

FMEA: Betriebssoftware labortechnische Espressomaschine

Absicherung von Fahrzeugfunktionen

Sommersemester 2022, Fakultät 03

Datum: 21.07.2022
Dozent: Dipl.-Ing. Armin Rohnen

Name	Matrikelnummer	E-Mail
Ostermeier, Melanie	06905018	melanie.ostermeier@hm.edu
Hofer, Markus	40762318	markus.hofer@hm.edu
Fecondo, Daniele	36806818	fecondo@hm.edu
Opacak, Dario	41128918	opacak@hm.edu
Hoffmann, Alexander	33139518	hoffmann.alexander@hm.edu
Eichholz, Christian	21223218	eichholz.christian@hm.edu
Todenhagen, Florian	01147417	todenhag@hm.edu

1 Abstract

Die vorliegende Modularbeit beschäftigt sich mit der Durchführung einer Fehlermöglichkeits- und -Einflussanalyse (FMEA) für die Betriebssoftware einer labortechnischen Espressomaschine unter Anwendung verschiedener Kreativtechniken und Bewertungsmethoden. Nach einer eingehenden Funktionsanalyse der Softwarefunktionen werden Fehlerpotentiale der Software dokumentiert. Die ermittelten Fehlerpotentiale werden mithilfe der FMEA-Bewertungstabelle priorisiert. Zuletzt werden Maßnahmen zur Vermeidung der Fehlerpotentiale ausgearbeitet.

This modular thesis deals with the implementation of a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) for the operating software of a laboratory espresso machine using various creative techniques and evaluation methods. After carrying out a detailed discussion about the functional analysis of the software functioning, the error potentials of the software are being documented. The identified error potentials are being prioritised using the FMEA scoring table. In the end measures avoiding the error potentials are being worked out.

2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der präventiven Qualitätssicherung.....	6
Abbildung 2: Schritte der FMEA	7
Abbildung 3: Schrittkette Bootprozess.....	16
Abbildung 4: Schrittkette Regelkreis Abwasserstand	17
Abbildung 5: Schrittkette Unterscheidung Spülung/Rückspülung.....	19
Abbildung 6: Schrittkette Spülung.....	20
Abbildung 7: Schrittkette Rückspülung	20
Abbildung 8: Schrittkette Stromsparmmodus.....	22
Abbildung 9: Messaufbau Versuch 03_01.....	55

3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: FMEA Bewertungstabellen	58
--	----

4 Literaturverzeichnis

Die Literaturangaben beziehen sich auf das vorhandene Verzeichnis im Wiki.

[Quellen und Dokumente \(hm.edu\)](#)

- [14] Verordnung (EU) Nr. 801/2013, Festlegung von Ökodesign- Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Abbildungsverzeichnis	2
3	Tabellenverzeichnis	2
4	Literaturverzeichnis	2
5	Einleitung (Daniele Fecondo)	6
6	Schritte der FMEA (Dario Opacak).....	7
7	Funktionsanalyse	8
7.1	Bootprozess (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	8
7.2	Regelkreis Abwasserstand (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	9
7.3	Regelkreis Wasserbezugstemperatur (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	9
7.4	Regelkreis Volumenstrom (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	9
7.5	Boilerbefüllung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	9
7.6	Boiler nachfüllen (Florian Todenhagen, Christian Eichholz).....	9
7.7	Boilerdruck (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	10
7.8	Dichtheit (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	10
7.9	Isolation (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	10
7.10	Verkalkungsschutz (Fecondo, Hoffmann, Opacak).....	10
7.11	Kaffeebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak).....	11
7.12	Teebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	12
7.13	Tassenwärmer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	12
7.14	Milchschaumer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	12
7.15	Spülung/Rückspülung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	12
7.16	Systemreinigung (Fecondo, Hoffmann, Opacak).....	13
7.17	Bedienung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz).....	14
7.18	Presets (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	15
7.19	Remote-Control (Florian Todenhagen, Christian Eichholz).....	15
7.20	Stromsparmmodus (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	15
8	Zuordnung Funktionen zu Softwareaufgaben.....	16
8.1	Bootprozess (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	16
8.2	Regelkreis Abwasserstand (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	16
8.3	Boilerbefüllung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	17
8.4	Boiler nachfüllen (Florian Todenhagen, Christian Eichholz).....	17
8.5	Boilerdruck (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	17
8.6	Dichtheit (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	18

8.7	Isolation (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	18
8.8	Kaffeebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	18
8.9	Teebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	18
8.10	Milchschaümer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	19
8.11	Tassenwärmer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	19
8.12	Spülung/Rückspülung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	19
8.13	Systemreinigung (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	20
8.14	Bedienung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	21
8.15	Preset	21
8.16	Remote-Control (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	21
8.17	Stromsparmmodus (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	21
9	Zuordnung Funktionen zu Bauteilen der Espressomaschine	22
10	Fehleranalyse der Softwarefunktionen	23
10.1	Bootprozess (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	23
10.2	Regelkreis Abwasserstand (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	24
10.3	Regelkreis Wasserbezugstemperatur (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	25
10.4	Regelkreis Volumenstrom (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	25
10.5	Boilerbefüllung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	26
10.6	Füllstandsregler/Boiler nachfüllen (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	26
10.7	Dichtheit (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	27
10.8	Isolation (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	27
10.9	Verkalkungsschutz (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	27
10.10	Kaffeebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	28
10.11	Teebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	29
10.12	Milchschaümer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	30
10.13	Tassenwärmer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	31
10.14	Spülung/Rückspülung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	31
10.15	Systemreinigung (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	34
10.16	Bedienung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	35
10.17	Presets (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	35
10.18	Remote-Control (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	35
10.19	Stromsparmmodus (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	36
11	Definition der Maßnahmen	38
11.1	Bootprozess (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	38
11.2	Regelkreis Abwasserstand (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	40
11.3	Regelkreis Wasserbezugstemperatur (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	40

11.4	Regelkreis Volumenstrom (Fecondo, Hoffmann, Opacak).....	41
11.5	Füllstandsregler/Boiler nachfüllen (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	41
11.6	Verkalkungsschutz (Fecondo, Hoffmann, Opacak).....	42
11.7	Kaffeebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak).....	42
11.8	Teebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)	44
11.9	Milchschaümer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	45
11.10	Tassenwärmer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)	45
11.11	Spülung/Rückspülung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	46
11.12	Systemreinigung (Fecondo, Hoffmann, Opacak).....	48
11.13	Bedienung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz).....	49
11.14	Remote-Control (Florian Todenhagen, Christian Eichholz).....	50
11.15	Preset (Florian Todenhagen, Christian Eichholz).....	51
11.16	Stromsparmmodus (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	51
12	Versuche.....	52
12.1	Versuch 02_01 Grenzwert für Isolierung	52
12.2	Versuch 02_02 Timer für Wasserverbrauch durch Dampf.....	52
12.3	Versuch 02_03 Timer für Tassenwärmer	53
12.4	Versuch 02_04 Druckabfall bei Dampfbezug	53
12.5	Versuch 02_05 Timer für Milchschaümer	53
12.6	Versuche 02_06 Grenzwerte für Sollwerte	53
12.6.1	Versuch 02_06_1 Wassertemperatur	53
12.6.2	Versuch 02_06_2 Vorbrühdauer	54
12.6.3	Versuch 02_06_3 Wassermenge (bzw. Durchflussvolumen).....	54
12.7	Versuch 02_07 Timer für Boilerbefüllung (schwankendes Signal).....	54
12.8	Versuch 03_01 Länge des Timers zur Unterbindung von mehrfacher Betätigung (Markus Hofer) 54	
12.9	Versuch 03_02 Ermittlung der Zeit für eine regelmäßige Entkalkung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)	55
12.10	Versuch 03_03 Manuelle Kalibrierung (Markus Hofer).....	55
13	Priorisierung	56
14	Zusammenfassung.....	56
15	Ausblick.....	56
16	Anhang.....	57
17	Eigenständigkeitserklärung	59

5 Einleitung (Daniele Fecondo)

Im Rahmen der Vorlesung „Absicherung von Fahrzeugfunktionen“ wird eine Fehler Möglichkeit und Einfluss Analyse (FMEA) an einer labortechnischen Espressomaschine durchgeführt. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die Softwareprogrammierung gelegt. Die Espressomaschine wurde mittels Abschlussarbeiten und Projektarbeiten von Studenten der Hochschule München stetig weiterentwickelt, so dass der Hardwareseitige Aufbau bereits abgeschlossen ist. Da der Bereich Softwareentwicklung einen großen Spielraum für Fehlermöglichkeiten darstellt, bis zu Verletzungen am Bediener, ist es umso wichtiger diese vorab zu erkennen und durch geeignete Maßnahmen abzusichern.

Ziel der FMEA ist es Fehler, bevor die Phase der Serienproduktion anläuft, zu definieren und systematisch zu beseitigen. Je später in der Entwicklung Probleme auffallen, desto mehr Aufwand und Kosten treten auf. Die **Abbildung** zeigt schematisch die Relevanz der präventiven Qualitätssicherung mittels einer FMEA. Die lang gestrichelte Linie zeigt die Fehlererkennung mit Hilfe einer FMEA. Wenn Fehlermöglichkeiten in der Konzeptions- oder Entwicklungsphase erkannt werden, sind sie mit deutlich geringeren Kosten zu beseitigen. Des Weiteren ist es ohne strukturierte Vorgehensweise schwierig in komplexen Systemen Fehler und vor allem deren Ursachen zu identifizieren. Aus diesem Grund wird oft eine FMEA in der Automobilbranche angewendet.

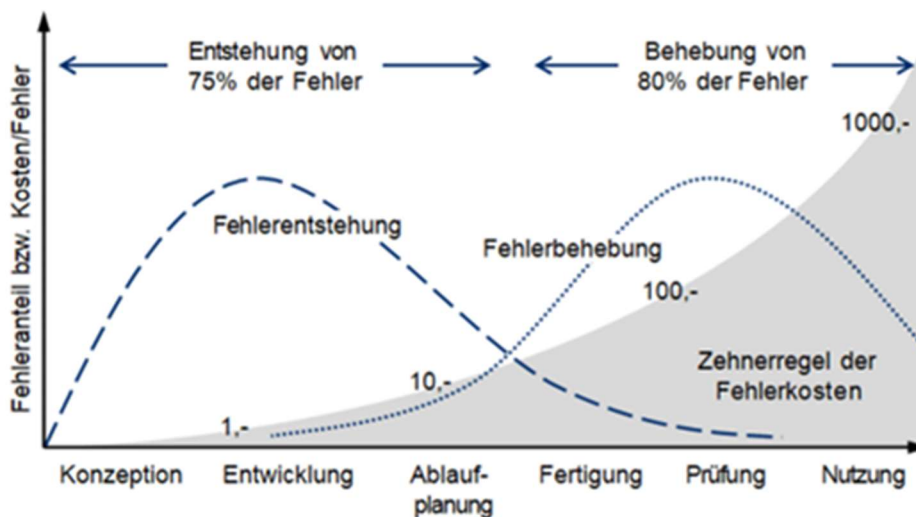


Abbildung 1: Schematische Darstellung der präventiven Qualitätssicherung

6 Schritte der FMEA (Dario Opacak)

In dieser Arbeit hat sich die Durchführung der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse nach dem Skript von Herr Rohnen gerichtet. Um die Fehler so früh wie möglich zu entdecken und vermeiden werden in der FEMA folgende 7 Schritte beachtet.

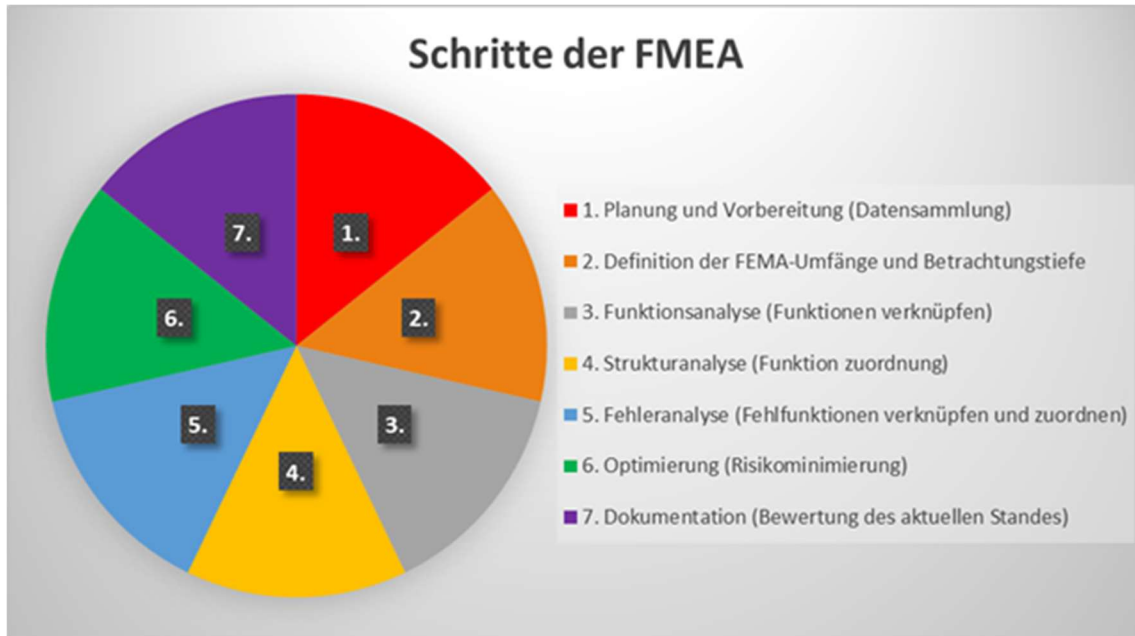


Abbildung 2: Schritte der FMEA

Durch die frühe Erkennung der Fehler können Folgekosten auf ein Minimum beschränkt werden, da die Beseitigung des Fehlers deutlich leichter in der Entwurfsphase ist. Im ersten Schritt der FMEA wird die Struktur des Produkts bzw. des Prozesses dargestellt. In diesem Fall basiert der erste Schritt auf der Abschlussarbeit von dem Herr Budnik.

Die Schritte müssen nicht chronologisch, wie oben dargestellt ausgeführt werden, oft tauscht man die Schritte in deren Reihenfolge um in Abhängigkeit von den Möglichkeiten der Durchführung. In dieser FMEA wird die Betrachtungstiefe und die Umfänge der Methode in der Vorlesung mit Herr Rohnen besprochen und behandelt. Weiteren Schritte werden in folgenden Abschnitten detaillierter erklärt.

7 Funktionsanalyse

7.1 Bootprozess (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Start durch Bedienfunktion

Zum Start der Kaffeemaschine muss das Bedienelement über einen Druckknopf manuell angesteuert werden. Nachdem die Auswahl durch die Steuerungselektronik der Maschine erkannt wurde, werden alle Ventile stromlos geschaltet und damit geschlossen.

Boilerbefüllung (siehe Kapitel 7.5)

Temperatur erreichen / Boilerdruck erreichen

(Leistungswert x der Pumpe ermitteln, Temperatur y ermitteln für Ende Entschichtung)

Der Druck im Boiler wird durch Erhitzen des Wassers erzeugt. Druck und Temperatur innerhalb des Boilers werden kontinuierlich erfasst und dem Druckregler als Signal zugeführt. Das Signal wird über den PID-Druckregler verarbeitet, der entsprechend das Heizelement ansteuert. Um vor Schäden zu schützen ist ein mech. Überdruckventil und Anti-Vakuum-Ventil verbaut. (Eichholz, Todenhagen)

Während des Aufheizvorgangs muss das Wasser im Boiler entschichtet werden. Dazu müssen die Ventile Y02 und Y03 geöffnet werden und die Pumpe mit einem Leistungswert x angesteuert werden. Nach Abschluss des Entschichtungsvorganges bei $y^{\circ}\text{C}$ werden die Ventile wieder stromlos geschaltet und die Pumpe abgeschaltet.

Spülung

Zuletzt wird eine kurze Spülung der Espressomaschine durchgeführt. Hierfür muss erneut die Pumpe angesteuert werden sowie die Ventile Y01, Y06 und Y07 bestromt und geöffnet werden. Ein kontinuierlicher Volumenstrom bei der Spülung wird durch das Abgreifen von Signalen und einer Verarbeitung in der Steuerungselektronik realisiert. Des Weiteren müssen der Druck und die Temperatur im Boiler während des Vorgangs konstant gehalten werden. Nach Abschluss der Spülung werden alle Ventile stromlos geschaltet und die Espressomaschine hat ihren Betriebszustand erreicht.

Abschluss Bootprozess

Nach dem Erreichen der Boilertemperatur werden die Regelkreise Boilerdruck, Abwasserstand und Boilerbefüllung aktiviert. Diese werden kontinuierlich kontrolliert.

Dichtheits- und Isolationsprüfung im Bootprozess

Im Rahmen des Bootprozesses sollen eine Isolations- und eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden. Es wurde bereits festgestellt, dass eine Isolationsprüfung nur während des Energiesparmodus durchgeführt werden kann (z.B. ab dem Start des Timers für die Aktivierung des Energiesparmodus) durch den Vergleich einer experimentell ermittelten Temperaturkurve (Abkühlkurve) mit dem aktuellen Temperaturverlauf. Hierfür müssen zunächst die Regelkreise aktiv sein und die Maschine muss auf Betriebstemperatur gebracht werden. Die Durchführung einer Dichtheitsprüfung ist erst nach einer vollständigen Boilerbefüllung und Aktivierung der Regelkreise möglich. Bei konstanter Temperatur im Boiler wird der Druckverlauf kontrolliert. Somit ist eine Dichtheitsprüfung möglich. Auch hier ist es fraglich, ob eine Durchführung im Bootprozess sinnvoll ist. Besser wäre eine Überprüfung mit dem Starten des Timers zum Aktivieren des Energiesparmodus.

7.2 Regelkreis Abwasserstand (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Der Abwasserstand soll in Zukunft ebenfalls über ein Sensorsignal überprüft werden können. Bei Abgeben eines Signals an die Basisplatine wird eine Warnung im Display der Espressomaschine angezeigt. Ebenfalls muss bei Ausgabe eines Signals durch den Kontaktstab der Vorgang unterbrochen werden und dem Behälter darf kein weiteres Wasser mehr hinzugefügt werden. Die Ventile Y04, Y08 und Y11 müssen geschlossen sein, sodass kein weiteres Abwasser nachfließen kann. Erst nach dem Leeren des Abwasserbehälters (Kontaktstab gibt kein Signal mehr ab) kann der Vorgang fortgesetzt werden. Der Nutzer muss den Abwasserbehälter manuell entnehmen. Nach dem Entleeren wird der Behälter wieder in die Kaffeemaschine eingesetzt. Hier wäre ein Positionsschalter sinnvoll, der den Behälter auf das korrekte Einsetzen hin überprüft.

7.3 Regelkreis Wasserbezugstemperatur (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Die **Wasserbezugstemperatur** wird über einen eigenen Regelkreis kontinuierlich geregelt. Unterschieden werden zwei separate Betriebsfälle. Erstens das Einstellen der Bezugstemperatur, zweitens das Halten der Bezugstemperatur während des Bezuges. Beide Betriebsfälle laufen identisch ab. Die Bezugswassertemperatur wird nach dem Mischer gemessen, liegt sie zu hoch wird mehr Kaltwasser beigemischt, ist sie zu niedrig wird weniger Kaltwasser beigemischt. Zur Regelung der Temperatur wird das Kaltwasser dosiert. Liegt die Temperaturmessung in der Leitung des Warmwassers unterhalb der gewünschten Bezugstemperatur, liegt ein Fehler vor und der Bezug wird abgebrochen.

7.4 Regelkreis Volumenstrom (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Der **Volumenstrom** wird über einen Durchflussmesser ermittelt. Um den Volumenstrom konstant zu halten, wird dieser geregelt. Der Durchflussmesser erfasst den aktuellen Volumenstrom und senkt bzw. steigert die Fördermenge der Pumpe, um einen Volumenstrom nahe des Sollwertes bereitzustellen. Wann immer die Pumpe läuft, ist auch die Volumenstromregelung aktiv.

7.5 Boilerbefüllung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Voraussetzung für die Boilerbefüllung ist das fehlende Signal des Füllstandsensors (Füllstand unter ca. 2/3 des Volumens). Weitere Voraussetzungen sind, dass das Heizelement nicht heizt und die Boiler Temperatur ≤ 40 °C ist. Zudem darf der Boiler nicht unter Druck stehen.

Sind diese Voraussetzung gegeben werden die Ventile Y01, Y03 und Y05 geschaltet. Das Öffnen des Y05 dient dazu den Druck auszugleichen, während das Wasser einströmt. Die Pumpe wird angetrieben, solange diese von der Pumpensteuerung aktiviert ist.

Der Leitfähigkeitsmesser misst kontinuierlich die Leitfähigkeit des Wassers. Bei Überschreitung des Grenzwerts wird der Benutzer gewarnt und ggf. die Befüllung unterbrochen. Bei Erreichen des Füllstandes gibt der Füllstandssensor ein Signal, worauf die Pumpe abgeschaltet wird und die Ventile stromlos geschaltet werden.

7.6 Boiler nachfüllen (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Voraussetzung für die Boilerbefüllung ist das fehlende Signal des Füllstandsensors (Füllstand unter ca. 2/3 des Volumens).

Sind diese Voraussetzung gegeben werden die Ventile Y01, Y03 geschaltet. Das Ventil Y05 darf nicht geöffnet werden, dass ansonsten heißer Dampf aus der Dampfzange austreten würde.

Die Pumpe wird angetrieben, solange diese von der Pumpensteuerung aktiviert ist.

