

Konzept

Modulare Steuerungselektronik für Siebträger-Espressomaschinen

Hochschule für angewandte
Wissenschaften München

Fakultät für
Maschinenbau
Fahrzeugtechnik
Flugzeugtechnik
Dachauer Straße 98 b
80335 München

Dipl.-Ing. Armin Rohnen LfbA
Büro B260
Labor R4.068
T +49 89 1265 3366
T +49 89 306 49 374
E rohnen@hm.edu

me.hm.edu

Datum: 6. September 2023

1. Dokumentation

Unter <http://www.ifk.bayern> erfolgt die öffentliche Dokumentation des Projekts. Dort sind alle bisherigen Arbeitspakete durch Wiki-Einträge und abgelegte Dokumente beschrieben. Unter „Literaturverzeichnis“ befindet sich das einheitliche Quellenverzeichnis für alle Teilprojekte (damit auch Teildokumentationen). Hierin werden alle, für das Projekt relevante, Dokumente und Quellen aufgenommen. Quellenverweise innerhalb der Projektdokumente beziehen sich immer auf dieses Literaturverzeichnis.

Nicht zu finden sind auf dieser Webseite die Konstruktionszeichnungen, Stücklisten, Schaltpläne der Elektronik, Programmcode, usw. Diese befinden sich in einem internen Wiki.

2. Hintergrund

Im Zuge der Forschungen im Projekt „technische Beeinflussbarkeit der Geschmacksache Kaffee“ wurden zwei Siebträger-Espressomaschinentypen entwickelt.

Labortechnische Espressomaschine

Diese Maschine dient der Entwicklung der erforderlichen Regelkreise und soll andere im Markt befindliche Siebträger-Espressomaschinen abbilden können. Damit dient diese Maschine dem Kaffeeröster dazu, dem Kunden die Geschmacksunterschiede unterschiedlicher Espressomaschinen demonstrieren zu können, ohne über die entsprechende Auswahl an Hardware verfügen zu müssen.

Glasboilermaschine

Technisch identisch zur labortechnischen Espressomaschine oder wahlweise zur Baristavariante, jedoch mit einem Boiler aus Borosilikatglas. Darstellbar ist diese Variante mit bis zu drei Brühgruppen, welches enbensovile Borosilikatglasboiler erfordert. Es wurde eine weitere Variante konstruiert, bei der sich im sichtbaren Bereich lediglich der Glasboiler und der Brühlturm befinden. Alle anderen Komponenten wurden so angeordnet, dass sie unsichtbar unterhalb der Arbeitsplatte angeordnet sind.

Maschinenkonzept

Bei den Espressomaschinen handelt es sich um Zweikreissysteme. Hierbei wird ein Wasserboiler zum aufwärmen des Bezugswassers und gleichzeitig als Dampfspeicher verwendet. Die Bezugswassererwärmung über einen Wärmetauscher (Wasserwendel) im Boiler durchgeführt, welcher so

ausgelegt ist, dass die Wassertemperatur stets über $\vartheta_A = 100\text{ }^\circ\text{C}$ liegt. Die Regelung des Boilers erfolgt über den Boilerdruck als Sollwert in der Nennauslegung mit $p = 1300\text{ mbar}$.

Die Temperatur des Bezugswassers für Kaffee und Tee wird durch Mischung mit Kaltwasser auf die gewünschte Wassertemperatur gebracht. Unbeheizte (kalte) Brühgruppen ermöglichen es die Bezugstemperatur von einem Kaffeebezug zum anderen zu verändern. Erreicht wird dies durch Komponenten aus hochwertigen technischen Kunststoff.

Es soll jede im Markt befindliche Siebträger-Espressomaschine durch dieses Maschinenkonzept simuliert werden können. Das bedingt zum Einen die Erfassung der relevanten Maschinenparameter für die Simulation, zum Anderen in der Maschine, die Regelung von Bezugswassertemperatur, Durchflussrate, Bezugsmenge und Preinfusionsverhalten.

Die Eigenschaften der Maschinen ermöglichen für jede Kaffeesorte ein eigenes, optimales Maschinen-Setup welches einen Kaffeesortenwechsel von Kaffeebezug zu Kaffeebezug zulässt. Im Weiteren ermöglicht die umfangreiche Digitalisierung der Maschinen weitere, bislang unübliche, Maschinenfunktionen.

Systemsoftware

Die Systemsoftware lässt sich nicht ohne die Beachtung der Systemelektronik erstellen. Hierzu wurde ein mehrstufiger Entwicklungsprozess definiert:

- Nutzung einer MCU auf der MicroPython verwendet werden kann.
- Auf der MCU werden lediglich die elementaren Grundfunktionen (GPIO schalten und erfassen, Messwert erfassen, PWM Ausgeben, Sollwert ausgeben, etc.) realisiert und über eine MicroPython zu MATLAB® Schnittstelle [41] wird die Funktionalität in einer MATLAB® GUI hergestellt.
- Die Softwareentwicklung startet mit der labortechnischen Espressomaschine und wird auf die weiteren Projekte schrittweise transportiert. Dazu ist die Maschinenelektronik gleich zu halten und es sind die gleichen Anschluss-Pins zu verwenden.
- Nach Abschluss der Testphase der MATLAB® Bedienung wird schrittweise die Betriebssoftware in MicroPython auf der MCU implementiert, so dass am Ende dieses Prozessschrittes die MATLAB®-Verbindung lediglich für weiterführende Datenerfassung und grafische Darstellungen verwendet wird, welche nicht mit dem Display der Maschine möglich ist oder dort nicht dargestellt werden soll.

Ob eine Portierung des MicroPython-Codes nach Microcontroller C durchgeführt wird, ist derzeit nicht entschieden.

Es wurden mehrere, die Softwareentwicklung vorbereitende FMEAs durchgeführt. Die hierdurch entstandenen Dokumentation befinden sich in der Dokumentationsauflistung. Im weiteren wurde eine Projektarbeit zur Konzeptfindung für die Bedienung durchgeführt. Auch die hierdurch entstandenen, teilweise auf die FMEA aufbauenden Dokumente befinden sich in der Dokumentationsliste.

3.Regelungen und Funktionsprogramme

Boiler-Füllstandsregler

Der Boiler-Füllstandsregler wird zur Befüllung der/des Boilers verwendet. Der Füllstand im Boiler als solches ist undefiniert. Es wird lediglich ein maximaler, zu erreichender Füllstand über Kurzschlussdetektion über einen Füllstandsmessstab realisiert.

Während der Boilerbefüllung wird der Pumpenbypass geschlossen.

Aufgrund des undefinierten Wasserstands im Boiler darf das Heizelement nur dann aktiv werden, wenn maximaler Füllstand erkannt wurde.

