



Funktionsanalyse zur Rückspülung und Spülung einer Siebträger-Espressomaschine

Betreuer: Dipl. -Ing. A. Rohnen

Verfasser: Danilo Sladoje (59802316)

Abgabetermin: 18.05.2020

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Allgemeines	3
3. Funktionsanalyse Rückspülung/Spülung	3
3.1. Rückspülung	4
3.1.1. Aktueller Konzeptstand	4
3.1.2. Beteiligte Komponenten	4
3.2. Spülung	6
3.2.1. Aktueller Konzeptstand	6
3.2.2. Beteiligte Komponenten	6
4. Softwarefunktionen	7
5. Ausblick	7
6. Quellenangaben	8

1. Einleitung

Im Rahmen der Lehrveranstaltung „Absicherung von Fahrzeugfunktionen“ wurden Aufgabenpakete vergeben, die sich auf die Funktionalitäten einer Siebträger-Espressomaschine und labortechnischen Espressomaschine, beziehen. Im Rahmen dieser Arbeit soll eine Funktionserklärung und Aufteilung in Unterfunktionen und Elementarfunktionen zur Rückspülung und Spülung erfolgen. Außerdem soll auf die beteiligten mechanischen sowie elektrischen/elektronischen Komponenten und die Softwarefunktionen eingegangen werden. Diese Arbeit ist Teil einer FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) der Siebträger-Espressomaschine.

2. Allgemeines

Kaffeebohnen enthalten einen Fettanteil, der enorm wichtig für die Kreation der Crema auf dem Espresso ist. Noch dazu ist er Träger der verschiedenen Geschmacksrichtungen. Der Fettgehalt steht im direkten Zusammenhang mit der Qualität des Kaffees. Jedoch lagern sich die enthaltenen Kaffeefette mit der Zeit an Oberflächen, mit denen der Kaffee in Berührung kommt, in der Maschine ab. Diese können den Kaffeegeschmack verändern, sodass der Kaffee in der Tasse einen meist qualitativ schlechteren Geschmack annimmt. Dies wird vor allem durch die warmen Temperaturen in der Maschine begünstigt. Die berühmte „Crema“ des Espresso besteht aus Lipiden (Kaffeefetten), dabei ist zu bemerken, dass die Sorte Arabica mehr Lipide als Robusta-Bohnen beinhaltet. Bei der Rückspülung und Spülung der Espressomaschine sollen die Kaffeerückstände aus der Brühgruppe und den Leitungen entfernt werden.

3. Funktionsanalyse Rückspülung/Spülung

In der Nachfolgenden Tabelle 1 werden die Hauptfunktionen und die dazu entsprechenden Unter- und Elementarfunktionen aufgezeigt.

Tabelle 1: Haupt-, Unter- und Elementarfunktionen der Rückspülung/Spülung

Hauptfunktion	Unterfunktion	Elementarfunktion		
Rückspülung	Pumpensteuerung	Steigenden Systemdruck erkennen		
	Spülwassertemperatur	Kaffeewasser erhitzen Wasser mischen		
	Einwirkzeit			
	Durchflussmenge	Wassertransportmenge		
	Spülwasser ausscheiden			
	Ventile steuern	Entschichtung /Boilerbefüllung Brühgruppe	Alle MV beteiligt außer Y05	Alle MV beteiligt
Spülung	Spülwassertemperatur (Funktion des Kaffeebezugs)	Kaffeewasser erhitzen Wasser mischen		
	Pumpensteuerung			
	Durchflussmenge	Wassertransportmenge		
	Spülwasser ausscheiden			
	Ventile steuern	Entschichtung /Boilerbefüllung Brühgruppe	Alle MV beteiligt außer Y05	Alle MV Beteiligt

3.1. Rückspülung

Der Reinigungsprozess „Rückspülung“ erfolgt durch den Einsatz eines Blindsiebes (ein Sieb ohne Löcher) und dient ausschließlich zur Reinigung der Brühgruppe. Hierbei wird zunächst das Blindsieb in den Siebträger eingelegt. Das Reinigungsmittel ist ein Kaffee fettlöser, welcher mit heißem Wasser vermischt wird. Der Kaffee fettlöser liegt üblicherweise in Tabletten- oder Pulverform vor. Das Blindsieb wird in die Brühgruppe eingespannt und die entstandene Reinigungsflüssigkeit wird durch die verschmutzten Bauteile gefördert. Eine Durchspülung der Brühgruppe erfolgt. Das Blindsieb ermöglicht es einen Überdruck in der Brühgruppe aufzubauen. Der Einsatz des Blindsiebes wird durch den steigenden Druck im System bei gleichzeitiger „Nullförderung“ erkannt. Dadurch wird der Unterschied zwischen einer Rückspülung und Spülung technisch umgesetzt und vom System erkannt. Der Ablauf des Reinigungsprozesses wird durch den Controller der Maschine gesteuert.