Der Leitfähigkeitsmesser misst kontinuierlich die Leitfähigkeit des Wassers. Bei Überschreitung des Grenzwerts wird der Benutzer gewarnt und ggf. die Befüllung unterbrochen. Bei Erreichen des Füllstandes gibt der Füllstandssensor ein Signal, worauf die Pumpe abgeschaltet wird und die Ventile stromlos geschaltet werden

7.7 Boilerdruck (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Der Druck im Boiler wird durch Erhitzen des Wassers erzeugt. Druck und Temperatur innerhalb des Boilers werden kontinuierlich erfasst und dem Druckregler als Signal zugeführt. Das Signal wird über den PID-Druckregler verarbeitet, der entsprechend das Heizelement ansteuert. Um vor Schäden zu schützen ist ein mech. Überdruckventil und Anti-Vakuum-Ventil verbaut.

7.8 Dichtheit (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Dichtheit kann nach vollständiger Entleerung geprüft werden, indem bei Beginn des Befüllens Y05 geschlossen (stromlos) bleibt. Dadurch baut sich ein Druck im Boiler und den Leitungen auf. Dieser Druck wird durch den Drucksensor erfasst. Bei Erreichen eines gewissen Grenzwerts kann davon ausgegangen werden, dass das System ausreichend dicht ist.

7.9 Isolation (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Zur Energiespeicherung dient die Isolation des Boilers. Um die Funktionstüchtigkeit der Isolierung zu prüfen, wird das Abkühlverhalten des Boilers mit dem Temperatursensor erfasst und mit einer hinterlegten Kennlinie verglichen.

7.10 Verkalkungsschutz (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Der **Verkalkungsschutz** erfolgt über die Leitfähigkeitsmessung des Leitfähigkeitssensors in der Wasserbezugsleitung. Überschreitet der Leitwert einen Schwellwert, ist das Wasser für den Wasserbezug der Maschine nicht geeignet und die Bezugsmöglichkeiten werden gesperrt (Displayausgabe). Während des Entkalkungsvorgangs muss diese Funktion deaktiviert sein, da Wasser mit Reinigungsmitteln einen erhöhten Leitwert aufweisen kann. Die Messung erfolgt permanent.

7.11 Kaffeebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Der **Kaffeebezug** wird manuell durch den Nutzer gestartet. Um den Kaffeebezug zu starten, muss einer der vier Knöpfe für den automatischen Kaffeebezug oder der manuelle Kaffeebezug betätigt werden. Hinter den vier Optionen für den automatischen Kaffeebezug sind unterschiedliche Parameter bezüglich Kaffeewasserbezugstemperatur, Durchflussvolumen und Preinfusionszeit gespeichert. Die Kaffeewasserbezugstemperatur ist auch für den manuellen Bezug hinterlegt. Diese Parameter lassen sich über das Menü anpassen. Im manuellen Bezug wird pro Knopfdruck ein Schritt weiter geschaltet.

Abfrage Betriebsbereitschaft Kaffeebezug

Der Kaffeebezug kann nur ausgewählt werden, wenn die Betriebsbereitschaft der Maschine gegeben ist. Bei der Abfrage der Betriebsbereitschaft fließen die Werte bezüglich Druck, Temperatur und Füllstand des Boilers, sowie die Wasserhärte mit ein.

Sollwertübernahme Kaffeebezug

Ist die Betriebsbereitschaft vorhanden unterscheidet sich der manuelle von dem automatischen Kaffeebezug. Im automatischen Bezug sind die Größen zu Preinfusionszeit, Kaffeewasserbezugstemperatur und Durchflussmenge hinterlegt. Im manuellen Bezug ist nur die Bezugstemperatur hinterlegt.

Manueller Kaffeebezug

Mit jeder Betätigung des Knopfes wird der Kaffeebezug Schritt für Schritt durchgeführt. Für einen vollständigen Bezug muss der Knopf vier Mal betätigt werden. Angefangen mit der Preinfusion, der Preinfusionszeit, dem Kaffeebezug und dem Stoppen des Kaffeebezugs.

Preinfusion

Zu der Preinfusion öffnen die Ventile Y01, Y06 und Y11, parallel dazu startet die Pumpe, um einen Durchfluss in den Sammelblock herzustellen. Mit Start der Pumpe beginnt die Einstellung der Bezugstemperatur mit dem Regelkreis Wasserbezugstemperatur. Erreicht der Temperaturwert den Sollwert für den Bezug, wird Y07 geöffnet und Y11 geschlossen, um die Preinfusion zu starten. Dabei wird abhängig von den gegebenen Parametern ein bestimmtes Volumen in die Brühgruppe gepumpt. Der Volumenstrom, wie das Volumen werden von der Funktion Regelkreis Volumenstrom geregelt. Nach Erreichen des Volumensollwertes, der über den Durchflussmesser ermittelt wird, schaltet die Pumpe ab, Y07 schließt und die Preinfusionszeit beginnt.

Kaffeewasserbezug

Ist die Zeit der Preinfusion abgelaufen schaltet Y07 wieder auf Durchfluss und die Pumpe wieder ein. Parallel zu dem Pumpenbetrieb wird der Volumenstrom, sowie die Wasserbezugstemperatur über deren jeweiligen Regelkreis überwacht. Die Pumpe läuft bis der Volumensollwert für den Kaffeebezug erreicht ist. Der Kaffeebezug kann während des Vorgangs durch erneutes Betätigen der Bezugstaste gestoppt werden. Nach Erreichen des Sollwertes schaltet die Pumpe ab. Y08 wird zum Druckausgleich kurzzeitig geöffnet. Danach schalten alle bestromten Ventile ab. Die Maschine hat den Kaffeebezug beendet und schaltet für weitere Funktionen in das Hauptmenü zurück. Das Programm Kaffeebezug ist beendet.

7.12 Teebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Der **Teewasserbezug** ist ähnlich zu dem Kaffeebezug. Der Teewasserbezug erfolgt über einen Knopf, der vom Bediener betätigt wird. Hinter der Funktion Teewasserbezug sind Parameter bezüglich Durchflussvolumen und Wasserbezugstemperatur im Menü hinterlegt.

Abfrage Betriebsbereitschaft Teewasserbezug

Der Teewasserbezug kann nur ausgeführt werden, wenn die Betriebsbereitschaft der Maschine gegeben ist. Bei der Abfrage der Betriebsbereitschaft fließen die Werte bezüglich Druck, Temperatur und Füllstand des Boilers, sowie die Wasserhärte mit ein.

Sollwertübernahme Teewasserbezug

Es erfolgt daraufhin nur eine Aktion, wenn die Maschine Betriebsbereit ist. Über das Drehen am Bezugsknopf lässt sich die Bezugstemperatur um den Sollwert herum einstellen. Wird keine Aktion durchgeführt, so wird der hinter der Bezugstaste hinterlegte Sollwert verwendet.

Teewasserbezug

Für den Teewasserbezug schalten Y01, Y06, Y09 und Y11. Die Pumpe geht an und pumpt das Wasser über Y11 zu dem Sammelblock. Dieser Vorgang erfolgt eine gewisse Zeit und wird dann über das Erreichen des Sollwertes des Temperatursensors beendet. Zeitgleich schaltet Y07 auf Durchfluss und Y11 schließt. Nun kommt der Wasserbezug aus dem Teewasserauslass. Der Auslassvorgang kann durch erneutes Drücken der Teewasserbezugstaste beendet werden. Spätestens endet der Bezug nach Erreichen des Volumensollwertes, der von dem Durchflussmesser gemessen wird.

7.13 Tassenwärmer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Bei der Tassenwärmung durch Dampf ist die Voraussetzung das der Soll-Druck des Boilers erreicht ist. Bei Aktivierung durch Tastendruck werden die Ventile Y05 und Y10 geschaltet, wodurch Dampf am Tassenwärmer austritt.

7.14 Milchschaumer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Voraussetzung für Milchaufschäumen durch Dampf ist der erreichte Soll-Druck im Boiler. Der Dampf wird über Y05 und Y10 zur Dampfzange geleitet und dort ausgegeben. Es ist angedacht den Auslass über einen Schrittmotor zu regeln, der auch die Aktivierung übernehmen soll. Dabei würde der Schrittmotor das Ventil Y05 ersetzen. Das Aktivieren und Deaktivieren erfolgt über einen Taster, der sich an einem Drehknopf befindet. Über den Drehknopf wird gesteuert, wie weit sich das Ventil öffnet.

7.15 Spülung/Rückspülung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Die Hauptfunktionen Spülung und Rückspülung werden über einen Druckknopf an der Espressomaschine angesteuert werden. Die Möglichkeit einer weiteren Funktionsauswahl durch den Bediener muss unterbunden werden. Dies wird durch Flags realisiert.

Spülung

Für die Durchführung einer Spülung müssen die Pumpe angesteuert sowie die Ventile Y01, Y06 und Y07 bestromt und geöffnet werden. Zur Erzeugung eines kontinuierlichen Volumenstroms muss der Durchflussregler mit einer noch zu definierenden Durchflussrate verglichen werden (vgl. Hauptfunktion "Regelkreis Volumenstrom"). Nachdem die Bezugswassermenge für eine Spülung erreicht wurde, wird die Pumpe abgeschaltet. Zuletzt werden alle Ventile stromlos geschaltet und damit geschlossen.

Unterscheidung Spülung/Rückspülung

Da die Spülung und die Rückspülung durch dasselbe Bedienelement angesteuert werden, wird eine Funktion benötigt, durch die eine Unterscheidung der Hauptfunktionen ermöglicht wird. Realisiert wird dies durch das Abgreifen des Drucksignals von dem Drucksensor der Brühgruppe sowie dem Durchflussmesser. Sobald ein definierter Systemdruck überschritten wird und kein Volumenstrom vorliegt, wird eine Rückspülung durchgeführt. Unterhalb des definierten Systemdrucks wird eine Spülung durchgeführt. Der Systemdruck ist bislang noch undefiniert und es müssen Versuche durchgeführt werden.

Rückspülung

Der zeitliche Ablauf der Funktion „Rückspülung“ ist zunächst analog zu dem Ablauf einer Spülung. Erst beim Abgreifen des Drucksignals von der Brühgruppe und dem Erkennen eines steigenden Systemdrucks wird eine Rückspülung eingeleitet.

Zunächst wird die Pumpe durch einen noch zu definierenden Leistungswert angesteuert. Es muss auf eine gleichbleibende Temperatur geachtet werden. Die Regelung des Volumenstroms erfolgt durch einen noch zu definierenden Durchflusswert des Durchflussreglers (vgl. Hauptfunktion "Regelkreis Volumenstrom"). Nach Erreichen eines noch festzulegenden Systemdrucks wird die Pumpe abgeschaltet. Zudem werden alle Ventile stromlos geschaltet und geschlossen.

Ab diesem Zeitpunkt wird ein Timer über die Dauer der Einwirkzeit auf dem Display der Espressomaschine angezeigt. Nach dem Ablauf der Einwirkzeit wird das Ventil Y08 bestromt und geöffnet. Somit wird der Druck in den Leitungen abgebaut und das Wasser kann aus den Leitungen in den Abwasserbehälter fließen. Nach dem Abfließen des Wassers wird das Ventil Y08 stromlos geschaltet und geschlossen.

Nach dem Schließen des Ventils wird der Vorgang n-mal wiederholt. Nach dem Reinigungsvorgang sind weitere Durchspülungen erforderlich, um die Reste des Reinigungsmittels aus den Leitungen zu entfernen.

7.16 Systemreinigung (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

(offener Punkt: Zeiten für die Reinigungsdauer ermitteln)

Die **Entkalkung** erfolgt über die Auswahl im Service-Menü, womit die folgenden Schritte automatisch eingeleitet werden. Hierbei kann gewählt werden, ob eine Boilerentkalkung allein oder das komplette System gereinigt werden soll.

Boiler entleeren

Der erste Schritt für die Entkalkung ist, dass der Boiler vollständig entleert wird. Dabei werden die Magnetventile Y02, Y04 und Y05 bestromt und die Pumpe angesteuert. Sobald der Durchflusssensor

keine Impulse zurück gibt ist der Boiler vollständig entleert. Ist der Boiler leer, werden alle Ventile in die Ausgangsposition gebracht.

Boiler Entkalkung

Das Reinigungsmittel wird durch eine Öffnung vor dem Ventil Y01 eingeführt. Die Magnetventile Y01 und Y03 werden zusammen mit der Pumpe angesteuert, sodass die Reinigungsflüssigkeit zusammen mit Frischwasser in den Boiler fließen können. Der Durchflusssensor gibt beim Befüllen Impulse an den Microcontroller zurück (39900 pro Liter). Der Boiler wird bis ca. 95% seines Gesamtvolumens befüllt, was 136458 Impulsen entspricht. Ist der Sollwert erreicht, schließen die Ventile Y01 und Y03 und die Reinigungsflüssigkeit im Boiler wird durch die Heizwendel erhitzt. Die notwendige Temperatur ist derzeit noch nicht definiert (**Versuche folgen**). Die Ventile Y02 und Y03 werden bestromt und die Pumpe treibt das Wasser zur Umwälzung in den Kreislauf. Der Vorgang wiederholt sich **X** Mal (**Versuche folgen**).

Entkalkung Brühgruppe und Teelanze

Im Weiteren wird die bereits erwärmte und für die Boilerentkalkung verwendete Reinigungsflüssigkeit über das Ventil Y02 und Y06 durch die Wasserwendel und das Dosierventil weiter gepumpt. Sobald die Flüssigkeit am Mischer angekommen ist, öffnen die Magnetventil Y07 und Y08, so dass es weiter durch die Brühgruppe raus in den Schmutzwasserbehälter fließt. Nach einer bestimmten Zeit (**Versuche folgen**) wird das Magnetventil Y08 geschlossen und gleichzeitig wird das Ventil Y09 bestromt. Dadurch wird die Reinigungsflüssigkeit in die Leitungen des Teewasserbezugs umgelenkt. Es ist darauf zu achten, dass sich unter der Teewasserlanze ein Auffangbehälter befindet, da keine Umleitung in den Schmutzwasserbehälter vorhanden ist. Der Vorgang läuft so lange bis die komplette Reinigungsflüssigkeit aus dem Boiler durchgelaufen ist. Hierbei gibt der Durchflusssensor den Wert zurück.

System mit Frischwasser spülen

Am Ende wird das komplette System mit Frischwasser durchgespült. Dabei werden zuerst die Ventile Y01 und Y03 zusammen mit der Pumpe angesteuert. Sobald der Füllstandsgeber das Signal gibt, dass der Boiler befüllt ist, schließen die Ventile Y01 und Y03 und es werden die Magnetventile Y02 und Y04 bestromt, sodass das Frischwasser in den Schmutzwasserbehälter abfließen kann. Der Durchflusssensor ermittelt wie oben beschrieben die Durchflussrate. Sobald der Boiler leer ist werden die Magnetventile Y01, Y06 und Y07 erneut mit der Pumpe angesteuert, wodurch die Wasserwendel, das Dosierventil, der Mischer und die Brühgruppe gespült werden. Nach einer noch nicht definierten Zeit (**Versuche folgen**) schaltet das Magnetventil Y09 zum Teewasserbezug und spült diesen ebenfalls durch. Zum Schluss werden alle Magnetventile und die Pumpe unbestromt in die Ausgangsposition gebracht.

7.17 Bedienung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Bedienung erfolgt über Funktionstasten, die den einzelnen Betriebszuständen zugewiesen sind. Hierbei ist auch möglich eine Auswahl über eine Tastenkombination zu treffen.

Nach Auswahl einer Funktion wird diese gestartet und eine weitere Auswahl unterbunden. Ein Abbruch der Funktion ist jederzeit zu gewährleisten.

Voraussetzung zum Starten ist die Betriebsbereitschaft (Druck, Temperatur, Füllstand, etc.) der Maschine. Die Soll-Werte für Wasser-Temperatur, -Menge, Boilerdruck sowie Preinfusionsverlauf sind in Presets hinterlegt und werden übernommen.

Nachdem die hinterlegten Daten in dem ausgewählten Programm übergeben wurden, startet der Prozess.

7.18 Presets (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Presets können je nach Geschmack und Vorlieben verändert werden. Die veränderten Soll-Werte können auch als neues Preset gespeichert werden.

Es kann direkt Zugriff auf die Parameter Wassermenge, Flowrate, Kaffemenge, Preinfusionszeit und Wassertemperatur genommen werden. Die Eingabe erfolgt über die Bedientasten. Hierzu muss durch ein Auswahlmenü navigiert werden. Ein solches Menü muss noch erstellt werden.

Für die Veränderung der Soll-Werte existieren bestimmte Grenzwerte, z.B. für die Wassertemperatur. Diese sind noch festzulegen.

7.19 Remote-Control (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Bedienung kann auch über Remote-Control erfolgen. Hierbei werden von einem externen Gerät (Smartphone), die Betriebszustände (wie durch Funktionstasten an Maschine) ausgewählt. Über eine Netzwerkverbindung erfolgt die Übermittlung der ausgewählten Funktion an die Maschine.

Alle weiteren Schritte, wie Abgleich der Soll-Werte, werden von der Maschine selbst übernommen. Zugriff auf die Auswahl der Betriebszustände erhält man über eine Netzwerk-Applikation am Mobiltelefon.

Voraussetzung hierfür ist der Anschluss der Maschine am Netzwerk.

7.20 Stromsparmmodus (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Gesetzliche Rahmenbedingungen

In der EU-Richtlinie 2005/32/EG wird die Anforderung für die Verbrauchsminimierungsfunktion bei vernetzten Geräten definiert. Seit dem 01. Januar 2015 gilt für den Betrieb einer Haushaltskaffeemaschine, dass sich diese spätestens 30 Minuten nach Abschluss des letzten Brüh- oder Reinigungsvorganges bzw. nach Aktivierung des Heizelementes automatisch in den Energiesparmodus versetzt. Bei Ausgabe eines Alarms während des Reinigungs- oder Brühvorganges darf sich die Kaffeemaschine aus Sicherheitsgründen nicht in den Energiesparmodus versetzen. Ein Energieverbrauch von 2,00 W darf in der Verbrauchsminimierungsfunktion nicht überschritten werden (Stand: 01. Januar 2019). [14]

Wartezustand für 15 min

Nach Beendigung eines Brüh- oder Spülvorganges bzw. nach Aktivierung des Heizelementes wird in der Basisplatte ein Timer gestartet. Die volle Betriebsbereitschaft der Kaffeemaschine soll für 15 Minuten aufrecht erhalten bleiben. Die Isolation des Boilers soll so ausgelegt werden, dass die Temperatur des Wassers im Boiler innerhalb einer Zeitspanne von 15 Minuten nicht abfällt. Innerhalb dieses Wartezustandes sind nur der Microcontroller sowie alle Sensoren exklusive des Durchflussratenmessers bestromt.

Energiesparmodus/Automatisches Herunterfahren nach 15 min

Nach Ablauf der 15 Minuten wird ein Energiesparmodus eingestellt und die Espressomaschine wird automatisch heruntergefahren.

8 Zuordnung Funktionen zu Softwareaufgaben

8.1 Bootprozess (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Nachfolgend wird die Schrittkette für den Ablauf des Bootprozesses abgebildet. Hier wird die Funktionsanalyse in kompakter Weise dargestellt. Der Fokus wird hier auf die einzelnen Softwarefunktionen gelegt. Es wird zwischen Hauptfunktionen, Unterfunktionen sowie Elementarfunktionen unterschieden. In der hier abgebildeten Schrittkette stellen die in horizontaler Richtung verlaufenden Schritte die Unterfunktionen der Hauptfunktion Bootprozess dar (**Abbildung 3 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Alle in vertikaler Richtung nach unten verlaufenden Schritten sind die Elementarfunktionen der Unterfunktionen, also jene Schritte, welche zur erfolgreichen Durchführung der Unterfunktion erforderlich sind. Auf die Abbildung von Dichtheits- und Isolationsprüfung wird hier verzichtet, da diese Funktionen, lediglich Konzepte darstellen und zudem die Durchführung der Isolationsprüfung im Bootprozess nicht sinnvoll/umsetzbar ist.

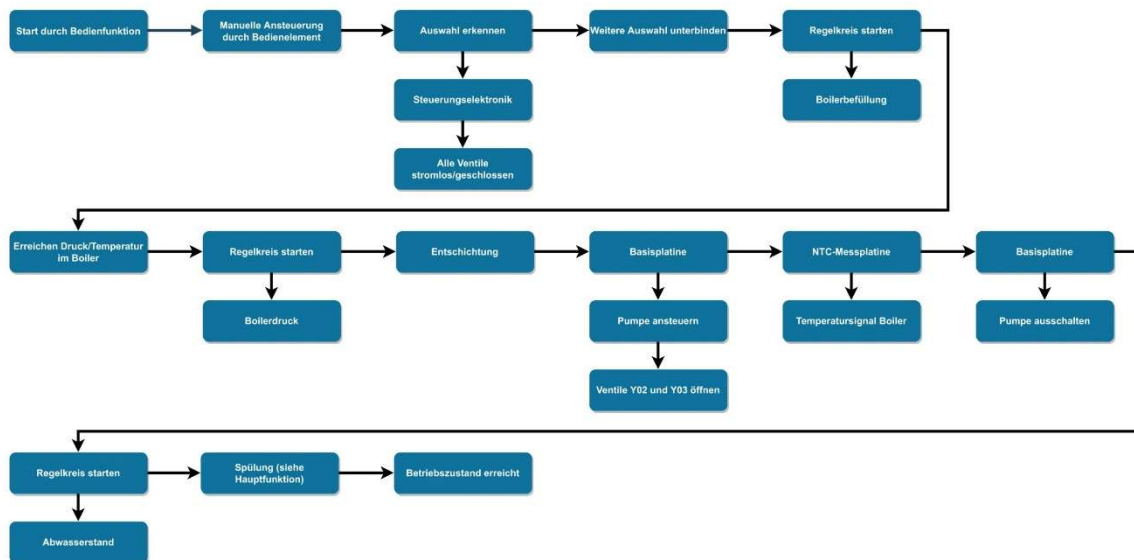


Abbildung 3: Schrittkette Bootprozess

8.2 Regelkreis Abwasserstand (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Nachfolgend wird die Schrittkette zur Realisierung des Regelkreis Abwasserstand dargestellt (**Abbildung 4**). Zur Prüfung des Abwasserstands muss zunächst über die Basisplatine das Signal des Kontaktstabs abgefragt werden. Der Kontaktstab kann keinen genauen Füllstand des Abwasserbehälters ausgeben, er kann lediglich unterscheiden zwischen „Abwasserbehälter voll“ (Signal 1) und „Abwasserbehälter leer“ (Signal 0 bzw. kein Signal). Je nach Signal wird systemseitig ein Flag gesetzt oder nicht gesetzt. Im nachfolgenden Ablaufdiagramm werden nach der Unterscheidung der Signale am Kontaktstab die resultierenden Unter- sowie Elementarfunktionen bei Ausgabe eines Signals am Kontaktstab dargestellt.