Durch Schalten von Magnetventilen und Pumpenleistung wird der Boiler befüllt und das Befüllungsmaximum über einen Füllstandsmessstab erfasst.

Es wird für jeden Boiler der Füllstand eigenständig geregelt.

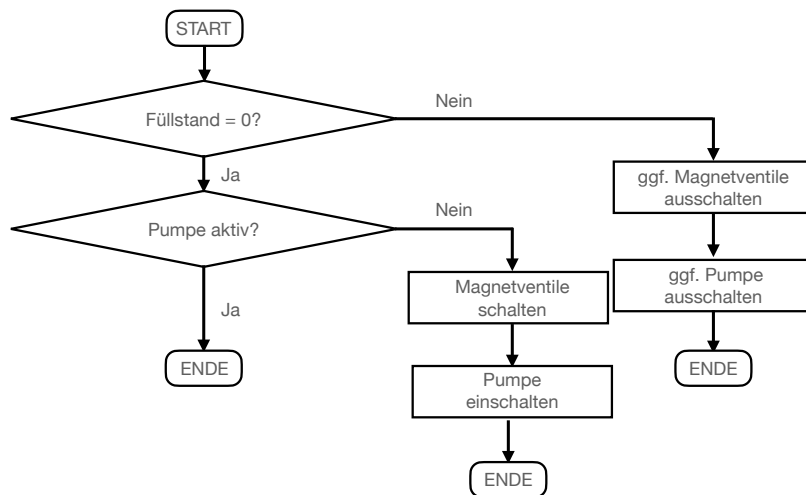


Abbildung 1: Schema Boiler-Füllstandsregler.

Tank-Füllstandsregler

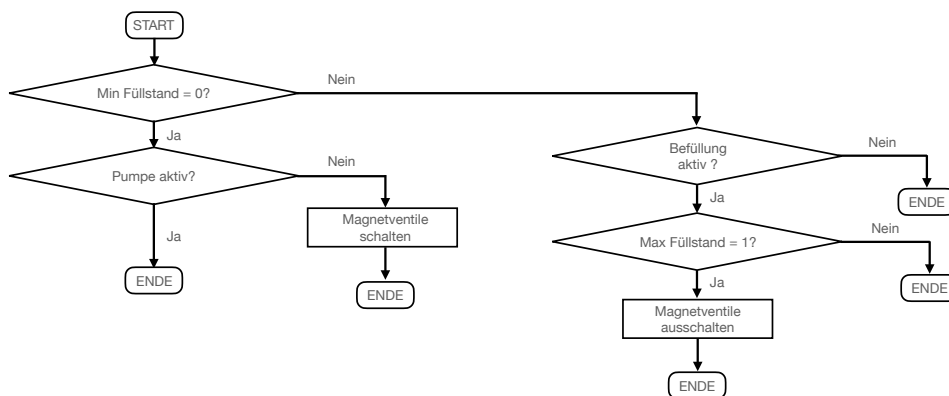


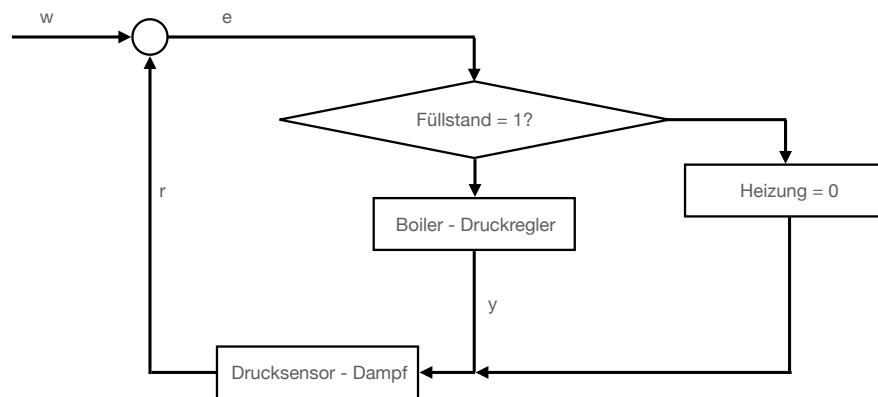
Abbildung 2: Schema Tank-Füllstandsregler.

Bei Maschinen mit Wassertank, was bei der Glasboilermaschine immer der Fall ist, können die Tanks über den optionalen Festwasseranschluss befüllt werden. Es wird minimaler und maximaler Füllstand über Füllstandsmessstäbe durch Kurzschlussdetektion ermittelt.

Wenn minimaler Wasserstand detektiert ist wird das Tanksystem bis maximaler Füllstand aufgefüllt.

Die Befüllung erfolgt durch Schalten von Magnetventilen. Die Befüllung erfolgt durch den Druck der Wasserleitung ggf. unter Zuhilfenahme von Pumpenleistung.

Boiler-Druckregler



$w = 1000 \dots 1500 \text{ mbar}$
 $y = PWM \ 0 \dots 100 \%$
 $r = 0,5 \dots 4,5 \text{ V}, 0 \dots 4 \text{ bar}$

Abbildung 3: Schema Boiler-Druckregler

Um (Wasser)Dampfleistung zum Milchsäumen und Heißwasser für den Kaffee-/Tee-Bezug zu ermöglichen wird der Boiler durch Aufheizen im Dampfdruck geregelt. Der Sollwert des Dampfdrucks kann zwischen $p_u = 1000 \text{ mbar}$ und $p_o = 1500 \text{ mbar}$ frei definiert werden. Die technische Auslegung der Boiler ist für p_o bei einem Nenndruck von $p = 1300 \text{ mbar}$ durchgeführt worden.

Zur Beseitigung der thermischen Schichtung im Boiler und um maximal schnelles Aufheizen zu ermöglichen wird während der ersten Aufheizphase eine Entschichtung durchgeführt. Diese erfolgt entweder durch Umpumpen des Wassers oder durch Öffnen des Dampfahns. Die Entschichtungs-funktion endet bei $\vartheta_W = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Während des ersten Aufheizens können keine weiteren Funk-tionalitäten der Maschine genutzt werden.

Die maximale Wassertemperatur des Boilers darf $\vartheta_{max} = 145 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht überschreiten. Die Absi-cherung über den Boiler-Druckregler soll vor der mechanischen Überhitzungssicherung greifen.

Das Heizelement darf nur bei positiven Boilerfüllstand aktiviert werden.

In Maschinen mit mehr als einem Boiler, wird der Boiler mit dem langsamsten Aufheizverhalten druckregelt.

Der Boiler-Druckregler generiert ein PWM-Signal zur Leistungssteuerung des Heizelements, schaltet Magnetventile und Pumpenleistung alternativ wird der Dampfhahn betätigt. Ein Temperatursensor im Boiler, ein Drucksensor in der Dampfleitung und der Füllstandsmessstab im Boiler generieren die erforderlichen Messwerte.

