, Kurzschlussdetektion)
- Drucksensor
- Überdruckventil
- Unterdruckventil(Anti-Vakuum Ventil)

Die die Außerhalb liegen sind:

- **Raspberry Pi 3B** (für die Laborvariante 3,6L) oder **PIC** (für die Homevariante 1,8L)
- Temperaturplatine (NTC-Messplatine)
- U-Messplatine für Spannungsmesser
- 24V Spannungswandler
- Verkabelung

### 9.2.2.3 *Softwarefunktionen*

Die Softwarefunktionen der Hauptfunktion *Boilerdruck* sind:

- Druckregelung
- Heizungsregler (Heizelementsteuerung)
- Bedienung („Aktion Dampf“ und freier Boilerdruckeinstellung)

Die Bedienung der Maschinen erfolgt über ein resistives Touch-Display. Basierend auf der Programmierung der labortechnischen Espressomaschine werden die einzelnen Funktionalitäten über den jeweils eingesetzten PIC-Mikrocontroller realisiert.[Status]

Für Druckregelung und Heizelementsteuerung sind genauer Ablauf und beteiligte Komponenten zur Realisierung dieser Softwarefunktionen unter 9.2.1 zu finden.

## 9.3 Tassenwärmung und Milchsäumen

Diese zwei Funktionen werden Zusammen analysiert weil, sie bis auf eine Unterfunktion komplett identisch verlaufen.

### 9.3.1 Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen

Die *Tassenwärmung* und das *Milchsäumen* erfolgen mittels des im Boiler erzeugten Dampfs (siehe Abschnitt 9.2)

Die Hauptfunktionen *Tassenwärmung* und *Milchsäumen* können, wie folgt (siehe Tabelle 3 und 4), in Unter- und Elementarfunktionen aufgeteilt werden.

Hauptfunktion	Unterfunktion	Elementarfunktion
Tassenwärmung durch Dampf	Boilerdruck	(siehe Hauptfunktion <i>Boilerdruck</i> Abschnitt 9.2)
	Ventile steuern	

Tabelle 3: Aufteilung der Funktion Tassenwärmung

Hauptfunktion	Unterfunktion	Elementarfunktion
Milchsäumen	Boilerdruck	(siehe Hauptfunktion <i>Boilerdruck</i> Abschnitt 9.2)
	Manuelles öffnen	

Tabelle 4: Aufteilung der Funktion Milchsäumen

Ablauf der Funktionen:

Mit Hilfe des Hydraulikplans (siehe Abb.2) kann der genauere Ablauf der beiden Funktionen nachverfolgt werden.