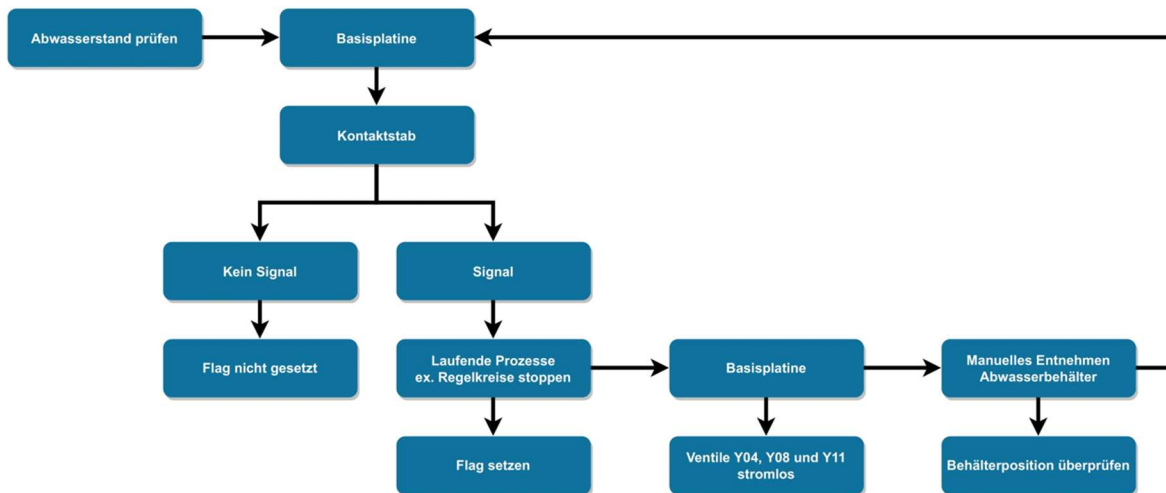


Abbildung 4: Schritt看ette Regelkreis Abwasserstand

8.3 Boilerbefüllung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Bei der Boilerbefüllung müssen zunächst die Voraussetzungen erfüllt werden. Dafür wird der Füllstand über den Füllstandsensord geprüft, wobei dieser kein Signal geben darf, die Temperatur kleiner 40°C sein muss und Drucklosigkeit im Boiler herrschen muss.

Daraufhin werden die Ventile Y05, Y03 und Y01 gleichzeitig geschalten und die Pumpe angesteuert. Während der Befüllung wird der Leitwert des Wassers erfasst und mit einem Grenzwert verglichen, bei Überschreitung wird eine Warnung ausgegeben und die Funktion gegebenenfalls unterbrochen. Sobald der Füllstand erreicht ist, wird die Pumpe deaktiviert und die Ventile in folgender Reihenfolge Stromlos geschalten: Erst Y01, dann Y03 und Y05.

8.4 Boiler nachfüllen (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Das Nachfüllen des Boilers ist in der Abfolge der Funktionen identisch der oben beschriebenen Boilerbefüllung. Der einzige Unterschied liegt darin, dass der Boiler bei Start der Funktion nicht leer ist, jedoch macht das für die Funktion an sich keinen Unterschied.

Im Laufe der Arbeit wurde die Funktion „Boiler nachfüllen“ der Hauptfunktion „Bootprozess“ zugeordnet.

8.5 Boilerdruck (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Voraussetzung zur Regulierung des Boilerdrucks ist, dass der Füllstand sich im Sollbereich befindet.

Während der Funktion werden Temperatur, Füllstand und Druck im Boiler kontinuierlich abgefragt. Der Druck wird mit dem Druckregler abgeglichen und bei Bedarf wird über das Heizelement der Druck erhöht. Bei genügend Druck im Boiler wird das Heizelement abgeschalten und eine Information ans Hauptprogramm weitergegeben.

8.6 Dichtheit (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Zunächst wird der Boiler mittels Pumpe über die Ventile Y02, Y04 und Y05 entleert. Sobald der Durchflussmesser nur einen geringen Durchfluss angibt, da kein Wasser mehr vorhanden ist, wird die Pumpe deaktiviert und die Ventile wieder verschlossen.

Im nächsten Schritt wird Y01 und Y03 geöffnet, die Pumpe aktiviert und somit der Boiler wieder befüllt. Hierbei ist der Leitwert zu beachten, der im Sollwert liegen muss.

Der dabei entstehende Druck wird gemessen und mit dem hinterlegten Sollwert verglichen. Sollte der Druck unter dem Sollwert liegen, wird der Boiler weiter befüllt und parallel ein Timer gestartet, der die Wasserzufuhr nach bestimmter Zeit beendet. Während der Timer läuft wird der gemessene Druck weiterhin mit dem Sollwert verglichen.

Wenn der Druck über dem Sollwert liegt, wird die Dichtheitsprüfung beendet und eine Information an das Hauptprogramm weitergegeben. Die restliche Befüllung des Boilers erfolgt wie oben bei Boilerbefüllung beschrieben.

8.7 Isolation (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Voraussetzung für die Funktion ist, dass nicht geheizt wird. Anschließend wird über einen längeren Zeitraum in regelmäßigen Abständen die Temperatur erfasst und gespeichert. Der Verlauf der Temperatur wird mit der im System hinterlegten Kennlinie verglichen. Wenn der Verlauf im Toleranzband der Kennlinie verläuft, gilt die Isolationsprüfung als bestanden.

Wenn der Verlauf außerhalb des Toleranzbandes liegt, gilt die Isolationsprüfung als nicht bestanden.

Das jeweilige Ergebnis wird dem Hauptprogramm zurückgemeldet.

8.8 Kaffeebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Der Kaffeebezug wird in mehreren Teilschritten durchgeführt, die alle Systemrelevant sind. Wenn alle Werte der Betriebsbereitschaft korrekt übermittelt worden sind, dann schalten zunächst die Ventile Y01 und Y06 um die Preinfusion einzuleiten. Dabei wird auch die Pumpe bestromt und der Volumenstromregler ist mit einem vordefiniertem Volumenstrom permanent aktiv. Als nächsten Schritt schaltet das Ventil Y11 und es wird die Temperatur gemessen und mittels dem Dosierventil eingeregelt. Sobald die Solltemperatur erreicht ist, schaltet das Ventil Y07 und lässt das Volumen für die Preinfusion durch. Ist das Volumen erreicht wird alles Stromlos geschaltet und der Preinfusions-Timer läuft los.

Als nächster Schritt wird das Kaffeewasser bezogen. Hierfür werden das Ventil Y07 und die Pumpe bestromt. Gleichzeitig wird der Volumenstrom gemessen und die Temperatur über das Dosierventil neu eingeregelt, da die Kaffeemaschine während der Preinfusion geruht hat. Sobald die vordefinierte Menge für den Kaffeebezug durchgelaufen ist, wird alles unbestromt.

8.9 Teebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Beim Teebezug sind die Teilschritte dem Kaffeebezug aus **Kap. 8.8** zu entnehmen, da diese identisch sind. Es besteht lediglich der unterschied, dass keine Preinfusion benötigt wird und dass ein zusätzliches Ventil Y09, nachdem die Temperatur eingeregelt wurde, bestromt wird. Das Ventil Y09 leitet das heiße Teewasser zur Teewasserlanze.

8.10 Milchschaumer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Voraussetzung ist, dass der Boilerdruck im Sollbereich liegt. Bei Betätigen des Drehknopf wird das Ventil Y05 geöffnet. Der Milchschaumer ist jetzt aktiv. Bei erneutem Drücken des Drehknopf wird Y05 geschlossen und der Milchschaumer somit deaktiviert.

8.11 Tassenwärmer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Voraussetzung ist, dass der Boilerdruck im Sollbereich liegt. Bei Aktivierung des Tassenwärmers wird erst Y10 und dann Y05 geschaltet und ein Timer gestartet. Entweder bei Deaktivierung der Funktion oder bei Erreichen des Timers werden Y05 und Y10 stromlos geschaltet und die Dampfzufuhr somit unterbunden.

8.12 Spülung/Rückspülung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Unterscheidung Spülung/Rückspülung

Im Nachfolgenden wird die Schrittkette zur Unterscheidung von Spülung und Rückspülung abgebildet (**Abbildung 5**). Alle in horizontaler Richtung verlaufenden Schritte stellen die Unterfunktionen der genannten Hauptfunktion dar. Alle in vertikaler Richtung verlaufenden Schritte beschreiben die Elementarfunktionen der entsprechenden Unterfunktion, also jene Schritte, die zum erfolgreichen Ablauf der Unterfunktion erforderlich sind. Zum Schluss wird die Bedingung für die Unterscheidung zwischen der Rückspülung und der Spülung definiert.

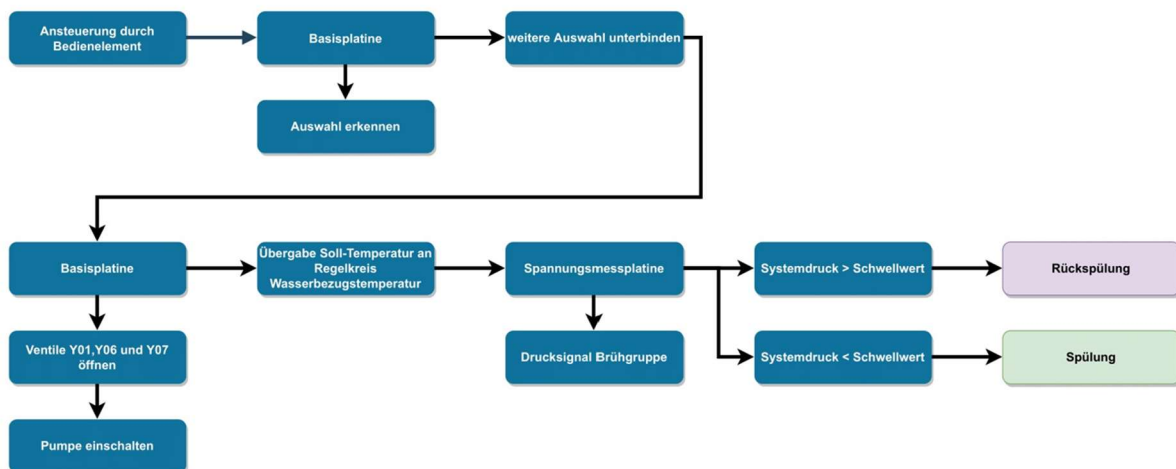


Abbildung 5: Schrittkette Unterscheidung Spülung/Rückspülung

Spülung

Wird kein steigender Systemdruck in der Brühgruppe erkannt und der Schwellwert des vorgegebenen Druckwertes wird nicht überschritten, so wird eine Spülung durchgeführt. Nachfolgend wird die Schrittkette zur Durchführung einer Spülung dargestellt (**Abbildung 6**), welche als Ergänzung an die Schrittkette zur Unterscheidung von Spülung/Rückspülung angeknüpft werden kann. Hier ist auch eine entsprechende farbliche Kennung für den Anknüpfungspunkt vorgenommen worden. Alle in horizontaler Richtung verlaufenden Schritte neben dem farblich markierten Feld „Spülung“ sind die Unter-

funktionen der Hauptfunktion. Alle in vertikaler Richtung verlaufenden Schritte sind Elementarfunktionen der Unterfunktionen, also jene Schritte, die zur erfolgreichen Durchführung der Unterfunktionen erforderlich sind.

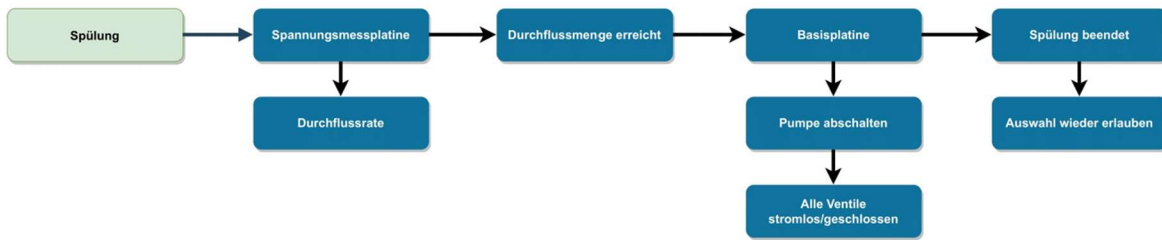


Abbildung 6: Schrittkette Spülung

Rückspülung

Nach Erkennen eines steigenden Systemdrucks in der Brühgruppe und dem Überschreiten des Schwellwertes wird eine Rückspülung durchgeführt. Nachfolgend wird die Schrittkette zur Durchführung einer Rückspülung dargestellt (**Abbildung 7**), welche als Ergänzung an die Schrittkette zur Unterscheidung von Spülung/Rückspülung angesehen werden kann. Hier ist auch eine entsprechende farbliche Kennung zur Markierung des Anknüpfungspunktes vorgenommen worden. Alle in horizontaler Richtung verlaufenden Schritte neben dem farblich markierten Feld „Rückspülung“ sind die Unterfunktionen der dargestellten Hauptfunktion. Alle in vertikaler Richtung verlaufenden Schritte sind die Elementarfunktionen der Unterfunktionen.

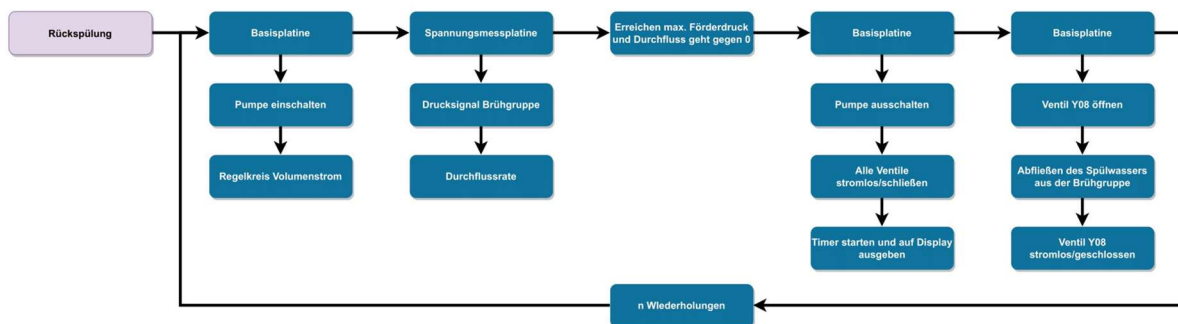


Abbildung 7: Schrittkette Rückspülung

8.13 Systemreinigung (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Bevor die Systemreinigung anfängt ist es wichtig zu wissen wie viele Impulse gibt der Durchflusssensor bei welcher Menge an Wasser zurück. Dafür ist ein Versuch notwendig. Um die Reinigung richtig durchzuführen, soll gleich am Anfang eine Reinigungsflüssigkeit eingeführt werden. Das Umwälzprogramm startet mit der Ansteuerung der Pumpe und fördert die Reinigungsflüssigkeit richtig durch die Wasserwendel und das Dosierventil, wenn das Ventil Y06 bestromt ist. Im Laufe des kompletten Vorgangs muss die Durchflussrate überwacht werden, um die Überfüllung des Boilers zu verhindern. Wichtig bei dem Vorgang ist auch das ein Auffangbehälter bereit steht und das Schmutzwasser, das aus der Teelanze fließt auffängt. Die Bereitstellung eines Auffangbehälters ist durch die "OK" Taste zu bestätigen.

8.14 Bedienung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

In der allgemeinen Bedienung des Geräts wird ständig geprüft, ob das System betriebsbereit ist oder bereits ein anderes Programm gestartet wurde. Bei Erkennen einer Programmauswahl wird das jeweilige Preset geladen. Nach der Wahl des Benutzers, werden die Daten dem Programm weitergegeben und die Funktion gestartet. Dabei ist die Möglichkeit zum Abbruch der Funktion jederzeit gewährleistet.

8.15 Preset

Bei Aufrufen eines Preset werden die hinterlegten Daten angezeigt. Es besteht die Möglichkeit diese Daten zu verändern. Nach Eingabe der Daten werden diese darauf geprüft, ob der Gültige Wertebereich eingehalten wurde. Wenn dies so ist, werden die Neuen Werte in dem Preset gespeichert.

8.16 Remote-Control (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Remote-Control muss dieselben Funktionen wie die allgemeine Bedienung (Siehe oben) bieten. Auf dem externen Gerät muss dafür eine passende Applikation installiert sein. In der Applikation muss die Programmauswahl verfügbar sein. Die Auswahl des Nutzers muss erkannt werden und daraufhin die jeweiligen Presets von dem Hauptgerät heruntergeladen werden. Nach finaler Auswahl durch den Nutzer wird der Auftrag abgeschickt und auf Antwort gewartet. Bei Ankunft der Bestätigung des Auftrageingangs wird eine kurze Information am Display des Bediengeräts dargestellt.

Das Hauptgerät muss hierfür die Programmauswahl und Presets der Applikation bereitstellen und bei Ankunft des Auftrags eine Bestätigung zurücksenden.

8.17 Stromsparmodus (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Im Nachfolgenden wird das Ablaufdiagramm für die Hauptfunktion Stromsparmodus dargestellt (**Abbildung 8**). Zum Erhalten der Betriebsbereitschaft wird ein Timer über die Basisplatine gestartet. Im Anschluss werden alle Ventile geschlossen bzw. stromlos geschaltet. Die Maschine befindet sich in einem Wartezustand. Innerhalb der Schrittkette werden zwei Zustände unterschieden. Die erneute Funktionsauswahl noch vor Ablauf der 15 Minuten bzw. keine erneute Funktionsauswahl. Je nachdem ergeben sich systemseitig unterschiedliche Abläufe. Die in vertikaler Richtung verlaufenden Funktionen sind in diesem Fall keine Elementarfunktionen, sondern Unterfunktionen bzw. im Fall der Spülung auch eine Hauptfunktion. Lediglich das „Timer starten“ kann als eine Elementarfunktion der Basisplatine verstanden werden.

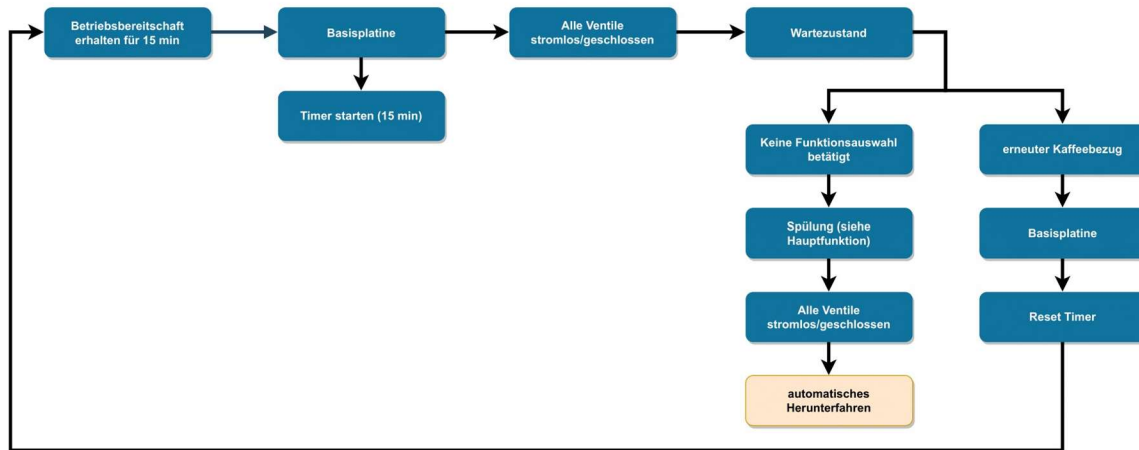


Abbildung 8: Schrittkette Stromsparmmodus

9 Zuordnung Funktionen zu Bauteilen der Espressomaschine

Die Zuordnung der Funktionen zu den einzelnen Bauteilen ist der **Tabelle** zu entnehmen.

Hierbei erarbeitete jedes Team einzelne Bereiche und ergänzte die anderen Teams bei Überschneidungen.

10 Fehleranalyse der Softwarefunktionen

10.1 Bootprozess (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Bedingungen

Vor der Inbetriebnahme/dem Einschalten der Espressomaschine müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Zunächst muss die Maschine an den Strom und die Frischwasserleitung angeschlossen werden. Im Rahmen des Bootprozesses sollen eine Isolations- und eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden. Es wurde bereits festgestellt, dass eine Isolationsprüfung nur während des Energiesparmodus durchgeführt werden kann (z.B. ab dem Start des Timers für die Aktivierung des Energiesparmodus) durch den Vergleich einer experimentell ermittelten Temperaturkurve (Abkühlkurve) mit dem aktuellen Temperaturverlauf. Hierfür müssen zunächst die Regelkreise aktiv sein und die Maschine muss auf Betriebstemperatur gebracht werden. Die Durchführung einer Dichtheitsprüfung ist erst nach einer vollständigen Boilerbefüllung und Aktivierung der Regelkreise möglich. Bei konstanter Temperatur im Boiler wird der Druckverlauf kontrolliert. Somit ist eine Dichtheitsprüfung möglich. Auch hier ist es fraglich, ob eine Durchführung im Bootprozess sinnvoll ist. Besser wäre eine Überprüfung mit dem Starten des Timers zum Aktivieren des Energiesparmodus. Sowohl die Isolations- als auch die Dichtheitsprüfung sind nicht bestätigte Funktionen, die bislang nicht ausgearbeitet sind und lediglich Konzepte darstellen.