3.1.1. Aktueller Konzeptstand

Im nachfolgenden Abschnitt beziehen sich die Daten auf die Status-Datei (vom 23.03.2020) und den Hydraulikplan der labortechnischen Espressomaschine.

Auch wenn das primäre Ziel der Rückspülung die Reinigung der Brühgruppe, aufgrund des direkten Kontakts des Kaffees mit den Maschinenbauteilen, ist, sind noch weitere essenzielle Komponenten an der Funktion beteiligt. Über die Pumpensteuerung wird die benötigte Pumpenleistung gesteuert (1. Unterfunktion). Das Wasser wird durch einen Mischer im Boiler und das Mischsystem auf die richtige Wassertemperatur gebracht. Somit ist als nächste Unterfunktion der Rückspülung, die Spülwassertemperatur (2. UF) zu definieren. Um eine Rückspülung durchzuführen, wird ein Blindsieb mit Reinigungsmittel in die Brühgruppe eingelegt. Über die Pumpensteuerung wird heißes Wasser in die Brühgruppe gepumpt. Das Wasser kann jedoch aufgrund des Blindsiebes nicht durch den Siebträger fließen was einen steigenden Systemdruck zur Folge hat. Ob ein Blindsieb eingesetzt ist kann bei gleichzeitiger „Nullförderung“ erkannt werden. Das aufgeweichte Reinigungsmittel wird in der Brühgruppe durch die verunreinigten Bauteile gefördert. Der Kaffee fettlöser muss eine definierte Zeit einwirken (3. UF), um einen optimalen Reinigungseffekt zu erreichen. Nach vollendeter Einwirkzeit wird das Magnetventil Y08 geöffnet. Das hat zur Folge, dass der Schmutzwasserkanal der Brühgruppe geöffnet wird und das Reinigungsmittel samt Verunreinigungen abgeführt wird (4. UF). Da es sich hier um einen automatisierten Prozess handelt, muss die Durchflussmenge (5. UF) klar definiert und geregelt werden. Dieser Rückspülvorgang wird einige Male wiederholt.

3.1.2. Beteiligte Komponenten

Im Abschnitt 3.1.1 wurde der Aktuelle Konzeptstand der Rückspülfunktion aufgezeigt. Nachfolgend soll auf die mechanischen und elektrischen bzw. elektronischen Komponenten eingegangen werden.

Als erste Unterfunktion der Rückspülung wurde die Pumpensteuerung definiert. Bei der Frischwasserförderung wird von der verbauten Rotationspumpe Wasser in den Zirkulationskreis gepumpt. Hierfür ist als erste Komponente das Magnetventil Y01 beteiligt. Die verbauten Magnetventile werden über SSR (Solid-State-Relais) geschaltet. Solid-State-Relais werden auch Halbleiterrelais genannt und sind keine mechanischen, sondern elektronische Bauelemente, die ohne bewegte Kontakte schalten. Als weitere elektronische

Komponenten werden die Magnetventile Y03 zur Boilerbefüllung und Y06 als Frischwasserbezug für den Mischer angesteuert. Die Unterfunktion „Spülwassertemperatur“ besteht aus den Elementarfunktionen „Wasser erhitzen“ und „Wasser mischen“. An dieser Stelle soll hervorgehoben werden, dass diese Funktion identisch zum Kaffeebezug ist. Das Verhältnis zwischen Kalt- und Warmwasserzufuhr wird durch ein Dosierventil der Fa. AVS Römer beeinflusst. Die Messung der Spülwassertemperatur erfolgt unmittelbar nach dem Mischer durch einen Temperatursensor. Der Temperatursensor ist ein NTC-Sensor (Negative Temperature Coefficient -Sensor) mit einem Widerstand von 10kΩ. Weitere NTC-Sensoren finden ihren Einsatz nach der Rotationspumpe und im Boiler. Diese sind jedoch im Bezug auf die Funktion „Rückspülung“ als passive Komponenten zu deklarieren, da sie nicht im direkten Funktionszusammenhang mit der Rückspülung/Spülung stehen. Wie bereits erwähnt erfolgt bei eingesetztem Blindsieb eine Druckzunahme. Das System erkennt den steigenden Druck, der auf den Kaffeepuck im Siebträger wirkt. Die Erfassung erfolgt durch einen Drucksensor der Fa. AVS Römer der sich im Brühkopf befindet. Das Schmutzwasser wird, nachdem der gewünschte Druckanstieg und die definierte Einwirkzeit erreicht sind, durch das Magnetventil Y08 in den Ablauf befördert. Das Magnetventil Y10 muss geschlossen werden, da eine Reinigung über die Brühgruppe erfolgt. Prinzipiell sind alle Ventile, außer das Ventil Y05 (Tassenwärmer), bei der Rückspülung beteiligt. Jedoch werden diese beiden Ventile an dieser Stelle hervorgehoben, da sie im direkten Zusammenhang mit der Reinigung der Brühgruppe stehen. Die Durchflussmessung erfolgt pumpennah und wird durch einen Flowmeter Nano Brass Durchflussmesser der Fa. Digimesa erfasst.