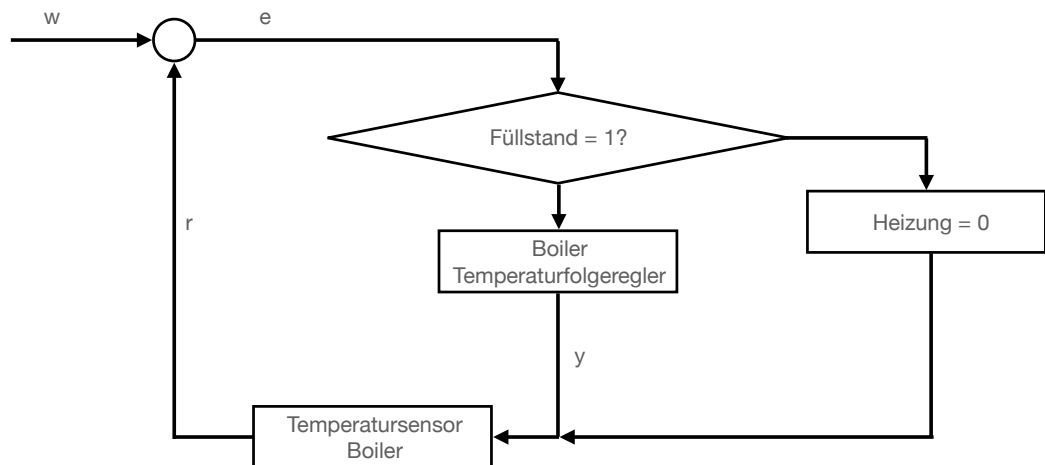
Boiler-Temperaturfolger (ab Boiler 2)

Bei Maschinen mit mehr als einem Boiler werden die Dampfblasen der Boiler über die Dampfleitung gekoppelt. Die Steuerung des zugehörigen Heizelements kann aufgrund der Toleranzen von Boiler und Heizelement nicht gemeinschaftlich erfolgen. Jeder weitere Boiler muss in der Temperatur dem Boiler mit der Druckregelung nachfolgen. Als Boiler mit Druckregelung muss der Boiler gewählt werden, welcher in einem Testlauf das langsamste Aufheizverhalten zeigt.

Die Wassertemperatur des Boilers mit Druckregelung $\vartheta_{B,Druck}$ dient als Sollwert für die Regelung.

Die Sicherheitsfunktionen sowie die Entschichtungsfunctionalität ist unter den Boilern identisch.

Der Boiler-Temperaturfolger generiert ein PWM-Signal zur Leistungssteuerung des Heizelements, schaltet Magnetventile und Pumpenleistung alternativ wird durch den Boiler-Druckregler der Dampfhahn betätigt. Ein Temperatursensor im Boiler, der Temperatursensor im druckgeregelten Boiler und der Füllstandsmessstab im Boiler generieren die erforderlichen Messwerte.



$w = \vartheta_{B,Master}$
 $y = PWM\ 0 \dots 100\ \%$
 $r = \vartheta_{Boiler}$

Abbildung 4: Schema Boiler-Temperaturfolger

Mischwasser-Temperaturregler (Mischer)

Jede Brühgruppe wird mit einem eigenen Mischwasser-Temperaturregler bedient. Bei der am weitesten rechts in der Maschine verbauten Brühgruppe kann der Kaffeebezug auf Teewasserbezug umgeschaltet werden. Die Umschaltung erfolgt durch die übergeordnete, den Mischwasser-Temperaturregler aufrufende Funktionssteuerung.

Der Sollwert für die Mischwassertemperatur ϑ_M muss um den durchschnittlichen Temperaturverlust zwischen Mischstelle und Brühgruppe $\Delta\vartheta_{MB}$ korrigiert werden.

Während der Einschwingphase des Regelkreises wird das Mischwasser in das Maschinenschmutzwasser geleitet. Die übergeordnete, den Mischwasser-Temperaturregler aufrufende Funktionssteuerung stellt auf Kaffee-/Teewasserbezug durch Magnetventilschaltung um.

Es wird auf einen Sollwert ϑ_{Soll} geregelt, der über Eingabe oder Preset zur Verfügung gestellt wird. Der Istwert wird durch einen Temperatursensor nahe der Mischwasserstelle ϑ_M erfasst. Nach der Bezugsumschaltung kann bei Kaffeebezug für den Istwert der Brühgruppentemperaturmesswert ϑ_B (ohne Korrektur) verwendet werden. Das Kaltwasser wird über Schrittmotorstellung eines Dosierventils oder Dosierhahns beigemischt.

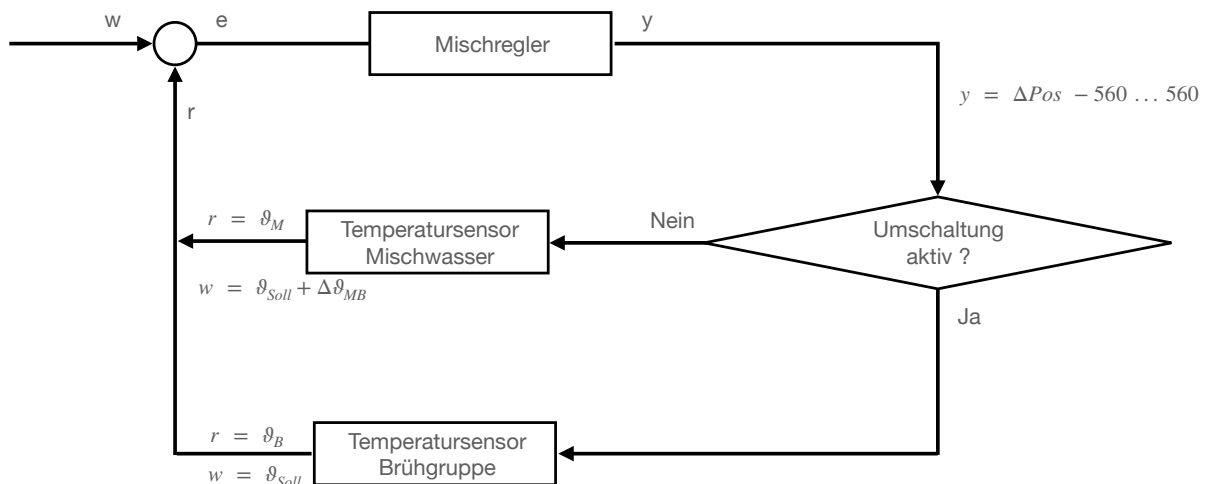


Abbildung 5: Schema Mischwasser-Temperaturregler (Mischer)

Durchflussregler

Jede Brühgruppe wird im Weiteren mit einem eigenen Durchflussregler bedient. Der Durchfluss wird unterbunden, wenn der Füllstandssensor in der Abtropfschale „voll“ detektiert.