Starten durch Bedienfunktion

Ein möglicher Fehler bei dem Start der Maschine über das Bedienelement ist, dass nach Betätigung keine Rückmeldung an den Mikrocontroller gegeben wird. Die Maschine startet nicht. Auch kann es zu einem Einfrieren der Bedienelemente kommen. Die Software hängt sich auf und lässt keine weitere Funktionsauswahl zu. Ebenfalls ist es möglich, dass der Ablauf der Schrittketten innerhalb des Bootprozesses durch einen vorhergehenden Interruptzugriff gestört wird. Bei Auftreten einer Fehlermeldung innerhalb der zuvor abgelaufenen Schrittkette/des Programmablaufs ist es denkbar, dass das Display unbeleuchtet bleibt.

Denkbar sind auch Anwenderfehler wie etwa eine mehrfache Betätigung des Bedienelementes, sodass sich die Kaffeemaschine unmittelbar nach dem Einschalten wieder abschaltet. Dies kann ebenfalls beim sogenannten Prellen des Bedienelements geschehen.

Boilerbefüllung

Bei Ausgabe eines unlogischen Messwertes durch den Füllstandssensor ist der eigentliche Wert des Boilerfüllstands für die Software unbekannt. Somit ist eine Überfüllung des Boilers möglich.

Bei zu früher Ausgabe eines Sensorsignals durch den Füllstandssensor ist die Füllmenge des Boilers zu gering. Bei nachträglichem Nachfüllen des Boilers nach dem Erreichen von Solldruck und -temperatur ist es möglich, dass der Druckwert im Boiler über den Sollwert ansteigt.

Des Weiteren ist es möglich, dass durch den Füllstandssensor kein Signal ausgegeben wird (z.B. durch Verkalkung des Sensors). Dieser Fehler kann nur durch einen defekten Leitwertsensor auftreten. Bei durchgehender Ausgabe eines Signals durch den Füllstandssensor wird der Boiler als dauerhaft voll angezeigt.

Die Maschine wird nach 15 Minuten aufgrund der gesetzlichen Vorgaben automatisch heruntergefahren. Durch die Isolierung des Boilers ist die Wassertemperatur im Boiler nicht wieder auf Raumtemperatur abgefallen. Bei erneutem Einschalten der Maschine kurz nach dem Herunterfahren und damit dem Aktivieren des Bootprozesses der Maschine ist es möglich, dass der Druck im Boiler bei Befüllung

bei einem Defekt bzw. bei falscher Kalibrierung des Temperatur- oder Drucksensors zu hoch wird. Dadurch ist es möglich, dass das Überdruckventil versagt.

Boilerdruck erreichen

Bei einem Defekt oder einer fehlerhaften Kalibrierung des Temperatursensors kann sich im Boiler eine zu hohe/niedrige Temperatur einstellen. Die Soll-Temperatur liegt bei 125-130°C. Es ist denkbar, dass eine zu hohe Temperatur, einen zu hohen Boilerdruck zur Folge hat. Dadurch entsteht eine Reihe an Fehlern, wie eine Fehlstellung des Dosierventils in den ersten Sekunden oder bei Versagen des Überdruckventils eine unzulässige Belastung des Boilers. Analog kann dies auch bei einem Defekt oder fehlerhafter Kalibrierung des Drucksensors geschehen. Die Sollwerte liegen hier zwischen 1300 und 1600 mbar. Auch bei unlogischen Werten der beiden Sensoren können sich derartige Fehler ereignen.

Regelkreise aktivieren

Werden die Regelkreise im Rahmen des Bootprozesses nicht aktiviert, so können durch die Maschine auch keine Maßnahmen zur Fehlerbehebung getroffen werden.

Dichtheitsprüfung (Funktion nicht bestätigt)

Nach dem Erreichen des Boilerdrucks und der Boiler Temperatur wird die Dichtheitsprüfung gestartet. Dabei spielt der Drucksensor eine zentrale Rolle. Durch eine fehlerhafte Kalibrierung ist möglich, dass der Druck außerhalb der Toleranzen liegt und somit das System als undicht erkannt wird. Ebenso ist dies bei Ausgabe eines unlogischen Signalwerts des Drucksensor möglich. Beide Möglichkeiten führen dazu, dass die Dichtheitsprüfung nicht bestanden ist und der Bootprozess nicht abgeschlossen werden kann.

Bei Defekt des Drucksensors kann eine Dichtheitsprüfung gar nicht erst gestartet werden und somit ist auch hier der Bootprozess nicht abgeschlossen

10.2 Regelkreis Abwasserstand (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Damit eine Funktionsfähigkeit des Regelkreises für den Abwasserstand gewährleistet werden kann müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Zunächst muss der Kontaktstab funktionsfähig und unbeschädigt sein. Dies kann im Betrieb der espressomaschine nicht untersucht werden. Die Ventile Y04, Y08 und Y11 müssen geschlossen sein. Da es sich hier um Magnetventile handelt sind auch diese nicht während des Betriebes der espressomaschine überprüfbar. Zuletzt ist es wichtig, dass der Abwasserbehälter korrekt eingesetzt wird. Allerdings ist auch hier keine Überprüfung möglich, da nach derzeitigem Stand kein Funktionsschalter/Positionsschalter für den Abwasserbehälter vorgesehen ist.

Mögliche Fehler

Im Rahmen des Regelkreises für den Abwasserstand ist es möglich, dass einzelne Ventile (Y04, Y08, Y11) nicht geschlossen werden. Dies hat variable Auswirkungen auf den Regelkreis:

- Y04 geöffnet: Wird das Ventil Y04 nicht geschlossen, so wird Frischwasser direkt über die Abwasser- bzw. Entwässerungsleitungen abgepumpt. Dies betrifft die Funktionen Kaffee-/Teebezug, Boilerbefüllung und Spülung.
- Y08 geöffnet: Wird das Ventil Y08 nicht geschlossen, so wird Wasser/Kaffee bei Teewasser-/Kaffeebezug direkt in den Abwasserbehälter gepumpt. Für die Durchführung einer Spülung/Rückspülung hat dies keine Auswirkungen.

- Y11 geöffnet: Wird das Ventil Y11 nicht geschlossen, so läuft das Restwasser vom Dosierventil bis zum Ventil Y06 weiter in den Abwasserbehälter.

Es ist möglich, dass die Kontaktstäbe innerhalb der Espressomaschine verbogen sind. Dadurch geben die Kontaktstäbe ein dauerhaftes Signal ab und der Abwasserbehälter wird dauerhaft als voll angezeigt. Da die Regelkreise im Programmablauf oberste Priorität aufweisen ist ein Kaffee-/Teewasserbezug nicht mehr möglich, solange das Problem nicht behoben wird.

Ist die Verbindung zwischen den Kontaktstäben und dem Mikrocontroller unterbrochen und es wird kein Signal weitergegeben so wird der Behälter für die Software als dauerhaft leer angezeigt. Damit ist ein Überlaufen des Abwasserbehälters möglich.

Bei Setzen eines internen Flags der Software ohne die Ausgabe einer Warnung auf dem Display an den Bediener ist die Kaffeemaschine nicht mehr betriebsbereit. Dies wird dem Bediener jedoch nicht mitgeteilt.

10.3 Regelkreis Wasserbezugstemperatur (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Das System kann sich falsch einregeln, das liegt an der Verarbeitung des Analogsignals der Temperatursensoren. Die exakten Spannungswerte für jede Temperatur muss im Programm hinterlegt sein. Liegt der Wertebereich außerhalb der Toleranz, verschieben sich alle Temperaturwerte des Wasserbezugs.

Die Spannungsversorgung für das Dosierventil kann Fehler hervorbringen (offen bei 10V, geschlossen bei 0V) Wird im Programm die Spannung zum Öffnen mit der zum Schließen des Ventils vertauscht, regelt das Programm die Temperatur in die falsche Richtung. Zu berücksichtigen ist ebenfalls ein eventuell nicht linearer Verlauf der Spannung zum Öffnungswinkel des Ventis, das kann ebenfalls eine Verschiebung des Ist-Wertes zur Folge haben.

Gibt es keinen Volumenstrom, also steht das Wasser, ist die Regelung zur Bezugstemperatur überflüssig.

10.4 Regelkreis Volumenstrom (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Die Pumpe läuft nicht an, da der Regelkreis nicht vom Hauptprogramm gestartet wird. Genauso kann die Pumpe weiterlaufen, wenn sie nach Erreichen des Volumensollwertes nicht abgeschaltet wird. Das kann an einer Fehlerhaften weitergabe des Signals des Hauptprogramms liegen. Eine weitere Möglichkeit ist, dass das Bezugsvolumen innerhalb des Regelkreises nicht mitgezählt wird. Auch ein Fehler kann sein, dass der Speicher nicht geleert wurde und das Bezugsvolumen des vorherigen Bezugs noch hinterlegt ist, wodurch der aktuelle Bezug als abgeschlossen betrachtet wird, oder nur ein geringeres Volumen ausgegeben wird bis der Sollwert erreicht ist.

Bei der Messung des Durchflussvolumens können Fehler auftreten. Der erfasste Wert des Volumens entspricht nicht dem realen Wert, das kann an einer falschen Kalibrierung der Takte des Volumensstromsensors liegen.

Eine weitere Fehlerquelle kann ein erfasster langsamer Volumenstrom sein. Dieser kann auftreten, wenn die Ventile geschlossen sind aber die Pumpe in Betrieb ist, dadurch entstehen Vibrationen.

10.5 Boilerbefüllung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Boilerbefüllung findet immer dann statt, wenn der Boiler komplett leer ist. Andernfalls spricht man von der Boilernachfüllung. Wird die Befüllung des Boilers eingeleitet, kommt es infolge der Einströmung des Wassers zur Druckerhöhung. Durch Versagen des Überdruckventils würde sich der Druck immer weiter aufbauen. Das Maximum ist erreicht, wenn der Boilerdruck gleich dem maximalen Pumpendruck ist. In diesem Fall würde kein weiteres Wasser mehr in den Boiler einströmen.

Bei einem fehlerhaften Verhalten des Drucksensors würde dieser ein unlogisches Signal liefern. Wenn dieses Fehlerhafte Signal innerhalb des gültigen Wertebereichs liegt, kann dies zur Folge haben, dass der erfasste Druck nicht dem tatsächlichen Druck entspricht. Hierbei sind zwei Möglichkeiten zu betrachten. Wenn der erfasste Druck niedriger ist als der tatsächliche Druck, würde das Heizelement über die Solltemperatur hinaus aufheizen.

Sollte der erfasste Druck höher als der tatsächliche Druck sein, würde die Solltemperatur nicht erreicht werden.

Es wäre möglich, dass das Signal für Erreichen des Sollfüllstandes zu früh gegeben wird. Dies wäre infolge von Bewegungen des Wassers vorstellbar. Als Konsequenz wäre die Heizwendel nicht vollständig bedeckt. Dies könnte dazu führen, dass das Wasser nicht auf Solltemperatur gebracht werden kann. Hier besteht auch die Gefahr, dass die Heizwendel überhitzt.

Bei Ausbleiben des Signals des Sollfüllstandes wäre eine Überfüllung des Boilers die Folge. Dies könnte eintreten, wenn der Sensor infolge von Verkalkung defekt ist.

Sollte der Sensor kein eindeutiges Signal liefern, also ein Impulsartiges Signal ausgeben, würde die Pumpe sowie die zuständigen Ventile Y01, Y03 ständig aktiviert und deaktiviert werden. Dies könnte die Pumpe sowie die Ventile schädigen. Als Ursache wären schadhafte Kontaktflächen im Sensor aber auch Verkalkung vorstellbar.

10.6 Füllstandsregler/Boiler nachfüllen (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Bei zu frühem Signal des Füllstandssensors für Erreichen des Sollfüllstandes wäre der tatsächliche Füllstand zu niedrig. Als Auslöser wäre eine Bewegung des Wassers vorstellbar. Als Konsequenz wäre die Heizwendel nicht vollständig bedeckt. Dies könnte dazu führen, dass das Wasser nicht auf Solltemperatur gebracht werden kann. Hier besteht auch die Gefahr, dass die Heizwendel überhitzt.

Bei Ausbleiben des Signals infolge von Verkalkung, würde der Boiler überfüllt werden. Dies hätte auch eine Erhöhung des Boilerdrucks zur Folge.

Sollte das Signal für Erreichen des Sollfüllstandes abgegeben werden, obwohl der Füllstand unterhalb des Sollfüllstands ist, liegt ein defekter Sensor vor. In diesem Fall würde der Boiler nicht nachgefüllt werden. Auch hier kann das zur Folge haben, dass die Heizwendel nicht mehr mit Wasser bedeckt ist, und diese überhitzt.

10.7 Dichtheit (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Dichtheit ist eine bisher nicht bestätigte Funktion, jedoch wird diese bereits theoretisch ausformuliert, um zukünftige Arbeiten zu erleichtern. Es handelt sich hierbei um eine Prüfung der Dichtheit aller Bauteile, die bei der Temperaturerhöhung im Boiler beansprucht werden.

In der Funktion gibt es zwei Punkte an denen Fehler entstehen können, der hinterlegte Grenzwert und das Signal des Drucksensors

Zum einen kann der Grenzwert nicht exakt erreicht werden, wodurch ein Fehler ausgegeben wird, obwohl keiner vorliegt.

Zum anderen kann der Drucksensor ein unlogisches Signal geben. Wird durch das Signal ein höherer als tatsächlicher Druck angegeben, wird der gewünschte Druck nicht erreicht und somit die Dichtheitsprüfung nicht vollständig durchgeführt. Wenn das Signal unter dem tatsächlichen Druck liegt, wird der Grenzwert deutlich überschritten und es können Bauteile zu Schaden kommen.

Der Grenzwert ist bisher nicht definiert, hierfür sind weitere Untersuchungen von Nöten.

10.8 Isolation (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Isolation ist eine bisher nicht bestätigte Funktion, jedoch wird diese bereit theoretisch ausformuliert, um zukünftige Arbeiten zu erleichtern. Hierbei handelt es sich um eine Prüfung der Isolierung des Boilers, wobei die Temperatur vom Temperatursensor abgegriffen und über einen bestimmten Zeitraum gespeichert wird. Dieser Temperaturverlauf wird mit einem hinterlegten Verlauf ($^{\circ}\text{C}/\text{Min}$) verglichen.

Ein Fehler kann entstehen, indem der Grenzwert nicht exakt erreicht wird und somit eine Fehlermeldung vom System ausgeht obwohl eigentlich keiner vorliegt.

Sollte der Temperatursensor aufgrund einer Störung ein unlogisches Signal geben gibt es zwei mögliche Fehler. Gibt der Sensor eine kleinere Signaländerung weiter, die unter der tatsächlichen Temperaturänderung liegt, gibt das System einen Fehler aus, obwohl die Isolation funktionstüchtig ist. Zeigt das Signal eine Änderung, die über der tatsächlichen Temperaturänderung liegt, gibt das System keinen Fehler aus, obwohl die Isolation nicht ausreicht und verbessert werden muss.

Der Grenzwert für die Temperaturänderung ist bisher nicht definiert, hierfür sind weitere Untersuchungen nötig.

10.9 Verkalkungsschutz (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Bei dem Verkalkungsschutz können mehrere Fehler auftreten. Die Sollwerte für den Leitwertsensor können falsch gesetzt werden. Das kann der Spannungsbereich sein, denn der Leitwertsensor gibt ein analoges Spannungssignal zurück. (sinnvoller Spannungsbereich muss noch ermittelt werden) Ein weiterer Fehler kann in der kontinuierlichen Überwachung liegen. (immer abgefragt oder wird nur während des Bezuges abgefragt?) Hier ist es möglich, dass die Überwachung beim Booten der Maschine nicht gestartet wird oder bei einer Bezugsposition nicht gestartet wird. (Aus energetischen Gründen ist es sinnvoll, die Überwachung zwischenzeitlich abzuschalten, solange kein Bezug stattfindet.) Ein weiterer Fehler kann bei der Ausgabe des Warnhinweises auf dem Display nach Feststellung eines zu kalkhaltigen Wassers entstehen. Die Fehlermeldung erscheint nicht, es werden aber alle Bezugsmöglichkeiten unterbunden, so weiß der Nutzer nicht, von dem zu kalkhaltigen Wasser und kann den Fehler

nicht beheben. Das nicht blockieren der Bezugsmöglichkeiten bei Feststellung von zu kalkhaltigem Wasser ist ein weiterer Fehler. Hier können Schäden in der Maschine auftreten, da weiterhin alle Bezugsmöglichkeiten frei gewählt werden können.

10.10 Kaffeebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Abfrage Betriebsbereitschaft

Der Flag für die Betriebsbereitschaft wurde nicht gesetzt, dieser Fehler kann mehrere Ursachen haben. Das Überspringen einzelner Schritte in der Schrittkette des Programms durch SW-Fehler. Eine weitere Fehlerquelle können die Messwerte des Füllstandsensors, des Temperatursensors und des Drucksensors sein. Der Fehler kann in der Übermittlung zu hoher oder zu geringer Messwerte liegen, die eine große Abweichung des Ist-Wertes darstellen. Ebenso ist die Festlegung eines fehlerhaften Datenbereichs durch setzen von falschen Grenzwerten möglich.

Sollwertübernahme

Bei der Sollwertübernahme liegt das Fehlerpotential vor allem bei der Ablage und dem Abgriff des Speichers. Bei dem Wählen einer bestimmten Bezugsmöglichkeit könnten die Daten einer anderen Bezugsmöglichkeit abgegriffen werden. Die korrekte Ablage und der Zugriff auf die Größen Preinfusionszeit mit zugehörigem Volumenstrom zur Preinfusion, Bezugstemperatur sowie Bezugsvolumen der Preinfusion, aber auch das Bezugsvolumen, der Volumenstrom und die Bezugstemperatur während des Kaffeebezugs sind für einen funktionierenden Betrieb essentiell.

Eine weitere Fehlerquelle stellt das Speichern der Daten dar. Die Daten können am falschen Speicherplatz abgelegt werden. Ebenso können andere Sollwerte überschrieben werden. Die Daten können nicht dauerhaft gespeichert werden, das führt zu Datenverlust.

Nach einem Stromausfall können die voreingestellten Bezugsgrößen gelöscht sein. (Behält der Speicher die Werte oder gibt es ein Basissetup, das automatisch wieder geladen wird?)

Beim Einstellen der Bezugswerte kann der Bediener die Werte außerhalb eines sinnvollen Größenbereichs legen, z.B. ein negatives Bezugsvolumen oder eine Bezugstemperatur über 100°C oder unterhalb von 20°C.

Eine weitere Fehlerquelle kann das Verwechseln von Einheiten in der Programmierung darstellen, z.B. °C -> K oder ml -> l.

Manueller Kaffeebezug

Schnelles mehrmaliges Betätigen der Bezugstaste führt zu einem Überspringen der Schritte, wodurch die Preinfusion, oder der Kaffeebezug übersprungen werden können.

Durch zu lange Preinfusion kann es zu einem ungewollten Kaffeebezug kommen. (Maximales Preinfusionsvolumen bestimmen und eventuell automatisches Weiterschalten in der Schrittkette nach erreichen)

Eine weitere Fehlerquelle liegt in der Überschneidung von Schrittketten, hierbei können zwei Schritte gleichzeitig ausgeführt werden. Ebenso ist das ungewollte Auslassen oder Überspringen von Schritten eine Störung im Ablauf des Kaffeebezugs.

Preinfusionszeit

Während der Preinfusionszeit kann der Timer fehlerhaft zählen, das kann mehrere Ursachen haben. Der Timer kann nicht die richtige Zeit erfassen, da andere Prozesse wegen Priorisierung der Abläufe im Programm die notwendigen Taktschritte zur Verfügung haben. Der Timer kann Programmintern nicht angesteuert werden oder kein Signal weitergeben nach Erreichen der Sollzeit.

Das Einhalten der Schrittkette kann erneut zu Fehlern führen. Einzelne Schritte für das Schalten von Ventilen können übersprungen werden oder wurden während der Programmierung in falscher Reihenfolge gesetzt.

Das Zusammenspiel mit dem Regelkreis zur Volumenstromregelung kann Fehler hervorbringen. Die Pumpe kann nicht anlaufen, falls der Regelkreis vom Programm nicht gestartet wird. Ebenso kann die Pumpe unaufhörlich weiterlaufen, wenn keine oder fehlerhafte Sollwerte an den Regelkreis übermittelt wurden. Bei einer fehlerhaften Kalibrierung des Durchflussmessers kann es zu einer positiven wie auch negativen Abweichung des Bezugsvolumen kommen, da dieses nicht korrekt erfasst wird.

Der Regelkreis zur Regelung der Wasserbezugstemperatur kann ebenfalls zu Fehlern führen. Die Bezugstemperatur weicht ab, wenn der Sollwert nicht aktualisiert wurde. Ebenso weicht er ab, wenn die Widerstände der Thermometer nicht korrekt hinterlegt wurden.

Kaffeewasserbezug

Das Einhalten der Schrittkette kann erneut zu Fehlern führen. Einzelne Schritte für das Schalten von Ventilen können übersprungen werden oder wurden während der Programmierung in falscher Reihenfolge gesetzt.

Das Zusammenspiel mit dem Regelkreis zur Volumenstromregelung kann Fehler hervorbringen. Die Pumpe kann nicht anlaufen, falls der Regelkreis vom Programm nicht gestartet wird. Ebenso kann die Pumpe unaufhörlich weiterlaufen, wenn keine oder fehlerhafte Sollwerte an den Regelkreis übermittelt wurden. Bei einer fehlerhaften Kalibrierung des Durchflussmessers kann es zu einer positiven wie auch negativen Abweichung des Bezugsvolumen kommen, da dieses nicht korrekt erfasst wird.