Zusammenfassend die **aktiv** beteiligten Komponenten der Rückspülfunktion:

- Blindsieb
- 24V DC Motor
- Rotationspumpe
- Boiler
- Heizelemente
- Mischer
- Magnetventile (außer Y05)
- Dosierventil
- Temperatursensoren
- Drucksensor (Brühgruppe)
- Durchflusssensor
- Touch-Display
- Basisplatine
- U-Messplatine
- NTC-Messplatine
- SSR-Insel (samt Halbleiterrelais)
- Raspberry PI bzw. PIC
- Verkabelung
- Wasser-/Dampfleitungen
- Brühgruppe

Zusammenfassend die **passiv** beteiligten Komponenten der Rückspülung:

- Leitwertsensor
- Drucksensor (pumpennaher Systemdruck)

3.2. Spülung

Wie im Kapitel 3.1 erwähnt, liegt der Hauptunterschied einer Spülung zur Rückspülung, in Bezug auf den Reinigungsprozess der Siebträger-Espressomaschine, im Einsatz des Blindsiebes.

3.2.1. Aktueller Konzeptstand

Beim Spülvorgang wird ein normales Sieb eingesetzt und heißes Wasser – ohne Einsatz von Kaffee fettlöser – durch den Siebträger gefördert. Dadurch sollen leichte Verunreinigungen und Kaffeerückstände aus der Brühgruppe beseitigt werden. Prinzipiell gibt es keine Ablaufunterschiede zur Rückspülung, bis auf den fehlenden Druckaufbau in der Brühgruppe aufgrund des fehlenden Blindsiebes und der Schmutzwasserausscheidung. Das Ausscheiden des Schmutzwassers findet nicht über das Rückspülventil, sondern über den Siebträger, statt.

3.2.2. Beteiligte Komponenten

Im Abschnitt 3.2.1 wurde der Aktuelle Konzeptstand der Spülfunktion, im Hinblick auf die Zusammenhänge zur Rückspülung, aufgezeigt. Nachfolgend soll auf die mechanischen und elektrischen bzw. elektronischen Komponenten eingegangen werden.

Analog zur Rückspülung wird bei der Spülung die Pumpensteuerung (1. UF) zum Wassertransport benötigt. Um die optimale Spülwassertemperatur (2. UF) zu erreichen, wird das Frischwasser in den Boiler und in den Mischer geleitet. Über das spezielle Mischverfahren, welches als erkenntnismerkmal dieser Maschine dient, wird die definierte Spülwassertemperatur erzeugt. Die Messung der Spülwassertemperatur erfolgt auch hier unmittelbar nach dem Mischer durch einen Temperatursensor (NTC-Sensor). Das heiße Wasser wird in die Brühgruppe eingeleitet, durchfließt die verunreinigten Bauteile und wird über das normale Sieb in den Abfluss ausgeleitet (3. UF). Auch hier ist zu beachten, dass das Magnetventil Y10 geschlossen wird, da eine Reinigung über die Brühgruppe erfolgt. Die Durchflussmessung findet wie bei der Rückspülung pumpennah statt und wird mittels des Durchflussmessers der Fa. Digmesa erfasst (4. UF). Die vom Durchflussmesser gelieferten Impulse pro Liter werden vom Microcontroller (Raspberry oder PIC) gezählt und verarbeitet. Für die Druckmessung, des sinkenden Systemdrucks, ist der verbaute Drucksensor der Fa. AVS Römer zuständig.