Da der Durchfluss stark Abhängig vom Pumpendruck p_P ist, kann eine Regelung erst dann erfolgen, wenn auf Kaffee-/Teewasserbezug umgeschaltet wurde. In der Phase davor sollte eine Vorsteuerung mit der Pumpenleistung aus dem letzten Bezug durchgeführt werden.

Wenn die übergeordnete Funktionssteuerung durch Magnetventilschaltung auf Kaffee-/Teewasserbezug umgeschaltet hat, wird der Durchflussregler aktiv. Die Pumpenleistung wird durch die übergeordnete Funktionssteuerung vorgesteuert und am Ende des Bezugs abgeschaltet.

Es wird auf einen Sollwert \dot{V}_{Soll} in g/s oder ml/s geregelt, der über Eingabe oder Preset zur Verfügung gestellt wird. Der Istwert wird über ein Flowmeter mit 39.900 Imp/l erfasst. Für die Regelung wird die Pumpenleistung über eine Steuerspannung $U_{Pumpe} = 0 \dots 5 \text{ V}$ eingestellt.

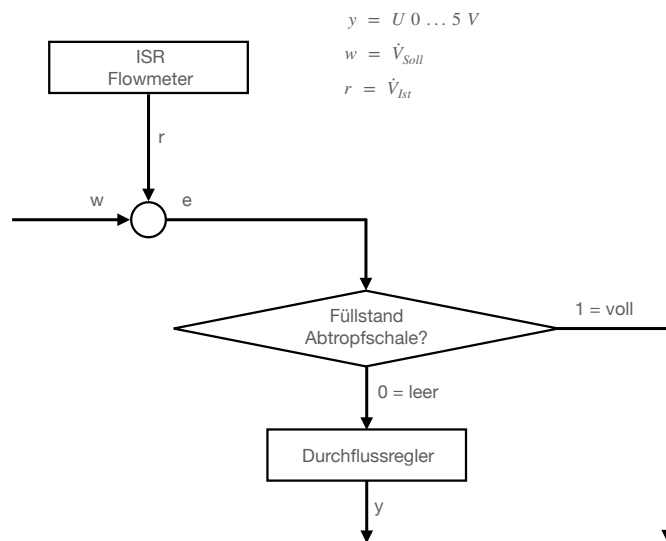


Abbildung 6: Schema Durchflussregler

Preinfusions-Regler

Die Funktionalität und Varianz der erforderlichen Preinfusions-Regelungen ist derzeit noch nicht geklärt.

Funktionssteuerung Boilerentleerung

Die Boiler werden durch abpumpen entleert. Dazu wird die Pumpe auf einen Festwert eingestellt, die entsprechenden Magnetventile geschaltet und der Pumpenbypass geschlossen.

Die Erkennung des leeren Boilers ist derzeit noch ungeklärt.

Funktionssteuerung - Manueller Kaffeebezug

Das Basis-Setup der Maschinen verfügt über Sollwerte für den sogenannten manuellen Kaffeebezug. Diese Werte können in der Maschinenkonfiguration umgestellt werden.

An Soll- und Vorsteuerwerten werden für den manuellen Kaffeebezug benötigt:

- ϑ_{Soll} - Sollwert der Mischwassertemperatur
- $S_{M,vor}$ - letzte Position des Mischmasserschrittmotors für die Vorsteuerung
- \dot{V}_{Soll} - Sollwert der Durchflussrate
- $U_{Pumpe,vor}$ - letzter Wert der Pumpensteuerspannung für die Vorsteuerung
- Pre - Vorsteuerwerte für die Preinfusion werden derzeit nicht benötigt

Durch Tastendruck wird die Funktionssteuerung „manueller Kaffeebezug“ aktiviert. Die Brühgruppe wird für andere Funktionsaufrufe gesperrt und die Boiler-Füllstandsregelung wird unterbrochen. Es werden die Vorsteuerwerte eingestellt, die erforderlichen Magnetventile geschaltet und der Mischwasser-Temperaturregler aktiviert.

Ist die Mischwassersolltemperatur ϑ_{Soll} eingeschwungen, wird auf Kaffeebezug durch Magnetventilschaltung umgestellt und der Preinfusionsregler aktiviert. Von der Preinfusion auf den Kaffeebezug wird durch weiteren Tastendruck (der gleichen Taste) weitergeschaltet. (Im Softwarestand 20230801 wird diese Funktionalität übersprungen)

Betrachtet der Bediener den Kaffeebezug als ausreichend, wird durch weiteren Tastendruck der Kaffeebezug beendet. Die Pumpensteuerspannung wird $U_{Pumpe} = 0 V$ gesetzt, die Magnetventile in Ruheposition geschaltet und das Rückspül-Magnetventil für $t = 1 s$ zum Druckabbau geöffnet. Die letzte Position des Mischwasserschrittmotors S_M und der letzte Wert der Pumpensteuerspannung U_{Pumpe} werden im System abgespeichert. Die Brühgruppe wird wieder für andere Funktionsaufrufe freigegeben und die Boiler-Füllstandsregelung wird wieder aktiviert.

Der manuelle Kaffeebezug wird unterbunden,

- während der Aufheizphase
- bei undefinierten Boiler-Füllstand
- wenn der Füllstandssensor in der Abtropfschale „voll“ detektiert
- wenn auf der gleichen Brühgruppe Teewasserbezug durchgeführt wird