Der Regelkreis zur Regelung der Wasserbezugstemperatur kann ebenfalls zu Fehlern führen. Die Bezugstemperatur weicht ab, wenn der Sollwert nicht aktualisiert wurde. Ebenso weicht er ab, wenn die Widerstände der Thermometer nicht korrekt hinterlegt wurden.

10.11 Teebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Betriebsbereitschaft Teebezug

Der Flag für die Betriebsbereitschaft wurde nicht gesetzt, dieser Fehler kann mehrere Ursachen haben. Das Überspringen einzelner Schritte in der Schrittkette des Programms durch SW-Fehler. Eine weitere Fehlerquelle können die Messwerte des Füllstandsensors, des Temperatursensors und des Drucksensors sein. Der Fehler kann in der Übermittlung zu hoher oder zu geringer Messwerte liegen, die eine große Abweichung des Ist-Wertes darstellen. Ebenso ist die Festlegung eines fehlerhaften Datenbereichs durch setzen von falschen Grenzwerten möglich.

Sollwertübernahme

Bei der Sollwertübernahme liegt das Fehlerpotential vor allem bei der Ablage und dem Abgriff des Speichers. Bei dem Wählen einer bestimmten Bezugsmöglichkeit könnten die Daten einer anderen

Bezugsmöglichkeit abgegriffen werden. Die korrekte Ablage und der Zugriff auf die Größen Preinfusionszeit mit zugehörigem Volumenstrom zur Preinfusion, Bezugstemperatur sowie Bezugsvolumen der Preinfusion, aber auch das Bezugsvolumen, der Volumenstrom und die Bezugstemperatur während des Kaffeebezugs sind für einen funktionierenden Betrieb essentiell.

Eine weitere Fehlerquelle stellt das Speichern der Daten dar. Die Daten können am falschen Speicherplatz abgelegt werden. Ebenso können andere Sollwerte überschrieben werden. Die Daten können nicht dauerhaft gespeichert werden, das führt zu Datenverlust.

Nach einem Stromausfall können die voreingestellten Bezugsgrößen gelöscht sein. (Behält der Speicher die Werte oder gibt es ein Basissetup, das automatisch wieder geladen wird?)

Beim Einstellen der Bezugswerte kann der Bediener die Werte außerhalb eines sinnvollen Größenbereichs legen, z.B. ein negatives Bezugsvolumen oder eine Bezugstemperatur über 100°C oder unterhalb von 20°C.

Ebenfalls kann es zu Bedienerfehlern kommen durch das Einstellen des Bezugsvolumens mit dem Drehregler. Es können Werte außerhalb des Sollwertebereichs gewählt werden, z.B. negative Werte beim Bezugsvolumen. Aber auch das Verarbeiten des Signals kann zu Fehlern führen. Die Werte, die der Drehsteller abgibt, müssen vom Programm erfasst und verarbeitet werden.

Eine weitere Fehlerquelle kann das Verwechseln von Einheiten in der Programmierung darstellen, z.B. °C -> K oder ml -> l.

10.12 Milchschaumer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Es ist möglich den Milchschaumer durch Berühren des Tasters ungewollt zu aktivieren. Ebenso könnte der Taster durch einen Defekt hängen bleiben. In diesen Fällen besteht die Gefahr des Verbrühens.

Sollte der Taster gedrückt werden, der Dampfaustritt jedoch stark verzögert eingeleitet werden, besteht ebenfalls Verbrühungsgefahr. Vor allem wenn der Benutzer durch das Ausbleiben des Dampfes einen Defekt vermutet und die Dampfzange visuell oder durch Anfassen überprüfen möchte.

Sollte der Dampf zu plötzlich oder mit zu hohem Druck austreten, wäre eine sinngemäße Nutzung nur schwer oder gar nicht möglich.

Es wäre möglich, dass während der Nutzung des Milchaufschäumers ein Softwarefehler auftritt und sich das Betriebssystem der Maschine aufhängt. Dies könnte zur Folge haben, dass dauerhaft und unkontrolliert Dampf aus der Dampfzange austritt. Auch hier besteht Verbrühungsgefahr.

Bei einem defekt oder einem fehlerhaften Verhalten des Ventils Y05 kann es sein, dass kein Dampf oder der Dampf unerwartet stark verzögert austritt.

Bei implementierten Tassenwärmer kann ein fehlerhaftes Verhalten des Ventils Y10 dazu führen, dass Dampf unerwartet aus dem Tassenwärmer austritt. Dies wäre der Fall, wenn das Ventil Y10 zu spät oder gar nicht die Schaltposition ändert.

Es wäre vorstellbar, dass durch fehlerhaftes Verhalten des Druckreglers im Boiler ein Unterdruck herrscht. Wenn in diesem Fall der Milchschaumer aktiviert wird, würde die Milch durch die Dampfzange in den Boiler eingesaugt werden. Dies könnte zu Schädigungen des Systems führen

10.13 Tassenwärmer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Der Tassenwärmer ist in der bisherigen Version der Maschine nicht verbaut, jedoch eingeplant.

Diese Funktion kann unnötig lange ausgeführt werden, indem diese fälschlicherweise ausgelöst wird, indem ein Gegenstand auf den Tassenwärmer abgestellt wird oder der auslösende Taster hängen bleibt und somit durchgehend ein Signal weitergibt. Genauso kann die zu wärmende Tasse länger als nötig stehen gelassen werden und noch mit Dampf behandelt werden, obwohl die Tasse bereits ausreichend gewärmt ist.

Die Zeit, die die Tasse auf dem Tassenwärmer verbringen sollte, um eine angenehme Temperatur zu erreichen, ist bisher unbekannt.

Außerdem besteht bei der Nutzung des Tassenwärmers eine Verbrühungsgefahr. Sobald der Taster ausgelöst wird, wird direkt Dampf abgegeben. Dadurch hat der Nutzer keine Zeit mehr die Hand von der Tasse zu entfernen und kommt mit dem heißen Dampf in Berührung.

Der Taster kann nach einiger Zeit hängen und erst verzögert auslösen. Da kein Dampf kommt, hebt der Nutzer die Tasse nochmal an, um den Tassenwärmer zu prüfen. Wenn in diesem Moment Dampf abgegeben wird, kommt es wieder zum Hautkontakt mit dem Nutzer.

Der Dampf wird am Tassenwärmer mit dem Druck abgegeben, der im Boiler vorliegt. Ist dieser Druck zu hoch, wird möglicherweise die Tasse beschädigt oder es tritt wieder Dampf mit hoher Geschwindigkeit aus, wodurch es zu Hautkontakt mit dem Nutzer kommen kann.

Sollte sich das System aufhängen oder die Software fehlerhaft arbeiten wird die Dampf Ausgabe am Tassenwärmer möglicherweise nicht mehr gestoppt, wodurch der Dampf unkontrolliert austritt. Für den Nutzer besteht die Gefahr sich an diesem Dampf zu verbrennen und für den Boiler würde das einen immensen Druckabbau bedeuten, der erst wieder aufgebaut werden muss.

Außerdem können die benötigten Ventile nicht oder falsch schalten. Wenn Y05 nicht oder verzögert schaltet tritt entweder kein Dampf aus, oder Dampf tritt unerwartet aus wodurch eine Gefahr für den Nutzer entsteht. Wenn Y10 zu spät schaltet kann dieses Ventil noch so geschaltet sein das der Dampf zuerst zur Dampfzange geführt wird. Somit würde unerwartet Dampf aus der Dampfzange austreten, wodurch sich der Nutzer verbrennen kann.

10.14 Spülung/Rückspülung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Bedingungen

Zur Durchführung einer Spülung/Rückspülung müssen alle Regelkreise aktiv und funktionsfähig sein. Dazu zählen die Regelkreise für Volumenstrom, Boilerdruck, Boilerbefüllung und Abwasserstand. Die Funktionsfähigkeit kann während des Betriebs nicht ermittelt werden. Das ist nur bei der Inbetriebnahmeprüfung bzw. Abnahmeprüfung möglich. Während der Spülung müssen die Ventile Y01, Y06 und Y07 geöffnet werden. Zudem muss vor Beginn der Spülung in der Brühgruppe ein Druck von ca. 0 bar herrschen, um die Funktionsfähigkeit des Drucksensors zu gewährleisten.

Spülung

Bei der Spülung ist es möglich, dass das Ventil Y06 oder Y07 nicht schalten. Dadurch steigt der Druck in den Leitungen, aber dieser wird nicht vom Drucksensor in der Brühgruppe erfasst. Die Durchführung der Spülung ist gestört.

Ein weiterer Fehler wäre, dass der Durchflussmesser einen Durchfluss ausgibt, aber keiner vorhanden ist. Dies entsteht entweder durch Undichtigkeit oder durch Pulsationen von der Pumpe. Es hat sich gezeigt, dass bei geschlossenen Ventilen und laufender Pumpe sich Druckpulsationen bilden und der Durchflussmesser diese als Durchfluss erkennt. Daraus resultiert ein unlogischer Wert des Durchflussmessers. Die Spülung wird, wenn die Druckpulsationen exakt mit den Soll-Werten übereinstimmen, trotzdem durchgeführt.

Durch ein permanent geöffnetes bzw. angesteuertes Dosierventil kann der Regelkreis Wasserbezugstemperatur nicht die erforderliche Solltemperatur erreichen.

Am Ende der Spülung werden alle Ventile geschlossen. Wenn dies nicht geschieht, ergeben sich unterschiedliche Szenarien.

- Ventil Y01 schließt nicht: Die Frischwasserzuleitung ist permanent geöffnet.
- Ventil Y06/Y07 schließt nicht: Das hat keine Auswirkungen, wenn Y01 schließt/geschlossen ist.
- Ventil Y01 und Y06 schließen nicht: Die Frischwasserzuleitung ist geöffnet, dadurch wird Wasser durch die Wasserwendel geleitet und verdampft (130°C im Boiler). Aufgrund der Eigenschaften des Wasserdampfes dehnt sich dieser aus und bewirkt einen Druckaufbau.
- Ventil Y01, Y06 und Y07 schließen nicht: Eine dauerhafte Spülung wird durchgeführt.

Rückspülung

Bei fehlerhafter Kalibrierung des Temperatursensors hinter dem Dosierventil kommt es zu einer Durchführung der Rückspülung mit zu hoher bzw. zu geringer Wassertemperatur. Es ist möglich, dass dies Auswirkungen auf das Reinigungsmittel bzw. den Reinigungsprozess an sich hat. Dies kann sich beispielsweise durch eine verminderte Reinigungswirkung bemerkbar machen.

Wird ein steigender Druck durch das System erkannt, der Abschaltdruck wird jedoch nicht erreicht, so läuft die Pumpe immer weiter und versucht den systemseitig hinterlegten Soll-Druck aufzubauen. Es besteht die Gefahr von Undichtigkeiten und damit der Zerstörung der Espressomaschine.

Bei der Durchführung einer Rückspülung kommt insbesondere dem Ventil Y08 eine große Bedeutung zu. Hier sind Fehler möglich (Ventil Y08 wird nicht geschlossen oder nicht geöffnet). Da es sich wie bei allen Ventilen der Espressomaschine um Magnetventile handelt ist keine Überprüfung der Schaltung möglich.

Wird das Ventil Y08 im Rahmen der Durchführung einer Rückspülung nicht geöffnet, so ist kein Abfließen des Wasser-Reinigungsmittel-Gemisches und auch kein Druckabbau in den Leitungen möglich.

Auch ist es möglich, dass das Ventil Y08 zwar geöffnet wird, aber aufgrund einer Verschmutzung o.ä. am Leitungsende kein Druckabbau in den Leitungen stattfindet. Wenn zusätzlich dazu der Drucksensor defekt ist, läuft die Rückspülung systemseitig weiter. Da der Siebträger unter Druck steht und manuell entfernt werden muss, besteht hierbei Verletzungsgefahr für den Bediener, beispielsweise durch das heiße Wasser und das Reinigungsmittel (Verbrennungen, Verätzungen).

Wird das Ventil Y08 aufgrund von Verunreinigungen oder eines systemseitigen Fehlers nicht mehr geschlossen, so kann die Einwirkzeit nicht eingehalten werden und das Wasser-Reinigungsmittel-Gemisch wird zwar durch die Leitungen gespült, wird aber auch direkt in den Abwasserbehälter gespült. Das Gemisch spült die Leitungen also, reinigt sie aber nicht. Auch bei einem weiteren Kaffeebezug wird dieser bei Nichtschließen des Ventils direkt in den Abwasserbehälter abgepumpt.

Wird der Timer für die Einwirkdauer durch das System nicht gestartet, so dauert die Rückspülung unendlich lange und es ist keine weitere Funktionsauswahl (z.B. für Kaffee-/Teewasserbezug) mehr möglich, bis die Rückspülung intern beendet wird.

Unterscheidung Spülung/Rückspülung

Rückspülung

Vor der Durchführung einer Spülung/Rückspülung wird eine Unterscheidung dieser beiden Funktionen vorgenommen. Das System führt eine Rückspülung bei Überschreiten eines bisher noch nicht definierten Systemdrucks durch. Wird also ein steigender Systemdruck erkannt, so wird eine Rückspülung durchgeführt.

Ist der Drucksensor an der Brühgruppe defekt so wird eine Spülung durchgeführt, auch wenn ein Blindsieb eingesetzt ist und der Druck somit steigt. Die Kaffeemaschine wird erst eine Rückspülung durchführen, wenn der Durchflussmesser keinen Durchfluss mehr misst.

Bei Ausgabe unlogischer Spannungswerte (es sind sprunghafte Änderungen des Signals möglich) durch den Drucksensor an der Brühgruppe sind die Auswirkungen auf die Durchführung einer Rückspülung nicht vorhersehbar.

Bei Defekt des Durchflusssensors wird der erforderliche Systemdruck zur Durchführung einer Rückspülung nicht erreicht, da durch die Software kein Durchfluss erkannt wird und die Pumpe somit gestoppt wird.

Spülung

Bei Ausgabe eines unlogischen Signals durch den Durchflusssensor ist es möglich, dass die Spülung frühzeitig beendet wird, da ein zu hoher Durchflusswert an den Mikrocontroller übermittelt wird. Ebenfalls ist es möglich, dass die Spülung zu lange ausgeführt wird, da ein zu geringer Durchflusswert an den Mikrocontroller übergeben wird.

Im Worst-Case-Szenario ist es ebenfalls denkbar, dass sowohl der Druck- als auch der Durchflusssensor einen Defekt aufweisen. "Vermutlich" passiert nichts, die Spülung wird zwar gestartet, wird aber aufgrund des fehlenden Durchflusses sofort beendet.

Bei Ausgabe unlogischer Spannungswerte durch den Druck- und den Durchflusssensor sind die Auswirkungen auf die Unterscheidung nicht vorhersehbar.

10.15 Systemreinigung (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

Bei einer Systemreinigung ist es wichtig bestimmte Temperatur des Systems zu haben, um die Maschine korrekt zu reinigen. Wenn das System schon bei dem Betriebszustand nicht erkennt ob die Maschine bzw. das Wasser bei der Reinigung kalt oder heiß ist, kann es zu einer nicht vervollständigten Reinigung kommen. Ein weiterer häufiger Fehler kann auftreten, wenn der Durchflusssensor andauernd die Impulse zurückgibt, obwohl der Boiler schon längst leer ist. Ebenso kann es passieren, dass bei der Entleerung des Boilers die Pumpe nicht abschaltet und wegen einem Fehler am Microcontroller weiter nach der Entleerung Wasser fördert. Da der Mikrocontroller in diesem Fall dauerhaft Ausgangssignale kann es zu Überdrehen der Pumpe und weiteren mechanischen Probleme kommen. Wie bei vielen Unterpunkten kann es auch hier bei Nichteinhalten der Schrittkette kommen bei dem Zulauf wie auch bei dem Rücklauf des Reinigungswassers.

Betriebszustand

Immer wieder wird vor jeder Aktion der Betriebszustand abgefragt. Hierbei kann ein Fehler das nicht korrekte erkennen, ob die Kaffeemaschine im heißen oder kalten Zustand ist. Erst durch den korrekten Betriebszustand kann die Systemreinigung gestartet werden.

Boiler Entleeren

Mögliche Fehler, die bei der Boilerentleerung auftreten können, sind zum einen eine permanente Rückmeldung des Durchflusssensors. Solange dieser Impulse an den Microcontroller sendet, wird angenommen, dass der Boiler noch nicht entleert ist. Weiter kann das nicht korrekte einhalten der Schrittkette beim Schalten der Ventile ein Problem bei der Entleerung darstellen. Eine permanente Ansteuerung der Pumpe über den Microcontroller, obwohl der Boiler bereits entleert ist, kann ebenfalls zu Bauteilschädigungen führen.

Einführen Reinigungsmittel

Die Einführung des Reinigungsmittels wird durch ein geschultes Fachpersonal durchgeführt. Die notwendige Information zum Zeitpunkt der Einführung wird vom Microcontroller versendet und am Display angezeigt. Ein nicht versenden der Botschaft, so dass keine Displayanzeige "Reinigungsmittel einführen" auftritt, ist eine möglicher Fehler. Zudem kann zusätzlich die Displayanzeige zum Einführen des Reinigungsmittels erscheinen, dennoch die Kaffeemaschine keinen Stopp einlegen und die fortlaufenden Schritte ausführen. Der Leitfähigkeitssensor kann die Maschine in die Notlauffunktion bringen, da das Reinigungsmittel als erhöhte Verkalkung erkannt wird und den Microcontroller blockiert. Als letzte mögliche Fehlerursache kann ein Überhitzen der Reinigungsflüssigkeit durch eine permanente Ansteuerung der Heizwendel zu Problemen und Bauteil Schädigungen führen.

Entkalkung

Im Bezug auf die Entkalkung kann ein Fehler bei der Boilerbefüllung auftreten. Hierbei kann das Signal vom Füllstandsgeber falsch verarbeitet oder ignoriert werden und der Boiler dadurch überfüllt werden. Um die Entkalkung korrekt durchzuführen, wird die Reinigungstemperatur auf eine vorgegebene Temperatur erhitzt. Ein Fehler ist in diesem Fall, wenn die vorgegebene Temperatur der Reinigungsflüssigkeit nicht erreicht wird.

Bei der Reinigung des Teewassersystems wird ein großes Augenmerk auf die Teewasserlanze gelegt. Aus der Teewasserlanze fließt Reinigungsflüssigkeit mit einer erhöhten Temperatur. Das System muss aus diesem Grund einen Stopp einlegen und den Nutzer darauf hinweisen, dass die Teelanze zum Schmutzwasserbehälter geschwenkt wird. Ein möglicher Fehler könnte sein, dass der vorher genannte

Stopp nicht eingehalten wird und dass die Reinigung des Teewassersystem automatisch fortgesetzt wird. Wichtig ist ebenfalls, dass gewartet wird bis der Bediener mit einem 'OK' am Display die Reinigung fortsetzt.

10.16 Bedienung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Das Konzept der Bedienung ist noch nicht fertig ausgearbeitet. Im Folgenden werden Fehler betrachtet, die allgemein gesehen bei einer Vielzahl von möglichen Bedienkonzepten auftreten können.

Es wäre möglich, dass vom Nutzer festgelegte Werte nicht gespeichert werden. Ebenso könnten diese Werte bei Abschalten der Maschine gelöscht werden.

Durch fehlerhafte Eingabe oder Nutzung der Maschine könnten auch unrealistische Werte eingegeben werden. Hier sind Werte gemeint, die entweder von der Maschine nicht erreicht werden können oder für den vorgesehen Gebrauch ungeeignet sind.

Es würde zu fehlerhaften Verhalten führen, wenn sich zwei oder mehrere Funktionen, die zur selben Zeit ausgeführt werden, überschneiden. Das Dampfbezugssystem kann unabhängig von dem Wasserbezugssystem betrieben werden. Nur hier wäre es möglich, zwei Funktionen parallel auszuführen.

Wenn bei bereits aufgetretenem Fehler die Maschine weiterhin betrieben wird und eine weitere Funktion eingeleitet wird, kann dies zu weiteren Komplikationen oder Schädigungen der Maschine führen.

Sollte es bei fehlerhaften Verhalten der Maschine nicht möglich sein die Funktion abzubrechen, kann dies zu Schäden oder Verletzungen infolge von Verbrühung führen.

Ein fehlerhaftes Verhalten kann auch dann auftreten, wenn die hinterlegten Parameter aufgrund eines Softwarefehlers falsch eingelesen werden. Dies könnte bei nur geringen Abweichungen zunächst unerkannt bleiben.

10.17 Presets (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Bei den Presets besteht die Gefahr, dass die gewünschten Werte aus verschiedenen Gründen nicht gespeichert werden.

So kann der Nutzer selbst vergessen die Werte zu speichern oder die Maschine speichert die Werte nicht ab. Auch bei Ausschalten der Maschine können die Werte zurückgesetzt werden, wodurch die Werte zwar für die aktuelle Funktion verwendet werden, aber nach erneutem Einschalten der Maschine wieder eingegeben werden müssen.

Bei den gewünschten Werten kann es sich um unrealistische, zu kleine oder zu hohe Werte handeln. Welche Werte bei den einzelnen Funktionen als unrealistisch, zu klein oder zu hoch gelten ist noch nicht festgestellt.

Wenn das Preset von der Maschine geladen wird, kann hierbei ein falsches Preset geladen werden oder es werden nur teilweise die gewünschten Werte bzw. die falschen Werte geladen.

10.18 Remote-Control (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

Die Remote-Control ist bisher nicht ausgearbeitet, weshalb die folgenden Fehler allgemein gehalten sind und bei Einführung der Funktion erweitert oder nochmals betrachtet werden müssen.

Bei dem Festlegen der gewünschten Sollwerte kann zum einen der Nutzer vergessen diese zu speichern und zum anderen kann es vorkommen, dass die Maschine die Werte nicht übernimmt und nicht speichert oder fehlerhaft speichert.