Zusammenfassend die **aktiv** beteiligten Komponenten der Spülfunktion:

- 24V DC Motor
- Rotationspumpe
- Boiler
- Heizelemente
- Mischer
- Magnetventile (außer Y05)
- Dosierventil
- Temperatursensoren
- Drucksensor (Brühgruppe)
- Durchflusssensor
- Touch-Display

- Basisplatine
- U-Messplatine
- NTC-Messplatine
- SSR-Insel (samt Halbleiterrelais)
- Raspberry PI bzw. PIC
- Verkabelung
- Wasser-/Dampfleitungen
- Brühgruppe

Zusammenfassend die **passiv** beteiligten Komponenten der Spülfunktion:

- Leitwertsensor
- Drucksensor (pumpennaher Systemdruck)

4. Softwarefunktionen

Im folgenden Kapitel soll auf die Steuerungselektronik und Steuerungssoftware eingegangen werden.

Das Konzept der Elektronik beinhaltet prinzipiell drei Platinen, die miteinander über einen Mikrokontroller kommunizieren und die Funktionalität der Maschine gewährleisten. Die Basisplatine beinhaltet alle Grundfunktionalitäten und ist das Zentrum der Maschinenelektronik. Bei dieser Espressomaschine kommen zwei Varianten von Messplatinen zum Einsatz. Die Messplatinen sind für die Sensorik zuständig. Über die „NTC-Messplatine“ erfolgt die Signalverarbeitung der Temperatursensoren. Die Signalverarbeitung der spannungsgebenden Sensoren – Drucksensor und Leitfähigkeitssensor – erfolgt auf der „U-Messplatine“. Die verbauten Magnetventile werden, wie im Abschnitt 3.1.2. erwähnt, über Halbleiterrelais geschaltet. Diese Halbleiterrelais befinden sich auf einer SSR-Insel (Platine welche lediglich Halbleiterrelais beinhaltet). Das Signal zum Öffnen und Schließen der SSR wird vom MCU über einen Driver-IC verarbeitet und an die Relais weitergegeben. Die Ansteuerung der Relais erfolgt über einen PIC, wobei jedes Relais über einen PIC-Ausgang an- bzw. ausgeschaltet wird. Die Bedienung der Reinigungsfunktion und deren Auswahl erfolgt über das Touch-Display. Die Steuerung der labortechnischen Variante der Espressomaschine findet über einen Raspberry Microcontroller und nicht wie bei der „Home“-Variante über einen PIC, statt.

Die Regelung der Rückspülung/Spülung erfolgt auf Basis der hinterlegten Programmierung. Bei der Rückspülung bzw. Spülung der Espressomaschine werden folgende Regelungen, unter Einbeziehung der Software, **aktiv** benötigt:

- Pumpenregelung
- Mischerregelung (Kaffeebezugwasserregelung)

5. Ausblick

Die Funktionsanalyse der Rückspülfunktion und Spülfunktion der Espressomaschine hat gezeigt, dass die Rückspülung/Spülung eng mit anderen Hauptfunktionen der Siebträger-Kaffeemaschine verbunden ist. Die Konzeptbeschreibung dieser Reinigungsfunktion bietet ein wichtiges Fundament für weitere Forschungen auf diesem Gebiet und lässt viele Möglichkeiten, zur innovativen Lösungsfindung auf Basis der bereits erlangten Erkenntnisse dieses Projekts, offen.

6. Quellenangaben

Dieser Bericht basiert auf den Abschluss- und Projektarbeiten der labortechnischen Espressomaschine betreut durch Dipl.- Ing.- Armin Rohnen.

1. Quelle dieser Arbeiten ist der Moodle-Kurs: Absicherung von Fahrzeugfunktionen, FAB6, LbA Rohnen
2. Kilian Stach, Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine, Bachelor-Thesis, 2018
3. Rawad Alshikh, Frank Hadwiger, Timo Sieber, Inbetriebnahme der Labor-Espressomaschine, Projektarbeit, 2018
4. Marc Arendt, Neukonstruktion einer Kaffeemaschinenbrühgruppe, Bachelorarbeit 2018
5. Fabian Deiser, Felix Müller, Stefan Sellmaier, Johannes Amann, Inbetriebnahme und Vorbereitung zur Erprobung der kalten Brühgruppe für eine labortechnische Espressomaschine, Projektarbeit 2019
6. Armin Rohnen, Hydraulikplan mit Entschichtung, 2019
7. Armin Rohnen, Status der Entwicklung einer Siebträgerespressomaschine und labortechnischen Espressomaschine, (Stand: 22.05.2020), 2020
8. Dino Krzavic, Dokumentation zu den einzelnen Arbeitspaketen für die „Entwicklung einer Systemsteuerung einer Espressomaschine“, (Stand: 29.04.2020), 2020