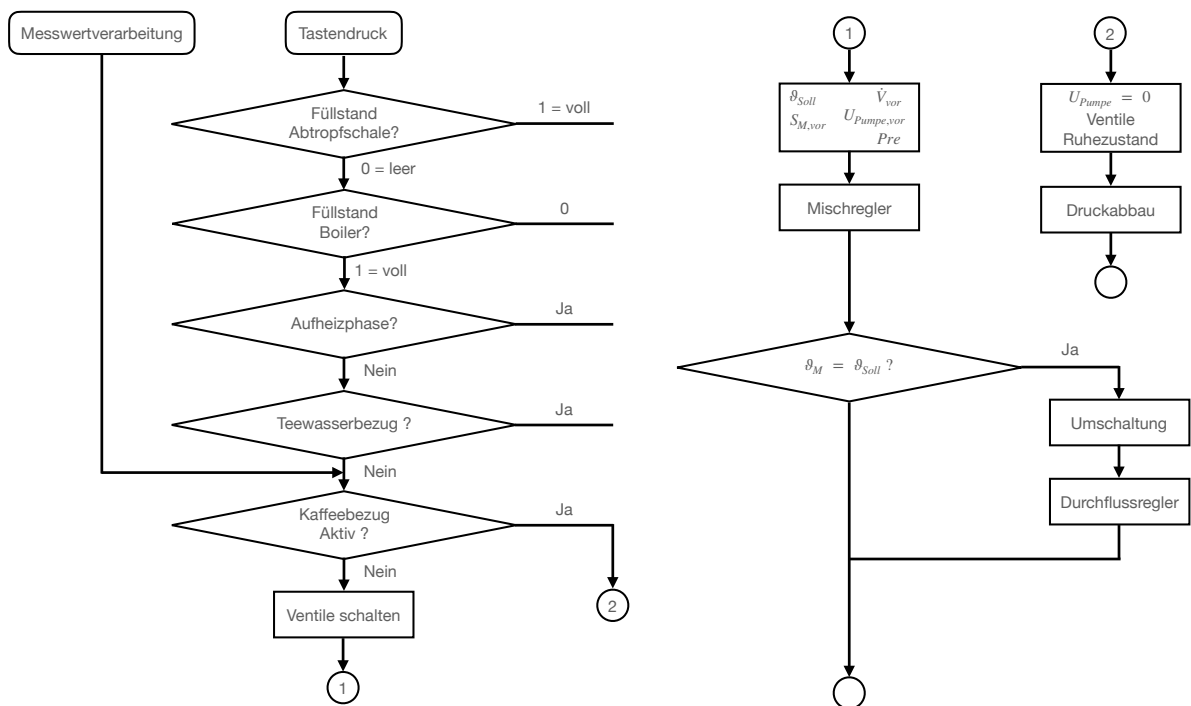


Abbildung 7: Schema Manueller Kaffeebezug

Funktionssteuerung - Automatischer Kaffeebezug

Je Brühgruppe können über 4 Funktionstasten automatische Kaffeebezüge (Kaffeepresets, Kaffee-Kochrezepte) aktiviert werden. Diese Funktionalität ist eine Erweiterung des manuellen Kaffeebezugs um die definierte Preinfusion und die Kaffeebezugsmenge. Letztlich handelt es sich dabei um die Bereitstellung zugehöriger Sollwerte und Vorsteuerwerte. Die Werte können in der Maschinenkonfiguration umgestellt werden.

An Soll- und Vorsteuerwerten werden für den automatischen Kaffeebezug benötigt:

- ϑ_{Soll} - Sollwert der Mischwassertemperatur
- $S_{M,vor}$ - letzte Position des Mischmasserschrittmotors für die Vorsteuerung
- m_{Kaffee} - die Kaffeebezugsmenge üblich als Masse m in g aber eigentlich als Volumen V in ml (cm^3) definiert
- t_{Kaffee} - Kaffeebezugszeit in s
- \dot{V}_{Soll} - Sollwert der Durchflussrate wird aus den Parametern m_{Kaffee} und t_{Kaffee} berechnet
- $U_{Pumpe,vor}$ - letzter Wert der Pumpensteuerspannung für die Vorsteuerung
- Pre - eine Preinfusion wird derzeit durchgeführt

Durch Tastendruck wird die Funktionssteuerung „automatischer Kaffeebezug“ aktiviert. Die Brühgruppe wird für andere Funktionsaufrufe gesperrt und die Boiler-Füllstandsregelung wird unterbrochen. Es werden die Vorsteuerwerte eingestellt, die erforderlichen Magnetventile geschaltet und der Mischwasser-Temperaturregler aktiviert.

Ist die Mischwassersolltemperatur ϑ_{Soll} eingeschwungen, wird auf Kaffeebezug durch Magnetventilschaltung umgestellt und der Preinfusionsregler aktiviert. Nach Ablauf der Preinfusion erfolgt der Kaffeebezug. (Im Softwarestand 20230801 wird diese Funktionalität übersprungen)

Ist die Kaffeebezugsmenge erreicht, wird der Kaffeebezug beendet. Die Pumpensteuerspannung wird $U_{Pumpe} = 0 V$ gesetzt, die Magnetventile in Ruheposition geschaltet und das Rückspül-Magnetventil für $t = 1 s$ zum Druckabbau geöffnet. Die letzte Position des Mischwasserschrittmotors S_M und der letzte Wert der Pumpensteuerspannung U_{Pumpe} werden im System abgespeichert. Die Brühgruppe wird wieder für andere Funktionsaufrufe freigegeben und die Boiler-Füllstandsregelung wird wieder aktiviert.

Der Kaffeebezug kann zusätzlich durch Tastendruck (der gleichen Taste) beendet werden.

Der automatische Kaffeebezug wird unterbunden,

- während der Aufheizphase
- bei undefinierten Boiler-Füllstand
- wenn der Füllstandssensor in der Abtropfschale „voll“ detektiert
- wenn auf der gleichen Brühgruppe Teewasserbezug durchgeführt wird

Funktionssteuerung - Wasserbezug

Über die Drehbewegung des rechten Druck-Drehknopfs wird die gewünschte Teewassertemperatur eingestellt. Über das Maschinen-Setup ist die Pumpensteuerspannung U_{Pumpe} für den Teewasserbezug (einstellbar) definiert. An Soll- und Vorsteuerwerten werden für den Teewasserbezug lediglich

- ϑ_{Soll} - Sollwert der Mischwassertemperatur
- $S_{M,vor}$ - letzte Position des Mischmasserschrittmotors für die Vorsteuerung

benötigt.

Durch Tastendruck des rechten Druck-Drehknopfs wird die Funktionssteuerung „Teewasserbezug“ aktiviert. Die Brühgruppe wird für andere Funktionsaufrufe gesperrt und die Boiler-Füllstandsregelung wird unterbrochen. Es werden die Vorsteuerwerte eingestellt, die erforderlichen Magnetventile geschaltet und der Mischwasser-Temperaturregler aktiviert.

Ist die Mischwassersolltemperatur ϑ_{Soll} eingeschwungen, wird auf Teewasserbezug durch Magnetventilschaltung umgestellt.

Betrachtet der Bediener den Teewasserbezug als ausreichend, wird durch weiteren Tastendruck der Teewasserbezug beendet. Die Magnetventile werden in Ruheposition geschaltet. Die letzte Position des Mischwasserschrittmotors S_M wird im System abgespeichert. Die Brühgruppe wird wieder für andere Funktionsaufrufe freigegeben und die Boiler-Füllstandsregelung wird wieder aktiviert.

Während des Teewasserbezugs wird der Pumpenbypass geschlossen.