Der Nutzer kann Werte eingeben die unrealistisch sind und für die Funktion nicht geeignet sind. Welche Werte hierbei als unrealistisch einzuordnen sind muss noch festgelegt werden.

Wenn der Nutzer eine weitere Funktion auswählt, während eine andere Funktion bereits aktiviert wurde, kann es sein das sich die Funktionen überschneiden und es somit zu einer Fehlfunktion kommt.

Wenn in der Maschine ein Fehler vorliegt und von der Remote-Control eine Funktion ausgelöst wird, kann der vorliegende Fehler noch verschlimmert werden oder weitere Fehler beziehungsweise eine Gefahr für den Nutzer entstehen.

Während der Ausführung einer Funktion kann es vorkommen, dass der Nutzer diese abbrechen möchte. Wenn die Remote-Control eine untergeordnete Handlungsberechtigung hat oder den Kontakt zur Maschine verliert, kann die Funktion nicht abgebrochen werden.

Die Sollwerte können auch an der Remote-Control geändert werden. Dabei können vom Nutzer Werte eingegeben werden welche unrealistisch sind und nicht für die Funktion ausgelegt sind. Diese Parameter können auch fehlerhaft von der Maschine ausgelesen werden.

Bei der Übertragung können auch Fehler auftreten. Infolgedessen würde die Maschine die falsche Funktion aktivieren oder die falschen Werte verwenden.

Es kann vorkommen, dass über die Remote-Control Aufträge unbewusst abgeschickt werden. Zum einen durch versehentliches Auslösen, zum Beispiel in der Hosentasche des Nutzers, vergleichbar mit einem "Hosentaschenanruf". Zum anderen kann ein Auftrag aufgrund eines Netzwerkfehlers mit starker Verzögerung abgeschickt werden, wobei der Nutzer diesen gar nicht mehr abschicken möchte.

Als Vorschlag soll hier auch auf die Gefahr durch Fremdnutzung aufgeführt werden. So könnten Kinder unbeaufsichtigt die Maschine bedienen und sich dabei durch heißes Wasser und Dampf in Gefahr begeben.

10.19 Stromsparmmodus (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Bedingungen

Im Stromsparmmodus darf der Stromverbrauch der Espressomaschine nach den gesetzlichen Anforderungen nicht mehr als 2,00W betragen. Die Espressomaschine soll nach einer Wartezeit von 15 Minuten automatisch heruntergefahren werden. Hierfür wird nach der Durchführung einer Spülung/Rückspülung bzw. nach dem letzten Teewasser-/Kaffeebezug ein Timer durch den Mikrocontroller gestartet. Bei erneutem Bezug oder der Durchführung einer Spülung wird der Timer zurückgesetzt und wird nach dem erfolgreichen Abschluss der Funktion erneut gestartet. Im Rahmen des Stromsparmmodus werden die Regelkreise für den Boilerdruck, den Abwasserstand, den Volumenstrom und die Wasserbezugstemperatur pausiert. Der Durchflussratenmesser muss unbestromt sein. Es dürfen keine Störungen innerhalb der Software vorliegen und es dürfen keine ausgegebenen Warnungen vorliegen. Die Isolation des Boilers soll so beschaffen sein, dass die Wassertemperatur innerhalb der Wartezeit von 15 Minuten konstant gehalten werden kann.

Mögliche Fehler

Ein denkbarer Fehler im Kontext des Stromsparmodus ist, dass der Timer nach dem letzten Kaffeebezug/Teewasserbezug nicht gestartet wird und somit auch der Stromsparmodus nicht aktiviert wird (Regelkreise werden nicht pausiert). Die Konsequenz daraus ist, dass der Stromverbrauch zu hoch ist.

Des Weiteren ist es möglich, dass die Maschine durch einen Fehler in der Software nach dem Ablauf des Timers nicht automatisch abgeschaltet wird. Auch hier ist der Stromverbrauch der Espressomaschine zu hoch.

Auch ein Nichtpausieren der Regelkreise würde sich in einem zu hohen Stromverbrauch der Espressomaschine bemerkbar machen.

Aufwecken

Mögliche Fehler

Innerhalb der Wartezeit von 15 Minuten bis zum automatischen Herunterfahren der Maschine kann die Espressomaschine durch ein erneutes Betätigen des Bedienelementes aus dem Wartezustand aufgeweckt werden. Hier ist es möglich, dass nach der Betätigung des Bedienelementes keine Rückmeldung an den Mikrocontroller gegeben wird und die Espressomaschine nicht startet.

Auch ist wie beim Bootprozess ein Einfrieren der Bedienelemente durch ein Aufhängen der Software denkbar wodurch keine weitere Funktionsauswahl mehr möglich ist.

11 Definition der Maßnahmen

11.1 Bootprozess (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

F001: Keine Rückmeldung an Mikrocontroller

- Das Bedienelement erneut aktivieren/betätigen. Wenn weiterhin keine Rückmeldung erfolgt, muss die Espressomaschine durch den technischen Service instandgesetzt werden (Verkabelung, Sicherungen etc. überprüfen)

F002: Mehrfache Betätigung oder Prellen des Bedienelementes → Kaffeemaschine schaltet sich direkt wieder ab

- Durch das Einpflegen eines Timers für X Sekunden, der nach dem ersten Signal eine weitere Erkennung durch das System unterbindet. Die Länge des Timers muss durch Messungen am Bedienelement herausgefunden werden.
- Im [Versuch 03_01 Länge des Timers zur Unterbindung von mehrfacher Betätigung](#) wird dargestellt, wie die Zeit des Timers experimentell ermittelt werden kann.

F003: Einfrieren der Bedienelemente durch Aufhängen der Software

- Die Kaffeemaschine muss manuell resettet werden, d.h. vom Strom trennen und anschließend erneut starten. Falls der Fehler so nicht behoben werden kann, muss die Maschine neu programmiert werden (Update).

F004: Störung des Ablaufs der Schrittketten durch vorhergehenden Interruptzugriff → Display bleibt evtl. unbeleuchtet

- Das System muss neu programmiert werden und nach jedem Schritt einen kurzen Zeitverzug einbauen, bevor der nächste Schritt durchgeführt wird.

F005: unlogischer Messwert Füllstandssensor (schwankendes Signal)

- Um eine ständige Nachfüllung aufgrund des schwankenden Signals des Füllstandssensors zu vermeiden, sollte ein Timer programmiert werden, der nach einer Zeit von Y Sekunden die Befüllung stoppt. Die Länge des Timers muss durch Versuche ermittelt werden.

[Versuch 02_07 Timer für Boilerbefüllung \(schwankendes Signal\)](#)

F006: Füllstandssensor gibt zu früh Signal aus (Wassertropfen überbrückt die Kontaktstäbe)

- Durch Umstellung des Messverfahrens auf kapazitive Füllstandserkennung oder alternativ einen anderen Füllstandssensor (Schwimmer) verwenden.

F007: Füllstandssensor gibt kein Signal (z.B. durch Verkalkung)

- Verkalkung kann am Sensor nur durch einen defekten Leitwertensensors auftreten. Durch eine regelmäßige Entkalkung kann dies vermieden werden. Es muss eine Zeit programmiert werden, wann eine regelmäßige Entkalkung durchzuführen ist.
- Im [Versuch 03_02 Ermittlung der Zeit für eine regelmäßige Entkalkung](#) wird dargestellt, wie die Zeit ermittelt werden kann, wann eine regelmäßige Entkalkung des Systems fällig/sinnvoll ist.

F008: Füllstandssensor gibt durchgehend Signal

- Bei der Befüllung ist Boiler am Anfang immer leer. Wenn der Sensor direkt bei Beginn der Befüllung ein Signal gibt, muss ein Fehler vorliegen. Bedingung bei Start der Befüllung: Signal Füllstandssensor = „0“, sonst Fehler ausgeben.

F009: Nach dem Stromsparmmodus ist Temperatur kaum gefallen → Bei Defekt des Temp. bzw. Drucksensors ist ein zu hoher Boilerdruck möglich (Überdruckventil versagt)

- Bevor die Kaffeemaschine mit dem Aktivieren von Aktoren beginnt, muss jeder Sensor auf seine Plausibilität geprüft werden. Erst dann darf ein Aktor (hier Heizung) angesteuert werden.

F010: zu hohe/ zu niedrige Boilertemp. durch fehlerhafte Kalibrierung Temperatursensor (Fehlstellung Dosierventil, unzul. Belastung Boiler)

- Durch das Hinterlegen der Dampfdruckkurve von Wasser in der Programmierung können falsche Kalibrierungen (hier Temperatursensor) über den Drucksensor erkannt werden und als Fehlermeldung am Display ausgegeben werden.

F011: zu hohe/ zu niedrige Boilertemp. durch fehlerhafte Kalibrierung Drucksensor (Fehlstellung Dosierventil, unzul. Belastung Boiler)

- Durch das Hinterlegen der Dampfdruckkurve von Wasser in der Programmierung können falsche Kalibrierungen (hier Drucksensor) über den Temperatursensor erkannt werden und als Fehlermeldung am Display ausgegeben werden.

F012: Unlogischer Messwert Temperatursensor

- Festlegung eines zulässigen Wertebereichs für den Temperatursensor nach Herstellerangaben.

F013: Unlogischer Messwert Drucksensor

- Festlegung eines zulässigen Wertebereichs für den Drucksensor nach Herstellerangaben.

F014: Fehler der Regelkreise werden nicht angezeigt/ausgegeben

- Die espressomaschine muss neu gestartet werden. Werden die Fehler nach Neustart der Software weiterhin nicht ausgegeben, so muss die Maschine neu programmiert werden (Software-Update).

F015: fehlerhafte Kalibrierung Drucksensor

- Bei Durchführung der Dichtheitsprüfung nach dem Erreichen des Boilerdruckes sowie dem Umsetzen der im Kontext des Erreichens des Boilerdruckes genannten Maßnahmen kann eine fehlerhafte Kalibrierung des Drucksensors hier ausgeschlossen werden. (F011)

F016: unlogischer Wert Drucksensor

- Festlegung eines zulässigen Wertebereichs für den Drucksensor nach Herstellerangaben.

F017: Drucksensor defekt

- Dieser Fehler sollte bereits beim Aufheizvorgang durch den Regelkreis Boilerdruck erkannt werden.

F018: fehlerhafte Kalibrierung Temperatursensor

- Bei Durchführung der Isolationsprüfung nach dem Erreichen des Boilerdrucks sowie dem Umsetzen der im Kontext des Erreichens des Boilerdrucks genannten Maßnahmen kann eine fehlerhafte Kalibrierung des Temperatursensors hier ausgeschlossen werden. (F010)

F019: unlogischer Wert Temperatursensor

- Festlegung eines zulässigen Wertebereichs für den Temperatursensor nach Herstellerangaben.

F020: Temperatursensor defekt

- Dieser Fehler sollte bereits beim Aufheizvorgang durch den Regelkreis Boilerdruck erkannt werden.

F021: Grenzwert unbekannt

- Versuche nötig um Grenzwert zu bestimmen

[Versuch 02_01 Grenzwert für Isolierung](#)

11.2 Regelkreis Abwasserstand (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

F124: Y04 geöffnet: Frischwasser wird direkt über die Abwasserleitungen abgepumpt

- Durch Kurzzeitiges Öffnen des Ventils Y01 → Wenn der Durchflussmesser einen Durchfluss misst, ist das Ventil Y04 nicht geschlossen.

F125: Y08 geöffnet: Wasser/Kaffeebezug wird direkt über die Abwasserleitungen abgepumpt

- Durch Austausch des Ventils Y08 gegen ein Modell mit Überwachungsfunktion des Schaltzustandes.

F126: Y11 geöffnet: Restwasser läuft von Dosierventil über Y06 weiter in den Abwasserbehälter

- Durch kurzzeitiges Öffnen der Ventile Y01 & Y06. Wenn der Durchflussmesser einen Durchfluss misst, ist das Ventil Y11 nicht geschlossen.

F127: Kontaktstäbe verbogen → Ausgabe eines dauerhaften Signals (Abwasserbehälter wird dauerhaft als voll angezeigt)

- Durch einen Positionsschalter, der die Position des Abwasserbehälters detektiert, könnte nach dem Entnehmen und Wiedereinsetzen des Abwasserbehälters eine Fehlermeldung der verbogenen Kontaktstäbe auf dem Display erfolgen.

F128: Verbindung unterbrochen zwischen den Kontaktstäben und dem Mikrocontroller

- Durch Sichtprüfung ob Verkabelung/ Anschlussstecker i.O.

F129: Flag wird gesetzt, jedoch ohne Ausgabe am Display

- Ein Neustart der Kaffeemaschine ist erforderlich und ausreichend.

11.3 Regelkreis Wasserbezugstemperatur (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

F113: Widerstandskennlinie der Temperatursensoren unterschiedlich oder nicht korrekt

- Resett der Kennlinie und neu kalibrieren

F114: Spannungsbereich von 0-10 V am Dosierventil vertauscht für öffnen und schließen des Ventils

- Bei der Programmierung der Regelgrößen auf korrekte Vorzeichen achten

F115: Unproportionales Öffnen des Dosierventils (Öffnungswinkel unproportional anliegender Spannung)

- Eine Soll-/Istwert abhängige Regelung erstellen, da ein linearer Verlauf nicht gegeben sein muss.

F116: Permanent geöffnetes Dosierventil: kein Erreichen der Solltemperatur

- Keine weitere Spannungsausgabe des Mikrokontroller, blockiert Ausgang
- Einzel Antakten zur Prüfung ob Bauteil mechanisch hängt

F117: Regelung trotz Stillstand der Pumpe

- Bei Beendigung des Wasserbezugs den Regelkreis zur Bezugstemperatur beenden. Kontrollierbar bei der Inbetriebnahme mit Überwachung der Software

11.4 Regelkreis Volumenstrom (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

F118: Pumpe läuft wegen fehlendem Aufruf des Regelkreises nicht an

- Kontrolle in SW ob Regelkreis gestartet wird

F119: Pumpe läuft nach Beendigung des RK weiter wegen fehlendem Abschaltbefehl

- Kontrolle ob Pumpe vom Regelkreis abgeschaltet wird

F120: Pumpe läuft weiter, da im RK das Bezugsvolumen nicht mitgezählt wird

- Funktionstüchtigkeit des Zählers in der SW kontrollieren, durch Beobachtung bei Wasserbezug

F121: Bezugsvolumen gilt sofort als erreicht, da der Zähler (Speicher) nach dem letzten Bezug nicht zurückgesetzt wurde

- Zähler für Bezugsvolumen bei jedem Start des Regelkreises neu von Null starten

F122: Erfasstes Bezugsvolumen entspricht nicht dem realen Bezugsvolumen durch fehlerhafte Kalibrierung

- Werte für die Taktung des Volumenstromsensor nach Herstellerangaben in der SW hinterlegen

F123: Durch Vibration wird ein Bezugsvolumen gemessen, trotz Stillstand der Pumpe

- Deaktivierung des Zählers bei Stillstand der Pumpe

11.5 Füllstandsregler/Boiler nachfüllen (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

F022: Füllstandssensor gibt zu früh Signal aus (durch Wasserbewegung)

- Das Signal des Füllstandssensor muss eine Sekunde stetig anliegen.

F023: Füllstandssensor gibt kein Signal (z.B. durch Verkalkung)

- Die Füllstandsregelung ist Softwaretechnisch nicht möglich. Der Schutz vor Schäden durch Überdruck wird durch Abschalten der Pumpe bei Überschreiten des Soll-Drucks im Boiler realisiert.

F024: Füllstandssensor gibt Dauersignal

- Es kann ein Zähler eingefügt werden, der den Wasserverbrauch über den Dampfbezug aufzeichnet und bei Überschreiten des Grenzwerts einen Fehler ausgibt. Hierzu sind Versuche nötig, um den Wasserverbrauch zu ermitteln und die Grenzwerte zu bestimmen.

[Versuch 02_02 Timer für Wasserverbrauch durch Dampf](#)

11.6 Verkalkungsschutz (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

F096: Leitwertsensor Sollwerte falsch gesetzt

- Bei SW-Programmierung auf die Richtigkeit der Werte achten.

F097: Keine Blockade der Bezugsmöglichkeiten

- Bei Inbetriebnahme in der SW einen zu hohen Kalkgehalt simulieren und die Sperrung der Bezugsmöglichkeiten testen

11.7 Kaffeebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

F061: Fehlende RM das die Betriebsbereitschaft i.O. (kein Flag gesetzt)

- Mehrfache Abfrage über die aktuelle Betriebsbereitschaft, bei erneut fehlender RM Warnhinweis auf Display und Kaffeemaschine in ein Notlauf versetzen

F062: Füllstandssensor keine RM

- Sichtprüfung ob Verkabelung beschädigt, Erneute Abfrage des Sensors

F063: Temperatursensor keine RM

- Sichtprüfung ob Verkabelung beschädigt, Erneute Abfrage des Sensors

F064: Drucksensor keine RM

- Sichtprüfung ob Verkabelung beschädigt, Erneute Abfrage des Sensors

F065: Abwasserstand keine RM

- Sichtprüfung ob Verkabelung beschädigt, Erneute Abfrage des Sensors

F066: Falsches Abgreifen der Sollwerte aus dem Speicher (Preinfusion, Kaffeemenge)

- Prüfen der im Speicher hinterlegten Werte bei der Inbetriebnahme

F067: Verlust der Daten

- Backup in der SW hinterlegen auf die immer Zugriff besteht

F068: Verwechslung von Einheiten bei der Sollwertübernahme (Nutzer)

- Eindeutige Kennzeichnung der Temperatureinheiten auf dem Display (K, °C, °F)

F069: Daten am falschen Speicherort abgelegt

- Nach Fertigstellung der SW, Werte in der Speicherablage kontrollieren

F070: Timer läuft unendlich durch

- Überwachungsfunktion die nach einer Definierten Zeit (z.B. 1 Minute automatisch die Preinfusion beendet, Hinweis wird am Display ausgegeben, dass Preinfusionszeit überschritten

F071: Timer zählt falsch (zu kurz/ zu lang)

- Timerfunktion während der Programmierung testen, ob ein echtzeitfähiges System vorliegt oder ob andere Prozesse dominant sind. Priorisierung der Timerfunktion

F072: Falscher Volumenstrom durch die Pumpe (zu wenig Druck/ zu viel Volumenstrom)

- Kontrolle, ob Regelkreis die korrekten Parameter übermittelt, bekommt
- Wenig Leistung/ Spannung an der Pumpe anlegen

F073: Falsches schalten der Ventile

- Schrittfolge der Ventile bei Inbetriebnahme kontrollieren, möglicherweise durch Beobachtung der Ausgänge mittels SW

F074: Überschneidung von Schrittketten -> sich gegenseitig behindert

- Die Schritte einzeln ausführen, den Fehler finden und durch das Update die Schrittkette aktualisieren

F075: Reagiert nicht auf den Manuellen Knopf da zu schnell gedrückt (Zeitberücksichtigung)

- Zeitsperre der Betätigung bei Inbetriebnahme prüfen, dabei auch die eingestellte Zeit kontrollieren, ob der Zähler die Zeit korrekt zählt. (Priorisierung der Timerfunktion)

F076: Führt mit drücken den falschen Prozess aus

- Kontrollieren ob eindeutige Bedingungen für Jeden Schritt in der Schrittkette gegeben sind

F077: Durchflusssensor gibt unplausible Werte zurück -> Regelkreis Volumenstrom

- Regelkreis zum Wasserbezug kontrollieren, bzw. die volumetrische Kalibrierung der Taktung des Sensors überprüfen

F078: Einhalten der Schrittketten wird nicht beachtet (zu schnelle Abfolge)

- System neu programmieren, nach jedem Schritt einen kurzen Zeitverzug einbauen bevor der nächste Schritt durchgeführt wird

F079: Regelkreis Wasserbezugstemperatur -> falscher Wert wird abgefragt/ übergeben

- Regelkreis zur Wasserbezugstemperatur kontrollieren, welche Werte in den Regelkreis eingebracht werden.

F080: Dosierventil wird permanent angesteuert (nicht erreichen der Solltemp.)

- Regelkreis zur Wasserbezugstemperatur kontrollieren

F081: Permanenter Druck im Wasserkreis -> Y08 bekommt nicht Signal, dass Kaffeebezug beendet

- In der SW kontrollieren, ob dieser Schritt vorhanden ist und bei Inbetriebnahme auf Funktion testen

F082: Spannung an Pumpe wird falsch geregelt (hoch/ niedrig) -> durch Signal vom Durchflusssensor geregelt

- Regelkreis zur Wasserbezugstemperatur kontrollieren, dort die Pumpenansteuerung betrachten

11.8 Teebezug (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

F083: Fehlende RM das Betriebsbereitschaft i.O. (kein Flag gesetzt)

- Mehrfache Abfrage über die aktuelle Betriebsbereitschaft, bei erneut fehlender RM Warnhinweis auf Display und Kaffeemaschine in ein Notlauf versetzen

F084: Füllstandsensoren keine RM

- Sichtprüfung ob Verkabelung beschädigt, Erneute Abfrage des Sensors

F085: Temperatursensoren keine RM

- Sichtprüfung ob Verkabelung beschädigt, Erneute Abfrage des Sensors

F086: Drucksensoren keine RM

- Sichtprüfung ob Verkabelung beschädigt, Erneute Abfrage des Sensors

F087: Abwasserstand keine RM

- Sichtprüfung ob Verkabelung beschädigt, Erneute Abfrage des Sensors

F088: Falsches abgreifen der Sollwerte aus dem Speicher (Preinfusion, Kaffeemenge)

- Prüfen der im Speicher hinterlegten Werte bei der Inbetriebnahme

F089: Verlust der Daten

- Backup in der SW hinterlegen auf die immer Zugriff besteht

F090: Daten am falschen Speicherort abgelegt

- Nach Fertigstellung der SW, Werte in der Speicherablage kontrollieren

F091: Durchflusssensoren geben unplausible Werte zurück -> Regelkreis Volumenstrom

- Regelkreis zum Wasserbezug kontrollieren, bzw. die volumetrische Kalibrierung der Taktung des Sensors überprüfen

F092: Einhalten der Schrittketten wird nicht beachtet (zu schnelle Abfolge)

- System neu programmieren, nach jedem Schritt einen kurzen Zeitverzug einbauen, bevor der nächste Schritt durchgeführt wird

F093: Regelkreis Wasserbezugstemperatur -> falscher Wert wird abgefragt/ übergeben

- Regelkreis zur Wasserbezugstemperatur kontrollieren, welche Werte in den Regelkreis eingebracht werden.