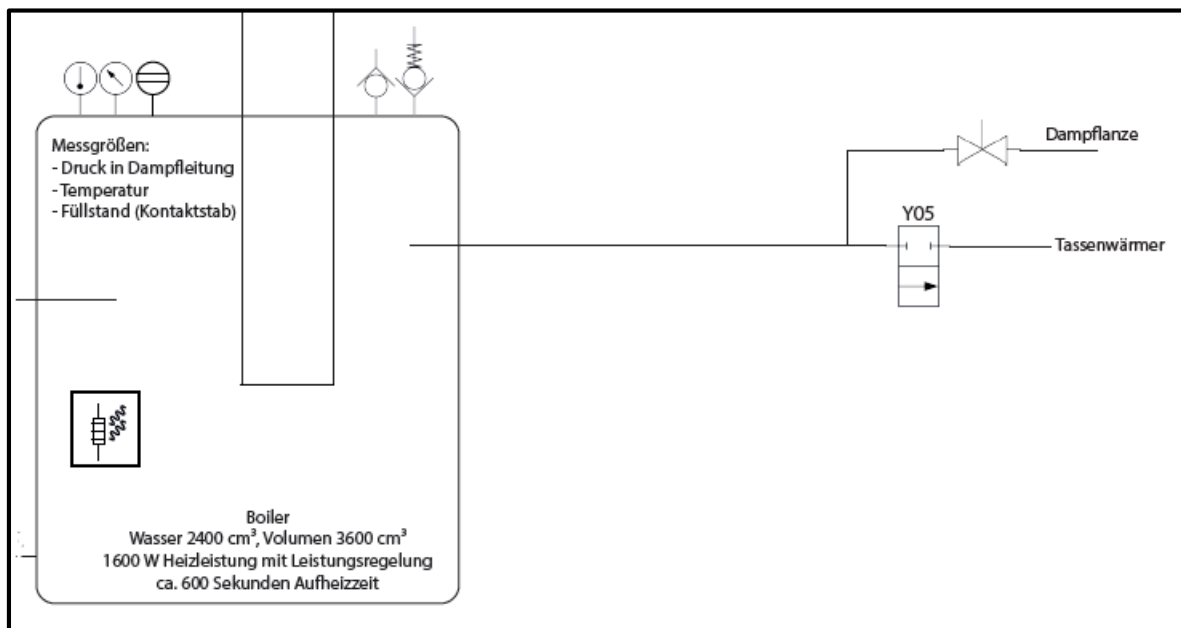


Abbildung 2: Schaltbild der Funktionen Tassenwärmung und Milchsäumen (Abschnitt aus Anhang[HP])

Für beide Funktionen *Tassenwärmung* und *Milchsäumen* wird zuerst die Funktion *Boilerdruck* durchgeführt (für den genaueren Ablauf dieser Funktion siehe Abschnitt 9.2.1). Danach, wird für die Funktion *Tassenwärmung* das Magnetventil Y05 geöffnet und für die Funktion *Milchsäumen* wird der Wasserdampf über das Dampfrohr entnommen und weiter an die Dampfpflanze geleitet, Der Nutzer muss nur noch Manuell öffnen.

## 9.3.2 Beteiligte Komponenten

### 9.3.2.1 *beteiligte mechanische Komponenten*

Die in diesen Funktionen beteiligten mechanischen Komponenten sind die Baugruppe Boiler, die Dampfzange, der Tassenwärmer und der Magnetventil.

- Stahlboiler 1,8 bzw. 3,6 Liter (Boilerzylinder) aus dem Material AISI 316L [MK]
- Boilerdeckel und –Boden
- Dichtung, Flachdichtung aus PTFE
- Isolierung(vollumfängliche 25mm Armaflex-Isolierung)
- Schrauben
- ELSA Anschlüsse für den Wasser Zu- und Ablauf
- Wasser- und Dampfleitungen
- Wasserwendel
- Heizelemente
- Dampfzange
- Tassenwärmer
- Magnetventil Y05, 2Wegeventil

### 9.3.2.2 *beteiligte elektrische/elektronische Komponenten*

Bauteile die zur Baugruppe Boiler gehören:

- Einschraubtemperaturfühler
- Füllstandsensord (Messstab, Kurzschlussdetektion)
- Drucksensor
- Überdruckventil
- Unterdruckventil(Anti-Vakuum Ventil)

Bauteile die Außerhalb des Boilers liegen :

- Magnetventile Y05, 2Wegeventile
- **Raspberry Pi 3B** (für die Laborvariante 3,6L) oder **PIC** (für die Homevariante 1,8L)
- Temperaturplatine (NTC-Messplatine)
- U-Messplatine für Spannungsmesser
- SSR-Insel (Solid State Relais) , in diesem Fall zum Schalten des Magnetventils
- 24V Spannungswandler
- Verkabelung

### 9.3.2.3 *Softwarefunktionen*

Hier werden die gleichen Softwarefunktionen wie bei der Funktion *Boilerdruck* benötigt (siehe 9.2.3). Nur wird die Bedienung für die „Aktion Tassenwärmung“ gebraucht.

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Dokumentation, zusammen mit den Dokumentationen der anderen Teammitglieder, dient als Übersicht über die Funktionalität des Produkts und als Grundlage für die Fehleranalyse.

Die FMEA muss noch um der Hauptfunktion *Boilerdruck* (Abschnitt 9.2) erweitert werden.

## 11 Literatur-/Quellenverzeichnis

- [Moodle] <https://moodle.hm.edu/mod/page/view.php?id=467651> (Aufgerufen am 05.05.2020)
- [Skript] Dipl.-Ing Armin Rohnen LbA, Skript Absicherung Fahrzeugfunktionen
- [FMEA] 20200502\_FMEA.xlsx
- [Status] Status espressomaschine (Stand: 23.03.2020)
- [HP] Hydraulikplan (Stand: 17.04.2020)
- [MK] Maschinenkonstruktion (Projektarbeit)
- [BA1] Borosilikatglasboiler (Bachelorarbeit)
- [in] Inbetriebnahme kalte Brühgruppe (Projektarbeit)
- [BA2] Labortechnische espressomaschine (Bachelorarbeit)
- [BA3] Aktueller Stand Elektronikentwicklung (Bachelorarbeit)

## 12 Anhang

### 12.1 Hydraulikplan [HP]