Der Teewasserbezug wird unterbunden,

- während der Aufheizphase
- bei undefinierten Boiler-Füllstand
- wenn der Füllstandssensor in der Abtropfschale „voll“ detektiert
- wenn auf der gleichen Brühgruppe Kaffeebezug durchgeführt wird

Funktionssteuerung - Dampfbezug

Durch Tastendruck des linken Druck-Drehknopfs wird die Funktionssteuerung „Dampfbezug“ aktiviert. In der Version des Dampfahns als Magnetventil wird dieses geöffnet und bleibt offen, bis dass der linke Druck-Drehknopf ein weiteres mal gedrückt wird.

Angestrebt ist eine Soft-Open-Funktion und eine Dosierung des Dampfes. Nach Tastendruck des linken Druck-Drehknopfs wird der Dampfahn auf einen Vorsteuerwert geöffnet. Dazu sind die Vorsteuerwerte

- $S_{D,last}$ - letzte Position des Dampfahnschrittmotors für die Vorsteuerung
- $S_{D,vor}$ - Festwert der Position des Dampfahnschrittmotors für die Vorsteuerung
- S_{Flag} - 0 oder 1 als Indikator für das Verhalten der Soft-Open-Funktion

erforderlich.

Ist im Maschinen-Setup $S_{Flag} = 1$ gesetzt, dann wird der Dampfahn durch den Tastendruck auf die letzte Position des Dampfahnschrittmotors beim letzten Dampfbezug geöffnet. Alternativ bei $S_{Flag} = 0$ wird auf die Position $S_{D,vor}$ geöffnet. Der Öffnungsvorgang erfolgt etwas zeitverlangsam (Soft-Open). Die Dampfahnöffnung kann durch drehen des linken Druck-Drehknopfs verändert werden.

Ein weiterer Tastendruck des linken Druck-Drehknopfs beendet den Dampfbezug und die letzte Schrittmotorposition wird in $S_{D,vor}$ abgelegt.

Während des Dampfbezugs ist Kaffee- oder Teewasserbezug möglich.

Funktionssteuerung - Flush / Rückspülreinigung

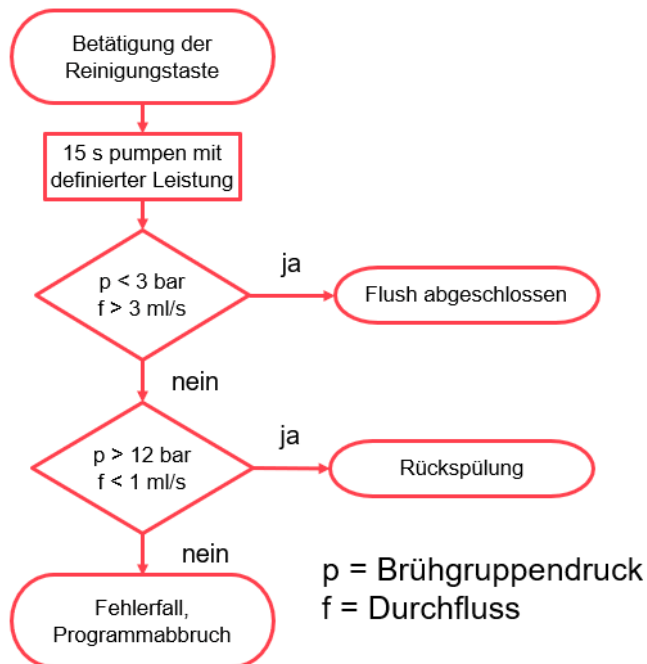


Abbildung: Simon Lorenz Thrainer/Hendrick Wegian, Ablaufdiagramm Flush / Rückspülreinigung

Drücken der Reinigungstaste startet das Reinigungsprogramm der betreffenden Brühgruppe. Die Brühgruppe wird für andere Funktionsaufrufe gesperrt und die Boiler-Füllstandsregelung wird unterbrochen. Es werden die Vorsteuerwerte eingestellt und die erforderlichen Magnetventile geschaltet. Der Mischwasser-Temperaturregler wird nicht aktiviert.

Die Funktionssteuerung Flush/Reinigung benötigt die Vorsteuerwerte:

- S_M - Position des Mischmasserschrittmotors
- U_{Pumpe} - Pumpensteuerspannung

Nach $t = 15\text{ s}$ erfolgt eine Prüfung des Brühgruppendrucks p_B und der Durchflussrate \dot{V} mit der Bedingung, dass $p_B < 3\text{ bar}$ und $\dot{V} > 3\text{ ml/s}$ ist, wird ein Brühgruppen-Flush erkannt. In diesem Fall wird die Funktionssteuerung sofort beendet, da der Flush bereits durchgeführt wurde.

Ist der Brühgruppendruck $p_B > 12\text{ bar}$ und die Durchflussrate $\dot{V} < 1\text{ ml/s}$ wurde in den Siebträger ein Blindsieb mit Reinigungsmittel eingesetzt. Es folgt eine abwechselnde Ansteuerung der Pumpe mit folgenden Wartezeiten, welche dazu genutzt werden die Brühgruppe vom festgesetzten Kaffeeöl zu reinigen. Nach einer definierten Anzahl von Pumpen / Wartezeit - wechseln wird das Rückspülventil geöffnet und eine Druchspülung der Brühgruppe durchgeführt. Wenn alle Reste des Reinigungsmittels entfernt sind, wird die Funktionsausführung beendet.

Alles dazwischen wird als Fehlerfall betrachtet. Zusätzlich zur Beendigung der Funktionsausführung wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

Ist die Funktionsausführung Flush / Rückspülreinigung beendet, oder wurde die Reinigungstaste ein zweites mal gedrückt, werden die Magnetventile in Ruheposition gebracht und die Pumpe mit $U_{Pumpe} = 0\text{ V}$ abgeschaltet. Die Brühgruppe wird wieder für andere Funktionsaufrufe freigegeben und die Boiler-Füllstandsregelung wird wieder aktiviert.

Funktionssteuerung Grundreinigung

Die Funktionssteuerung Grundreinigung ist Stand 06. September 2023 noch nicht definiert. Festgelegt ist, dass mit den gegebenen Funktionalitäten der Systemsteuerung Intensivreinigung und Entkalkung halbautomatisiert durchgeführt werden soll.

Einstellung Brühgruppendrossel

In den Prototypen der Maschinenkonstruktionen wird u.u. eine schrittmotorgesteuerte Brühgruppendrossel verbaut. Diese wird in der Serienproduktion durch eine Drossel mit definierten Durchmesser ausgetauscht oder entfällt komplett.

Schrittmotorsteuerung Pumpenbypass

Es gilt zu prüfen, ob ein schrittmotorgesteuerter Pumpenbypass tatsächlich erforderlich ist. Technisch ausreichend ist eine manuelle Drossel mit Magnetventil. Letztlich ist dies eine Fragestellung der Kostenkalkulation.