F094: Dosierventil wird permanent angesteuert (nicht Erreichen der Solltemp.)

- Regelkreis zur Wasserbezugstemperatur kontrollieren

F095: Spannung an Pumpe wird falsch geregelt (hoch/ niedrig) -> durch Signal vom Durchflusssensor geregelt

- Regelkreis zur Wasserbezugstemperatur kontrollieren, dort die Pumpenansteuerung betrachten

11.9 Milchschaumer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

F032: Der Milchschaumer wird länger betrieben als nötig.

- Nach Ablauf eines Timers (mit X Sekunden) werden die Ventile geschlossen, um den Milchschaumer zu deaktivieren. Ein sinnvolles Zeitlimit kann mit dem [Versuch 02_04 Druckabfall bei Dampfbezug](#) ermittelt werden.

F033: Verbrühungsgefahr durch sofortigen Dampfaustritt

- Nach Aktivierung des Milchschaumers, wird der Dampf erst nach 1 Sekunde Verzögerung eingeleitet.

F034: Verbrühungsgefahr durch verspätetem Dampfaustritt

- Unmittelbar vor Dampfausgabe erfolgt eine Warnung am Display: "Warnung Dampfaustritt"

F035: Dampfaustritt mit zu hohem Druck

- Der Dampfaustrittsdruck wird über Y05 geregelt. Bei Beginn mit geringem Druck, der langsam erhöht wird.

F036: Ventil Y05 schaltet nicht

- Maßnahme hierfür wäre, eine Überwachung des Boilerdrucks. Bei korrekter Funktion sollte dieser niedriger werden. Zur Bestimmung des Druckunterschieds wird [Versuch 02_04 Druckabfall bei Dampfbezug](#) herangezogen.

F037: Ventil Y10 schaltet nicht

- Maßnahme hierfür wäre, eine Überwachung des Boilerdrucks. Bei korrekter Funktion sollte dieser niedriger werden. Zur Bestimmung des Druckunterschieds wird [Versuch 02_04 Druckabfall bei Dampfbezug](#) herangezogen.

11.10 Tassenwärmer (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

F025: Tassenwärmer wird länger betrieben als nötig.

- Timer einfügen, nachdem Ventil geschlossen wird.
- Dauer des Timers wird durch [Versuch 02_03 Timer für Tassenwärmer](#) ermittelt.

F026: Tassenwärmer wird aus Versehen ausgelöst.

- Hierfür gibt es keine Software-technischen Maßnahmen, nur Hardwaretechnisch

F027: Verbrühungsgefahr durch sofortigen Dampfaustritt

- Der Dampf wird erst eine Sekunde nach Aktivierung ausgegeben.

F028: Verbrühungsgefahr durch verspäteten Dampfaustritt

- Bei Ausgabe von Dampf wird der Nutzer über die Anzeige der Maschine gewarnt. Weitere Maßnahmen sind nur Hardware-technisch umzusetzen.

F029: Dampfaustritt mit zu hohem Druck

- Der Dampfaustritt wird über Y05 geregelt. Damit kein zu hoher Druck herrscht, wird das Ventil langsam geöffnet.

F030: Ventil Y05 schaltet nicht

- Sollte der Druck im Boiler nicht geringer werden, obwohl Dampf austreten soll, muss der Vorgang abgebrochen werden. Durch den Versuch 02_04 Druckabfall bei Dampfbezug wird der Grenzwert für den Druckabfall bestimmt.

F031: Ventil Y10 schaltet nicht

- Sollte der Druck im Boiler nicht geringer werden, obwohl Dampf austreten soll, muss der Vorgang abgebrochen werden. Durch den Versuch 02_04 Druckabfall bei Dampfbezug wird der Grenzwert für den Druckabfall bestimmt.

11.11 Spülung/Rückspülung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

F130: Y06, Y07 schalten nicht: Kein Druckaufbau

- Durch die Überwachung des Durchflusssensors, da die Durchflussrate gegen 0 geht. Es muss eine erneute Ansteuerung der Ventile durchgeführt werden. Wenn Durchfluss nicht steigt, dann eine Fehlermeldung auf Display ausgeben.

F131: Unlogischer Wert durch Durchflussmesser (Pulsationen oder Undichtigkeiten)

- Einen Durchflussmesser mit geringerer Empfindlichkeit wählen, sodass die Pulsationen der Pumpe nicht mitgezählt werden.

F132: Permanent geöffnetes Dosierventil: kein Erreichen der Solltemperatur (RK Wasserbezugstemperatur)

- Maßnahme siehe RK Wasserbezugstemperatur (F116)

F133: Ventil Y01 schließt nicht: Frischwasserzuleitung permanent geöffnet

- Wird durch den Durchflussmesser ein Durchfluss gemessen, so ist Y01 noch geöffnet → erneuter Schließversuch von Y01

F134: Ventil Y06/Y07 schließen nicht

- Keine Maßnahme notwendig

F135: Ventil Y01/Y06 schließen nicht: Frischwasserleitung geöffnet, kein Druckaufbau

- Wird durch Durchflussmesser ein Durchfluss gemessen, so ist Y01 noch geöffnet → erneuter Schließversuch von Y01. Nach erfolgreichem Schließen von Y01 gibt es keine Auswirkungen mehr auf die Funktionalität der Maschine.

F136: Ventil Y01/Y06/Y07 schließen nicht: dauerhafte Spülung

- Wird durch Durchflussmesser ein Durchfluss gemessen, so ist Y01 noch geöffnet → erneuter Schließversuch von Y01. Nach erfolgreichem Schließen von Y01 gibt es keine Auswirkungen mehr auf die Funktionalität der Maschine.

F137: Drucksensor in Brühgruppe defekt

- Einen zweiten Drucksensor als Redundanz verwenden, da der Kaffeemaschine nicht klar ist, dass das System unter Druck steht und somit keine Warnung an den Nutzer herausgeben kann (Verbrennung- und Verätzungsgefahr).

F138: unlogische Werte des Drucksensors Brühgruppe

- Festlegung eines zulässigen Wertebereichs für den Drucksensor nach Herstellerangaben.

F139: Durchflusssensor defekt

- Wird kein Signal durch den Durchflusssensor festgestellt, so muss die Pumpe gestoppt werden und es muss eine Fehlermeldung auf dem Display ausgegeben werden.

→ Durchflusssensor durch technischen Dienst austauschen lassen

F140: unlogische Werte des Durchflusssensors

- Festlegung eines zulässigen Wertebereichs für den Durchflusssensor nach Herstellerangaben.

F141: Druck- und Durchflusssensor defekt

- Wird kein Signal durch den Durchflusssensor festgestellt, so muss die Pumpe gestoppt werden und es muss eine Fehlermeldung auf dem Display ausgegeben werden.

→ Durchfluss- und Drucksensor durch technischen Dienst austauschen lassen

F142: Druck- und Durchflusssensor liefern unlogische Werte

- Siehe Maßnahmen F138 und F140

F143: fehlerhafte Kalibrierung des Temperatursensors nach dem Dosierventil

- Einführen einer manuellen Kalibrierung über Wartungsmenü für die Espressomaschine. Fehlermeldung X mal im Jahr, Durchführung des Nutzers durch den Prozess über Ausgabe am Display zur Erfüllung von Randbedingungen (vorgewärmte Tasse), danach Messung der Kaffeebezugstemperatur über im Lieferumfang enthaltenes Thermometer.
- Im [Versuch 03_03 Manuelle Kalibrierung](#) wird erläutert, wie die manuelle Kalibrierung des Temperatursensors nach dem Dosierventil erfolgen könnte.

F144: Systemdruck wird nicht erreicht → Pumpe läuft weiter

- Einen Countdown einführen, innerhalb welcher der Systemdruck erreicht werden soll. Nach Ablauf des Timers Pumpe stoppen und Fehlermeldung auf dem Display an Nutzer ausgeben. Überprüfung des Systems durch den Nutzer.

F145: Ventil Y08 wird nicht geöffnet (Überprüfung nicht möglich)

- Countdown einführen, innerhalb welcher der Systemdruck abgebaut werden soll. Nach Ablauf des Timers eine Fehlermeldung auf dem Display ausgeben und die Brühgruppe drucklos machen, durch das Öffnen von Ventil Y07 und Y11. Im Anschluss den Nutzer auffordern eine Spülung durchzuführen um das zurückgespülte Reinigungsmittel herauszuspülen.

F146: Ventil Y08 wird geöffnet, jedoch aufgrund von Verschmutzungen in den Leitungen nach dem Ventil Y08, wird der Druck nicht abgebaut

- Countdown einführen, innerhalb welcher der Systemdruck abgebaut werden soll. Nach Ablauf des Timers eine Fehlermeldung auf dem Display ausgeben und die Brühgruppe drucklos machen, durch das Öffnen von Ventil Y07 und Y11. Im Anschluss den Nutzer auffordern eine Spülung durchzuführen um das zurückgespülte Reinigungsmittel herauszuspülen.

F147: Ventil Y08 schließt sich nicht mehr aufgrund von Verschmutzungen --> Reinigungsmittel bzw. erneuter Kaffeebezug werden direkt in den Abwasserbehälter gefördert

- Austausch des Ventils Y08 gegen ein Modell mit Überwachungsfunktion des Schaltzustandes.

F148: Timer wird nicht gestartet, Dauer Rückspülung unendlich

- Hard-Reset, jedoch sollte eine Sicherheitsfunktion eingeführt werden, die die Ventile Y07, Y08 und Y11 öffnet um den Druck in der Brühgruppe abzubauen.

11.12 Systemreinigung (Fecondo, Hoffmann, Opacak)

F098: Warnhinweis nicht angezeigt

- Hardreset der Anlage
- Sicherheitsfunktion integrieren mit zwanghaftem Stopp

F099: Nicht einhalten der Schrittkette

- System neu programmieren, Update hochladen

F100: Nicht einhalten der Schrittkette

- System neu programmieren, Update hochladen

F101: Pumpe läuft ohne Flüssigkeit aufgrund permanenter Ansteuerung

- Durchflusssensor hinter der Pumpe einbauen und die Überwachung in dem System einführen. Einen Notaus der Pumpe programmieren.

F102: Füllstandsensor gibt keinen Wert zurück

- Bei der Boilerbefüllung auf 95% wird der Füllstandssensor nicht beachtet, da dieser ab 70% Füllstand sein Signal zu Voll ändert

F103: System erkennt die Temperatur nicht

- Manuelle Kontrolle im Programm, ob Temperatursensor Signal gibt, sonst vermutlich Sensor defekt

F104: Nach Erreichen der Sollzeit gibt der Timer kein Signal zurück

- Timer prüfen bzw. neu kalibrieren. Wenn das Problem noch vorhanden ist, dann den Microcontroller überprüfen

F105: Blockade vom Microcontroller

Programmierung eines Werkstattmodus -> Leitfähigkeitssensor wird in diesem Modus ignoriert, keine Blockade im Microcontroller möglich

F106: Keine Display-Anzeige

- System neustarten, wenn der Fehler noch immer vorhanden ist, dann System neu updaten

F107: Nicht einhalten der Schrittkette

- System neu programmieren, nach jedem Schritt einen kurzen Zeitverzug einbauen bevor der nächste Schritt durchgeführt wird

F108: Überheiztes Reinigungswasser

- Kontrolle des Temperatursensors und Heizwendel

F109: Falsch verarbeitete Signale vom Füllstandsensor

- Boiler entleeren und mit der Beobachtung des Volumenstroms und den Durchflusssensoren füllen

F110: Die für die Entkalkung vorgegebene Temperatur wird nicht erreicht

- Heizwendel überprüfen, Temperatur im Boiler überwachen bei der Reinigung

F111: Keine Bestätigungsanzeige bei der Reinigung des Teewassersystems

- System neu programmieren, die Displayanzeige einführen.
- Weitere Sicherheits-IF-Anweisung in Programmcode schreiben

F112: Nicht einhalten der Schrittkette, Stoppschritt wird übersprungen

In der SW eindeutige Bedingungen zum Weiterschalten der Schrittkette deklarieren

11.13 Bedienung (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

F038: Werte werden nicht gespeichert (Fehler Nutzer)

- Bevor das Fenster zur Eingabe der Soll-Werte geschlossen wird, wird der Nutzer darauf hingewiesen die eingegebenen Daten zu speichern.

F039: Werte werden nicht gespeichert (Fehler Maschine)

- Bei Speicherung der Soll-Werte werden die Werte an anderer Stelle zur Sicherheit mit abgespeichert. Daraufhin können die neu gespeicherten Soll-Werte mit den Sicherheitswerten abgeglichen. Danach werden die Sicherheitswerte gelöscht.

F040: Die vom Nutzer eingegebenen Werte sind unrealistisch

- Die Werte müssen innerhalb gewisser Grenzwerte liegen. Diese werden durch die [Versuche 02_06 Grenzwerte für Sollwerte](#) ermittelt.

F041: Funktionen überschneiden sich

- Nach Start einer Funktion darf nicht die Möglichkeit bestehen eine andere Funktion zu starten. Lediglich die Option des Abbruchs soll verfügbar sein.

F042: Funktionen werden trotz Fehler zugelassen

- Wenn eine Funktion gestartet wird, während sich Fehler im Fehlerspeicher befinden, müssen die jeweiligen Fehler am Display ausgegeben werden.

F043: Funktion kann nicht abgebrochen werden.

- Sollte es nicht möglich sein eine Funktion abubrechen, so muss im Display darauf hingewiesen werden.

F044: Parameter werden falsch eingelesen

- Die Parameter werden vor Start einzelner Funktionen dem Nutzer im Display angezeigt, somit ist eine Erneute Überprüfung möglich.

11.14 Remote-Control (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

F045: Werte werden nicht gespeichert (Fehler Nutzer)

- Bevor das Fenster zur Eingabe der Soll-Werte geschlossen wird, wird der Nutzer darauf hingewiesen die eingegebenen Daten zu speichern.

F046: Werte werden nicht gespeichert (Fehler Maschine)

- Bei Speicherung der Soll-Werte werden die Werte an anderer Stelle zur Sicherheit mit abgespeichert. Daraufhin können die neu gespeicherten Soll-Werte mit den Sicherheitswerten abgeglichen. Danach werden die Sicherheitswerte gelöscht.

F047: Die vom Nutzer eingegebenen Werte sind unrealistisch

- Die Werte müssen innerhalb gewisser Grenzwerte liegen. Diese werden durch die Versuche 02_06 Grenzwerte für Sollwerte ermittelt.

F048: Funktionen überschneiden sich

- Nach Start einer Funktion darf nicht die Möglichkeit bestehen eine andere Funktion zu starten. Lediglich die Option des Abbruchs soll verfügbar sein.

F049: Funktionen werden trotz Fehler zugelassen

- Wenn eine Funktion gestartet wird, während sich Fehler im Fehlerspeicher befinden, müssen die jeweiligen Fehler am Display ausgegeben werden.

F050: Funktion kann nicht abgebrochen werden.

- Sollte es nicht möglich sein eine Funktion abubrechen, so muss im Display darauf hingewiesen werden.

F051: Parameter werden falsch eingelesen

- Die Parameter werden vor Start einzelner Funktionen dem Nutzer im Display angezeigt, somit ist eine Erneute Überprüfung möglich.

F052: Fehler bei Übertragung der Daten in den Speicher

- Bevor das Programm gestartet wird, soll es eine Rückmeldung an die Remote-Control geben, bei der die Daten abgeglichen werden.

F053: Verspätete Ankunft von Aufträgen

- Die Aufträge werden mit Zeitstempel verschickt. Ist der Zeitstempel älter als zwei Minuten, wird der Auftrag nicht ausgeführt.

F054: Versehentliches Abschicken von Aufträgen

- Vor Abschicken des Auftrags ist eine erneute Bestätigung durch den Nutzer nötig.

F055: Fremdnutzung

- Um vor Fremdnutzung zu schützen kann eine optionale Kindersicherung (Code-Eingabe) eingeführt werden.

11.15 Preset (Florian Todenhagen, Christian Eichholz)

F056: Nutzer speichert Werte nicht

- Bevor das Fenster zur Eingabe der Soll-Werte geschlossen wird, wird der Nutzer darauf hingewiesen die eingegebenen Daten zu speichern.

F057: Maschine speichert falsche Werte

- Bei Speicherung der Soll-Werte werden die Werte an anderer Stelle zur Sicherheit mit abgespeichert. Daraufhin können die neu gespeicherten Soll-Werte mit den Sicherheitswerten abgeglichen. Danach werden die Sicherheitswerte gelöscht.

F058: Werte werden bei Abschalten zurückgesetzt

- Die Werte werden dem Nutzer bei Start angezeigt. Zusätzlich werden die Werte doppelt abgespeichert und verglichen.

F059: gewünschte Werte unrealistisch

- Die Werte müssen innerhalb gewisser Grenzwerte liegen. Diese werden durch die Versuche 02_06 Grenzwerte für Sollwerte ermittelt.

F060: Fehler bei Laden des Presets (falsche Werte)

- Werte werden vor Start der Funktion nochmal verglichen.

11.16 Stromsparmodus (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

F149: Timer wird nicht gestartet, Regelkreise nicht pausiert → Stromverbrauch zu hoch

- Keine Maßnahme möglich. Die Kaffeemaschine muss manuell ausgeschaltet werden. Verstoß gegen die 2005/32/EG!!!

F150: Kein Abschalten der Maschine nach Ablauf des Timers

- Die Kaffeemaschine bei Bemerken durch den Nutzer manuell über Bedienelement abschalten. Zusätzlich eine Fehlermeldung an Handy des Nutzers schicken.

F151: Nichtpausieren der Regelkreise

- Es sind keine Maßnahmen notwendig, da Kaffeemaschine sich nach 30 min nach Ablauf des Timers automatisch abschaltet.

F152: Keine Rückmeldung an Mikrocontroller nach Betätigen des Bedienelementes

- Das Bedienelement erneut aktivieren. Wenn weiterhin keine Rückmeldung erfolgt, dann muss die Espressomaschine durch den technischen Service instandgesetzt werden (Verkabelung überprüfen).

F153: Einfrieren der Bedienelemente

- Die Kaffeemaschine manuell resetten, d.h. vom Strom trennen und anschließend erneut starten. Falls der Fehler so nicht behoben werden kann, muss die Maschine neu programmiert werden (Update).

12 Versuche

12.1 Versuch 02_01 Grenzwert für Isolierung

Ziel ist es die Grenzwerte für das Abkühlverhalten des Boilers zu ermitteln. Voraussetzung hierfür ist die korrekte Isolierung des Boilers, bzw. der Maschine.

Umgesetzt kann der Versuch, indem die Maschine auf Betriebstemperatur gebracht wird und anschließend der Temperaturverlauf über die Zeit von einer Stunde aufgezeichnet wird. Dafür wird die Maschine vom Stromnetz getrennt, damit ein Nachheizen nicht möglich ist. Dieser Vorgang wird einmal bei Raumtemperatur (20 °C) und bei niedrigerer Temperatur (10 °C) durchgeführt, wodurch sich zwei Temperaturverläufe ergeben. Der untere Verlauf legt den Grenzwert (°C/Min) fest, der obere Verlauf dient als Referenzwert.

12.2 Versuch 02_02 Timer für Wasserverbrauch durch Dampf

Ziel des Versuchs ist die Ermittlung des Wasserverbrauchs bei Dampfbezug. Hierbei ist zu berücksichtigen das dieser nicht konstant bei der Maschine ist, da er über ein Drehventil bezogen wird.

Dieser Versuch sollte anwendungsnah geschehen. Dies bedeutet der Wasserverbrauch soll bei gebräuchlichen Handlungen, durch Milchaufschäumen und Tassenwärmer, ermittelt werden. Umgesetzt werden kann dies, indem 20 Mal in Folge 50 ml Milch aufgeschäumt werden. Hierbei wird erfasst wie viel Wasser verbraucht wurde. Ebenso wird erfasst wie viel Wasser bei der Erwärmung von 20 Tassen je 30 Sekunden verbraucht wird. Aus beiden Datensätzen wird der durchschnittliche Verbrauch pro Dampfbezug ermittelt.

Der zweite Teil des Versuchs bezieht sich auf den maximal zulässigen Wasserverbrauch, bevor die Heizwendel Schaden nimmt und somit Wasser nachgefüllt werden muss.

Hierfür wird der Boiler auf Soll-Füllstand mit Wasser gefüllt. Anschließend wird Wasser abgelassen, bis die Heizwendel nur noch leicht mit Wasser bedeckt ist. Das entnommene Wasser bestimmt den Grenzwert für den maximalen Wasserverbrauch

12.3 Versuch 02_03 Timer für Tassenwärmer

Das Ziel des Versuches ist es die benötigte Zeit zu ermitteln, eine Tasse auf ungefähr 30 °C zu erwärmen.

Hierfür wird die Zeit gemessen, die eine Tasse benötigt um von Raumtemperatur (20 °C) auf ca. 30 °C zu erwärmen. Dies wird mit 10 Tassen wiederholt und der Mittelwert der benötigten Zeit gebildet. Dieser Wert dient als Referenzwert.

Zur Ermittlung der größten zulässigen Aufheizdauer wird der Versuch wiederholt, mit dem Ziel die Tasse auf 40 °C zu erwärmen. Der hier ermittelte Mittelwert dient als Grenzwert, nachdem der Tassenwärmer spätestens abschalten sollte.

12.4 Versuch 02_04 Druckabfall bei Dampfbezug

Ziel des Versuchs ist es den Druckabfall festzustellen, nachdem Dampf bezogen wurde. Voraussetzung ist die Betriebsbereitschaft der Maschine.

Hierfür wird der Druckverlauf im Boiler beobachtet, während Dampf wiederholt bezogen wird. Der hierbei ermittelte Druckunterschied pro Zeiteinheit dient als Referenzwert für den Druckabfall bei Dampfbezug.

Als Grenzwert die Hälfte des Referenzwerts verwendet.

12.5 Versuch 02_05 Timer für Milchschaumer

Das Ziel des Versuches ist es die benötigte Zeit zu ermitteln, eine Portion Milch aufzuschäumen. Voraussetzung ist die Betriebsbereitschaft der Maschine.

Hierfür wird die Zeit gemessen, um eine Portion Milch aufzuschäumen. Dies wird mit 10 Portionen, verschiedener Temperaturen und Fettgehalts, wiederholt und der Mittelwert der benötigten Zeit gebildet. Dieser Wert dient als Referenzwert.

Als Grenzwert wird ein Zuschlag von 30% auf die Referenzzeit addiert.

12.6 Versuche 02_06 Grenzwerte für Sollwerte

Das Ziel der Versuche ist es plausible Grenzwerte für die einstellbaren Grenzwerte festzulegen. Voraussetzung ist die Betriebsbereitschaft der Maschine.

12.6.1 Versuch 02_06_1 Wassertemperatur

Die maximale Temperatur wird durch den Siedepunkt von Wasser definiert. Dieser liegt bei 100° C bei Meereshöhe. Aufgrund der Höhenlage vieler Städte muss eine Sicherheit von 5° C eingehalten werden.

Einen unteren Grenzwert für die Wassertemperatur ist nicht nötig, da weder eine Beschädigung noch eine Verletzungsgefahr entstehen kann.

12.6.2 Versuch 02_06_2 Vorbrühdauer

Eine Mindestdauer für die Vorbrühdauer ist nicht nötig, da Kaffee auch ohne Vorbrühdauer zubereitet werden kann. Somit liegt der Grenzwert bei 0 s.

Auch ein maximaler Wert ist nicht nötig, da weder eine Beschädigung noch eine Verletzung entstehen kann. Für eine sinnvolle Bedienung wird ein maximaler Grenzwert von 10 Minuten vorgeschlagen.

12.6.3 Versuch 02_06_3 Wassermenge (bzw. Durchflussvolumen)

Die minimale Wassermenge entspricht der Menge, die das Kaffeepulver aufnimmt, zuzüglich 10 ml. Das aufgenommene Wasser durch das Kaffeepulver kann durch folgenden Versuch ermittelt werden.

Ein Tuch wird in Wasser getränkt und so aufgehängt, dass eine Mulde entsteht. Wenn das Tuch vollständig abgetropft ist, wird das Kaffeepulver in die Mulde gegeben. Danach wird vorsichtig wieder Wasser auf das Kaffeepulver gegeben, bis das Tuch wieder zu tropfen beginnt. Die bis dahin in das Kaffeepulver gegebene Wassermenge entspricht der Wassermenge, die das Kaffeepulver aufnehmen kann. Dieser Versuch sollte mit verschiedenen Kaffeesorten und verschiedenen Mahlgraden wiederholt werden und aus den Ergebnissen ein Mittelwert gebildet werden. Dieser Mittelwert zuzüglich 10 ml stellt den unteren Grenzwert der einstellbaren Wassermenge dar.

Eine maximale Wassermenge zu definieren ist nicht nötig, da keine Beschädigungen oder Verletzungen zu erwarten sind. Für eine sinnvolle Bedienung wird ein maximaler Grenzwert von 200 ml vorgeschlagen.

Die Wassermenge entspricht dem Durchflussvolumen multipliziert mit der Bezugsdauer.

12.7 Versuch 02_07 Timer für Boilerbefüllung (schwankendes Signal)

Ziel des Versuchs ist es eine Verzugszeit zu ermitteln, die verhindert, dass ein schwankendes Signal des Füllstandsensors verarbeitet wird.

Als Voraussetzung muss der Boiler leer sein.

Der Boiler wird nun befüllt und das Signal des Füllstandsensors aufgezeichnet. Die Zeit für den Timer wird durch den Abstand des ersten Signals zu dem konstanten Signal bestimmt. Diese Zeitspanne ist die Verzugszeit.

12.8 Versuch 03_01 Länge des Timers zur Unterbindung von mehrfacher Betätigung (Markus Hofer)

Ziel des Versuchs ist es, die Zeit zu ermitteln in der das Bedienelement prellt oder mehrfach betätigt wird. Hierfür ist ein Messaufbau erforderlich, der in **Abbildung 9** dargestellt wird.

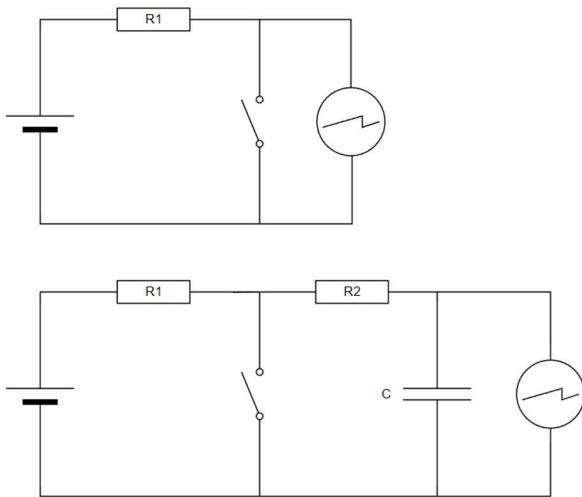


Abbildung 9: Messaufbau Versuch 03_01

Die Höhe der Spannungsversorgung beträgt 5V und der Widerstand R1 beträgt 1k Ω . Über den gezeigten Messaufbau kann im Oszilloskop der Signalverlauf bei Betätigung des Bedienelements erfasst werden. Hier kann dann die Zeit und die Häufigkeit des Prellens ermittelt werden.

Als Optimierung kann ein Software-Timer integriert werden, der eine weitere Betätigung unterbindet (Softwaremaßnahme) oder wie in Abbildung 12.1 über ein RC-Glied (Hardwaremaßnahme) (z.B. R2=1k Ω , C=20nF).

12.9 Versuch 03_02 Ermittlung der Zeit für eine regelmäßige Entkalkung (Markus Hofer, Melanie Ostermeier)

Ziel des vorliegenden Versuches ist es, eine Zeit zu ermitteln, in welcher die espressomaschine entkalkt werden soll. Hierfür soll zunächst im Betriebshandbuch festgelegt werden, dass die espressomaschine grundsätzlich nur mit entkalktem Wasser betrieben werden darf. Die Maschine soll den Nutzer in genau vorgeschriebenen (programmierten) Zeitintervallen darauf hinweisen, eine Entkalkung durchzuführen (siehe Hauptfunktion Systemreinigung 7.16). Der Boiler wird mit Leitungswasser gefüllt. Daraufhin wird ein Dauerversuch gestartet, bei dem die espressomaschine auf Betriebstemperatur gehalten wird. In regelmäßigen Zeitabschnitten (täglich) wird der Boiler entleert und mit neuem Leitungswasser gefüllt. Es wird sich daraus eine Zeit ergeben, ab der eine Funktion im Boiler nicht mehr gegeben ist. Möglich wäre dabei, dass die Heizwendel den Boiler aufgrund der Verkalkung nicht mehr auf Temperatur halten kann, oder dass der Füllstandssensor nicht mehr korrekt funktioniert. Dieser Zeitpunkt gilt nun als Referenzwert.

12.10 Versuch 03_03 Manuelle Kalibrierung (Markus Hofer)

Durch eine fehlerhafte Kalibrierung des Temperatursensors nach dem Dosierventil sind einige Hauptfunktionen nur eingeschränkt nutzbar. Darum sollte der Sensor regelmäßig kalibriert werden, um den Kaffee immer mit gleicher Temperatur zu brühen oder den Reinigungsprozess korrekt durchzuführen.

Über das Wartungsmenü sollte es möglich sein eine Funktion dafür aufzurufen. Nach dem Start der Funktion wird der Nutzer über das Display durch die Funktion geführt. Zunächst ist hier die Vorbereitung. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Kaffeemaschine den Betriebszustand erreicht hat. Des Weiteren muss eine Tasse unter den Siebträger gestellt werden und das Thermometer aus dem

Lieferumfang ausgepackt werden. Nachdem dies geschehen ist, wird der Prozess über das Display fortgesetzt und die Kaffeemaschine beginnt eine Temperatur von X °C einzuregulieren. Nachdem die Espressomaschine den Vorgang abgeschlossen hat, wird nun die Temperatur des Wassers in der Tasse gemessen. Im Display kann nun die gemessene Temperatur eingegeben werden. Die Kaffeemaschine errechnet nun selbstständig die Abweichung und speichert den neuen Wert ab. Der Vorgang ist daraufhin abgeschlossen.

13 Priorisierung

Zur Priorisierung wird eine Risiko-Prioritätszahl (RPZ) ermittelt. Diese wird durch Beurteilung der Punkte „Bedeutung“, „Auftreten“ und „Entdeckung“ der einzelnen Fehler definiert. Hierzu wird jedem der Kriterien ein Wert von Eins bis Zehn zugeordnet. Als Referenz für die Wertigkeit wird die [Tabelle 1: FMEA Bewertungstabellen](#) herangezogen. Hierbei muss ein besonderer Wert auf die objektive Betrachtung der Fehlermöglichkeit gelegt werden. Das Produkt der drei Werte ergibt die RPZ des Fehlers. Eine hohe RPZ steht hierbei für eine hohe Priorität eines Fehlers und dementsprechend der Umsetzung der Maßnahme.

14 Zusammenfassung

Zu Beginn der FMEA erfolgte eine Sichtung der Aufgabenstellung und Einarbeitung in das Themengebiet der Labortechnischen Espressomaschine. Daraufhin wurden die Funktionen genauer analysiert und in Haupt- und Unterfunktionen eingeteilt. Die FMEA bezieht sich auf die Software-Entwicklung, daher wurde im Anschluss eine Zuordnung der Funktionen zu den Softwareaufgaben vorgenommen. Im Sinne der besseren Übersicht, wurden die Funktionen zusätzlich den Bauteilen der Maschine zugeordnet.

Um die eigentliche FMEA einzuleiten wurden als erster Schritt die möglichen Fehler der Software und der Maschine analysiert. Aufgrund von Zeitmangel wurde die Priorisierung der Fehler vorgezogen. Daraufhin wurde entsprechend des Vorgehens einer FMEA zu den Fehlern jeweils Maßnahmen erörtert und definiert. Teilweise waren für diese Maßnahmen Versuche notwendig, welche definiert und grundsätzlich ausgearbeitet wurden.

Somit ergibt sich eine Tabelle, welche als Ergebnis der FMEA dient, in welcher sich alle erkannten Fehlermöglichkeiten, deren Maßnahmen und Priorisierung wiederfinden. Zusätzlich wurde die Funktionsanalyse tabellarisch festgehalten und nötige Versuche definiert. Diese finden sich im Anhang wieder.

15 Ausblick

Die Priorisierung der Fehler nimmt unmittelbar Einfluss auf die Entwicklung der Software. Anhand der Priorisierung muss festgelegt werden, welche Maßnahmen bereits zu Beginn Einfluss auf die Softwareentwicklung nehmen. Die hierfür definierten Maßnahmen müssen bereits in der ersten Phase der Software-Entwicklung umgesetzt werden. Alle übrigen Maßnahmen werden je nach Priorisierung und Arbeitsaufwand abgearbeitet und umgesetzt.

Für einige der definierten Maßnahmen müssen im Vorfeld die bereits formulierten Versuche durchgeführt werden. Da im Laufe der Weiterentwicklung der Maschine weitere Fehlermöglichkeiten entdeckt werden oder entstehen können, ist es sinnvoll, die FMEA niemals als gänzlich abgeschlossen zu betrachten. So ist die Möglichkeit gegeben, weitere Fehler und deren Maßnahmen zu ergänzen.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen in der Software ist ein geringes Fehleraufkommen in der Serienfertigung zu erwarten.

16 Anhang

- Ergebnistabelle FMEA
- Tabelle Funktionsanalyse
- Tabelle Zuordnung Funktionen zu Bauteilen



FMEA-Bewertungstabellen

Bedeutung (B)		
Bedeutung	Merkmal: Schwere der Auswirkung	Bewertung
Gefährdung von Leib und Leben	Sehr hohe Bedeutung: Der Fehler beeinflusst die Sicherheit des Fahrzeugs. Leib und Leben von Menschen sind in Gefahr. Es könnte zu einem Existenz bedrohendem Firmenrisiko kommen.	10
Gesetzestverstoß	Sehr hohe Bedeutung: Der Fehler hat einen Gesetzesverstoß bzw. die Nichteinhaltung von behördlichen Vorgaben zur Folge. Menschen sind nicht in Gefahr.	9
Sehr hoch	Fahrzeug / Funktion nicht einsatzfähig (Verlust der Primärfunktion – walk home). Bedeutende Produktionsunterbrechung: System lässt sich auf dem Serienband beim OEM nicht einbauen.	8
Hoch	Fahrzeug / Funktion einsatzfähig, aber nur eingeschränkt. Der Kunde ist sehr unzufrieden. (limp home) Signifikante Produktionsunterbrechung: Lässt sich auf dem Serienband beim Tier 1 nicht montieren.	7
Mittelmäßig	Fahrzeug / Funktion einsatzfähig, aber Komfortfunktionen stehen nicht zur Verfügung. Der Kunde ist unzufrieden.	6
Wenig	Mäßige Produktionsunterbrechung: System lässt sich auf dem Pilotband nicht einbauen. Funktionen stehen nur eingeschränkt zur Verfügung. Der Kunde ist einigermaßen unzufrieden.	5
Sehr wenig	Passungen & Aussehen / Geräusche stören. Der Fehler wird von den meisten Kunden wahrgenommen >75%. Kleine Produktionsunterbrechung: 100% des Produktionsloses müssen eventuell innerhalb der Station nachgearbeitet werden.	4
Gering	Passungen & Aussehen / Geräusche stören. Der Fehler wird von etwa 50% der Kunden wahrgenommen. Kleine Produktionsbeeinträchtigung: Ein Teil des Produktionsloses muss eventuell innerhalb der Station nachgearbeitet werden.	3
Sehr gering	Passungen & Aussehen / Geräusche stören. Der Fehler wird von sehr aufmerksamen Kunden wahrgenommen <25%.	2
Keine	Sehr kleine Produktionsbeeinträchtigung: Leichte Schwierigkeiten im Prozess, bei der Bearbeitung oder beim Werker. Keine wahrnehmbare Auswirkung. Keine Beeinträchtigungen in der Produktion.	1

Auftreten (A)		
Wahrscheinlichkeit	Merkmal: Mögliche Fehlerraten	Bewertung
Ständig	Neuer Prozess ohne Erfahrung. 100.000 ppm / 1 Fehler pro 10 Teile / $C_{pk}=0,43$ Ständiger Fehler	10
Sehr hoch	Neuer Prozess ohne Erfahrung. 50.000 ppm / 1 Fehler pro 20 Teile / $C_{pk}=0,55$ Mehrere Fehler pro Stunde	9
Hoch	Neuer Prozess mit bekannnten, jedoch problematischen Verfahren. 20.000 ppm / 1 Fehler pro 50 Teile / $C_{pk}=0,68$ Ein Fehler pro Stunde	8
Signifikant	Neuer Prozess mit bekannnten, jedoch problematischen Verfahren. 10.000 ppm / 1 Fehler pro 100 Teile / $C_{pk}=0,77$ Ein Fehler pro Schicht	7
Mittelmäßig	Neuer Prozess mit Übernahme von bekannnten Verfahren. Bewährter Prozess mit positiver Serienerfahrung unter geänderten Bedingungen. 2.000 ppm / 1 Fehler pro 500 Teile / $C_{pk}=0,96$ Mehrere Fehler pro Tag	6
Mäßig	Neuer Prozess mit Übernahme von bekannnten Verfahren. Bewährter Prozess mit positiver Serienerfahrung unter geänderten Bedingungen. 500 ppm / 1 Fehler pro 2.000 Teile / $C_{pk}=1,1$ Ein Fehler pro Woche	5
Klein	Neuer Prozess mit Übernahme von bekannnten Verfahren. Bewährter Prozess mit positiver Serienerfahrung unter geänderten Bedingungen. 100 ppm / 1 Fehler pro 10.000 Teile / $C_{pk}=1,24$ Ein Fehler pro Monat	4
Gering	Detailländerungen an bewährten Prozessen mit positiver Serienerfahrung unter vergleichbaren Bedingungen. 10 ppm / 1 Fehler pro 100.000 Teile / $C_{pk}=1,42$ Ein Fehler pro Quartal	3
Sehr gering	Detailländerungen an bewährten Prozessen mit positiver Serienerfahrung unter vergleichbaren Bedingungen. 1 ppm / 1 Fehler pro 1.000.000 Teile / $C_{pk}=1,58$ Ein Fehler pro Jahr	2
Unwahrscheinlich	Neuer Prozess unter geänderten Bedingungen mit positiv abgeschlossenen Maschinenfähigkeits- / Prozessfähigkeits-Nachweis. Bewährter Prozess mit positiver Serienerfahrung unter vergleichbaren Bedingungen auf vergleichbaren Anlagen. ≤ 1 ppm / ≤ 1 Fehler pro 1.000.000 Teile Weniger als 1 Fehler pro Jahr	1

Entdeckung (E)		
Entdeckung	Merkmal: Wahrscheinlichkeit, dass die Prüfmaßnahme den Fehler entdeckt	Bewertung
Nicht entdeckt	So gut wie unmöglich: Keine aktuelle Prozessüberwachung; kann nicht erkannt werden / wird nicht untersucht. $C_{pk} \leq 0,33$ – Keine Entdeckung des Fehlers	10
Höchstens zufällig entdeckt	Der Fehler bzw. seine Ursache kann nicht einfach entdeckt werden. Es finden nur zufällige Prüfungen (Audits) statt. $C_{pk} \geq 0,33$ – 10% nicht entdeckte Fehler	9
Zufällig entdeckt	Der Fehler bzw. seine Ursache kann nicht einfach entdeckt werden. Erkennung erfolgt nach der Herstellung durch den Werker mit visuellen / fühlbaren / hörbaren Hilfsmitteln. $C_{pk} \geq 0,67$ – 5% nicht entdeckte Fehler	8
Sehr geringe Wahrscheinlichkeit	Die Erkennung der Fehlerart erfolgt in der Station durch den Werker mittels visuellen / fühlbaren / hörbaren Hilfsmitteln oder nach der Herstellung durch die Verwendung von attributiven Lehren (i.O./n.i.O., manuelle Drehmomentprüfung, Abknackschlüssel, etc.). $C_{pk} \geq 1,00$ – 2% nicht entdeckte Fehler	7
Geringe Wahrscheinlichkeit	Die Erkennung erfolgt nach der Herstellung durch den Werker mit dem Gebrauch von variablen Lehren oder durch den Werker in der Station durch die Verwendung von attributiven Lehren (i.O./n.i.O., manuelle Drehmomentprüfung, Abknackschlüssel, etc.). $C_{pk} \geq 1,33$ – 1% nicht entdeckte Fehler	6
Mäßige Wahrscheinlichkeit	Der Fehler (die Ursache) wird in der Station durch den Werker entdeckt. Dabei werden variable Lehren oder automatische „in Station“ Überwachungen benutzt, die abweichende Teile erkennen und den Werker informieren (Licht, Hupe, etc.). Die Vermessung erfolgt beim Einrichten und bei der Erstprüfung (nur für Einrichtungsfehler). $C_{pk} \geq 1,5$ – 0,5% nicht entdeckte Fehler	5
Angemessene Wahrscheinlichkeit	Die Erkennung des Fehlers erfolgt nach der Herstellung durch automatische Überwachungen, die abweichende Teile erkennen und diese Teile festhalten, so dass eine weitere Bearbeitung verhindert wird. $C_{pk} \geq 1,67$ – 0,2% nicht entdeckte Fehler	4
Hohe Wahrscheinlichkeit	Der Fehler (Ursache) wird nach der Station mit automatischen Überwachungen erkannt, die den Fehler erkennen und verhindern, dass ein fehlerhaftes Teil produziert wird. $C_{pk} \geq 1,83$ – 0,1% nicht entdeckte Fehler	3
Sehr hohe Wahrscheinlichkeit	Der Fehler (die Ursache) wird in der Station mit automatischen Überwachungen erkannt, die den Fehler erkennen und verhindern, dass ein fehlerhaftes Teil produziert wird. $C_{pk} = 2,0$ – 0,01% nicht entdeckte Fehler	2
Sicher	Der Fehler wird auf Grund der Auslegung (Vorrichtung/ Halterung/Maschine/Teile) verhindert. Abweichende Teile können nicht hergestellt werden, weil die Station mit fehlervermeidenden Maßnahmen bezüglich Prozess und/oder Produktdesign ausgestattet ist. $C_{pk} \geq 2,0$ – Weniger als 0,1% nicht entdeckte Fehler	1

Tabelle 1: FMEA Bewertungstabellen

17 Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die verwendete Literatur vollständig aufgeführt sowie Zitate kenntlich gemacht habe. Ich versichere ferner, dass die Arbeit noch nicht zu anderen Prüfungen vorgelegt wurde.

Weilheim, 19.07.2022

Ort, Datum



Christian Eichholz

Unterschleißheim, 19.07.2022

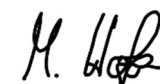
Ort, Datum



Melanie Ostermeier

Polling, 19.07.2022

Ort, Datum



Markus Hofer

Karlsfeld, 19.07.2022

Ort, Datum



Alexander Hoffmann

München, 20.07.2022

Ort, Datum



Daniele Fecondo

München, 20.07.2022

Ort, Datum



Dario Opacak

München, 20.07.2022

Ort, Datum



Florian Todenhagen