Erkennung der Wasserqualität

Wird über den Leitwertsensor eine mangelhafte Wasserqualität, meistens zu kalkhaltiges Wasser detektiert, dann wird ein entsprechender Warnhinweis ausgegeben. Wird die Maschine weiterbetrieben droht dann i.d.R. eine Systemverkalkung. Besonders problematisch ist hier die Mischstelle, diese verkalkt innerhalb weniger Nutzungstage, wenn die Maschine mit üblichen kalkhaltigen Wasser betrieben wird.

Leistungsversorgung

Es wird das Netzteil LRS-150-24 verwendet. Damit steht eine 24 V DC Leistungsversorgung mit 150 Watt Nennleistung zur Verfügung. Für die Maschinen mit mehr als einer Pumpe muss geprüft werden ob dies im Worst-Case ausreichend ist.

4. Sensoren und Aktoren bei Maschinen mit einer Brühgruppe

Alle Sensoren liefern Spannungssignale im Spannungsbereich $U = 0 \dots U_{max\ ADC}$. Der Spannungswert wird entweder direkt durch den Sensor, durch Spannungsteilung in der Signalaufbereitung und/oder über Spannungsverstärkung des aktiven Tiefpassfilters erreicht.

Jeder Sensoreingang wird vor dem ADC mittels Tiefpassfilterung mit $f = 10\ Hz$ von Störsignalen befreit.

Als Temperatursensoren werden typisch NTCs eingesetzt, welche über einen Spannungsteiler mit einer Referenzspannung (z. B. MCP1541) von $U = 4096\ mV$ gespeist werden.

Sensor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Flowmeter	VCC MCU, GND Signal 39.900 Impulse je Liter	Durchflussregelung
Füllstand Boiler	Signal, Ground Kurzschlussdetektion	Boiler-Füllstand
Füllstand Tank minimum	Signal, Ground Kurzschlussdetektion	Tank-Füllstand

Sensor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Füllstand Tank maximum	Signal, Ground Kurzschlussdetektion	Tank-Füllstand
Füllstand Abtropfschale Füllstand Boiler 2	Signal, Ground Kurzschlussdetektion	Sicherheitsfunktion, ab 2 Brühgruppen immer Abwasseranschluss der Maschine
Dampf Druck-/Drehknopf (Drehimpulsgeber mit Taster)	Druckfunktionalität wie Taste VCC MCU Signal A Signal B	Dampfbezug
Wasser Druck-/Drehknopf (Drehimpulsgeber mit Taster)	Druckfunktionalität wie Taste VCC MCU Signal A Signal B	Wasserbezug
Tasten	VCC MCU GND	Tastenerkennung
Drucksensor Boilerdruck (Dampfdruck)	5 V DC, GND Signal 0,5 bis 4,5 V, 4 bar	Boiler-Druckregler
Drucksensor Brühgruppendruck	5 V DC, GND Signal 0,5 bis 4,5 V, 13 (16) bar	üblicher Anzeigewert als Messwert für Erprobung und Forschung erforderlich
Leitwertsensor	24 V DC, GND Signal Leitfähigkeit 0 bis 5 V, 0,2 bis 20 mS/cm Signal Temperatur 0 bis 5 V, 0 bis 140 °C	Wasserqualität
NTC Boiler	Signal, GND	Boiler-Druckregler (Sicherheitsfunktion) Boiler-Temperaturfolgeregler
NTC Mischwasser	Signal, GND	Mischwasser-Temperaturregler
NTC Brühgruppe	Signal, GND	Mischwasser-Temperaturregler Anzeigewert
NTC Tassenwärmer	Signal, GND	Optionaler Tassenwärmer

Aktor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Pumpe	24 V DC, GND Steuersignal 0 ... 5 V DC, GND	Füllstandsregler Boilerentleerung ggf. Entschichtung Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung

Aktor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Schrittmotor Pumpenbypass	A, <u>A</u> , B, <u>B</u>	Boilerbefüllung (Füllstandsregler) Boilerentleerung Teewasserbezug
Schrittmotor Mischventil	A, <u>A</u> , B, <u>B</u>	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Heizelement 230 V AC, 1800 W, max. 8 A alternativ 230 V AC, 1000 W, max. 5 A	L (230 V AC), N, PE 8 Hz PWM 0 bis 100 %	Boiler-Druckregler
Heizelement 230 V AC, max. 500 W, max. 2,5 A	L (230 V AC), N, PE 8 Hz PWM 0 bis 100 %	Optionaler Tassenwärmer
Festwasserventil (Y01, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Füllstandsregler Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Zulaufventil (Y02, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Füllstandsregler Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Entschichtungsventil (Y03, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Boiler-Druckregler Boilerentleerung
Boilerbefüllung (Y04, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Füllstandsregler Boiler-Druckregler
Entwässerungsventil (Y05, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Boilerentleerung
Bezugsventil (Y06, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Mischventil (Y07, 2/3-Wegeventil, umschalter)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Umschaltventil (Y09, 2/3-Wegeventil, umschalter) Y19 bei 2 Brühgruppen	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Rückspülventil (Y10, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Flush / Reinigung Grundreinigung

Aktor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Entwässerung Teewasser (Y12, 2-Wegeventil, öffener) Y20 bei 2 Brühgruppen	24 V DC, GND geschaltet	Teewasserbezug Grundreinigung
Dampfhahn (Y13, 2/3-Wegeventil, umschalter)	24 V DC, GND geschaltet	Dampfbezug wird bei Soft-Open durch 2-Wege-Ventil ersetzt

Kommunikation Interaktion	Anschlüsse / Signal(e)	Funktionalität
Serielle Kommunikation	TxD, RxD	Token-Ring-Kommunikation zwischen den MCUs
Display	VCC, GND, MISO, MOSI, SCLK, CS, DC, RST, BL	Systemmeldungen

Als Anforderung für die Systemelektronik insb. für die MCU bedeutet dies neben den erforderlichen elektronischen Beschaltungen:

- 9 Stück 1/0 digitale Eingänge
- 1 Stück ADC (Analogeingang) niedrige Auflösung (z. B. 12 Bit)
- 7 Stück ADC (Analogeingang) mit 16 Bit Auflösung
- 1 Stück DAC (Analogausgang) 12 Bit mit Verstärkung auf 0 bis 5 V
- 2 Stück 1/0 digitaler Ausgang PWM
- 8 Stück 1/0 digitale Ausgänge für Schrittmotoren
- 11 Stück 1/0 digitale Ausgänge für Ventilschaltungen
- 2 Stück (4 Stück) Serielle Kommunikation
- 7 Stück Display

5. Zusätzliche Sensoren und Aktoren für Maschinen mit zwei Brühgruppen

Sensor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Flowmeter 2. Brühgruppe	VCC MCU, GND Signal 39.900 Impulse je Liter	Durchflussregelung
Drucksensor Brühgruppendruck 2. Brühgruppe	5 V DC, GND Signal 0,5 bis 4,5 V, 13 (16) bar	Anzeigewert als Messwert für Erprobung und Forschung erforderlich
NTC Boiler 2. Boiler	Signal, GND	Sicherheitsfunktion Boiler-Temperaturfolgeregler
NTC Mischwasser 2. Brühgruppe	Signal, GND	Mischwasser-Temperaturregler
NTC Brühgruppe 2. Brühgruppe	Signal, GND	Mischwasser-Temperaturregler Anzeigewert
Tasten 2. Brühgruppe	VCC MCU GND	Tastenerkennung

Aktor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Pumpe 2. Brühgruppe	24 V DC, GND Steuersignal 0 ... 5 V DC, GND	Füllstandsregler Boilerentleerung ggf. Entschichtung Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Schrittmotor Pumpenbypass 2. Brühgruppe	A, <u>A</u> , B, <u>B</u>	Boilerbefüllung (Füllstandsregler) Boilerentleerung Teewasserbezug
Schrittmotor Mischventil 2. Brühgruppe	A, <u>A</u> , B, <u>B</u>	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Heizelement 230 V AC, 1800 W, max. 8 A alternativ 230 V AC, 1000 W, max. 5 A	L (230 V AC), N, PE 8 Hz PWM 0 bis 100 %	Boiler-Druckregler
Entschichtungsventil Boiler 2 (Y14, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Boiler-Druckregler Boilerentleerung
Befüllungsventil Boiler 2 (Y15, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Boiler-Füllstandsregler Boiler-Druckregler
Entwässerungsventil Boiler 2 (Y16, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Boiler-Entleerung
Bezugsventil Boiler 2 (Y17, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Mischventil Boiler 2 (Y18, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Rückspülventil Boiler 2 (Y20, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Kommunikation Interaktion	Anschlüsse / Signal(e)	Funktionalität
Serielle Kommunikation	TxD, RxD	Token-Ring-Kommunikation zwischen den MCUs
Display 2. Brühgruppe	VCC, GND, MISO, MOSI, SCLK, CS, DC, RST, BL	Systemmeldungen

Als Erweiterungsanforderung für die Systemelektronik insb. für die MCU bedeutet dies neben den erforderlichen elektronischen Beschaltungen:

- 1 Stück 1/0 digitale Eingänge

Armin Rohnen, Konzept - Modulare Steuerungselektronik für Siebträger-Espressomaschinen

- 1 Stück ADC (Analogeingang) niedrige Auflösung (z. B. 12 Bit)
- 4 Stück ADC (Analogeingang) mit 16 Bit Auflösung
- 1 Stück DAC (Analogausgang) 12 Bit mit Verstärkung auf 0 bis 5 V
- 1 Stück I/O digitaler Ausgang PWM
- 8 Stück I/O digitale Ausgänge für Schrittmotoren
- 6 Stück I/O digitale Ausgänge für Ventilschaltungen
- 2 Stück (4 Stück) Serielle Kommunikation
- 7 Kommunikation Stück Display

6. Zusätzliche Sensoren und Aktoren für Maschinen mit drei Brühgruppen

Sensor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Flowmeter 3. Brühgruppe	VCC MCU, GND Signal 39.900 Impulse je Liter	Durchflussregelung
Füllstand Boiler 3	Signal, Ground Kurzschlussdetektion	Boiler-Füllstand
Drucksensor Brühgruppendruck 3. Brühgruppe	5 V DC, GND Signal 0,5 bis 4,5 V, 13 (16) bar	Anzeigewert als Messwert für Erprobung und Forschung erforderlich
NTC Boiler 3. Boiler	Signal, GND	Sicherheitsfunktion Boiler-Temperaturfolgeregler
NTC Mischwasser 3. Brühgruppe	Signal, GND	Mischwasser-Temperaturregler
NTC Brühgruppe 3. Brühgruppe	Signal, GND	Mischwasser-Temperaturregler Anzeigewert
Tasten 3. Brühgruppe	VCC MCU GND	Tastenerkennung
Aktor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Pumpe 3. Brühgruppe	24 V DC, GND Steuersignal 0 ... 5 V DC, GND	Füllstandsregler Boilerentleerung ggf. Entschichtung Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Schrittmotor Pumpenbypass 3. Brühgruppe	A, <u>A</u> , B, <u>B</u>	Boilerbefüllung (Füllstandsregler) Boilerentleerung Teewasserbezug
Schrittmotor Mischventil 3. Brühgruppe	A, <u>A</u> , B, <u>B</u>	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung

Aktor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
Heizelement 230 V AC, 1800 W, max. 8 A alternativ 230 V AC, 1000 W, max. 5 A	L (230 V AC), N, PE 8 Hz PWM 0 bis 100 %	Boiler-Druckregler
Entschichtungsventil Boiler 3 (Y23, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Boiler-Druckregler Boilerentleerung
Befüllungsventil Boiler 3 (Y24, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Boiler-Füllstandsregler Boiler-Druckregler
Entwässerungsventil Boiler 3 (Y25, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Boiler-Entleerung
Bezugsventil Boiler 3 (Y26, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Mischventil Boiler 3 (Y27, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Teewasserbezug Flush / Reinigung Grundreinigung
Rückspülventil Boiler 2 (Y28, 2-Wegeventil, öffner)	24 V DC, GND geschaltet	Kaffeebezug Flush / Reinigung Grundreinigung

Kommunikation Interaktion	Anschlüsse / Signal(e)	Funktionalität
Serielle Kommunikation	TxD, RxD	Token-Ring-Kommunikation zwischen den MCUs
Display 3. Brühgruppe	VCC, GND, MISO, MOSI, SCLK, CS, DC, RST, BL	Systemmeldungen

Als Erweiterungsanforderung für die Systemelektronik insb. für die MCU bedeutet dies neben den erforderlichen elektronischen Beschaltungen:

- 2 Stück 1/0 digitale Eingänge
- 1 Stück ADC (Analogeingang) niedrige Auflösung (z. B. 12 Bit)
- 4 Stück ADC (Analogeingang) mit 16 Bit Auflösung
- 1 Stück DAC (Analogausgang) 12 Bit mit Verstärkung auf 0 bis 5 V
- 1 Stück 1/0 digitaler Ausgang PWM
- 8 Stück 1/0 digitale Ausgänge für Schrittmotoren
- 6 Stück 1/0 digitale Ausgänge für Ventilschaltungen
- 2 Stück (4 Stück) Serielle Kommunikation
- 7 Stück Kommunikation Display

7. Sensoren und Aktoren exklusiv im Prototypenbau

Sensor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
je Brühgruppe Drucksensor Leitungsdruck	5 V DC, GND Signal 0,5 bis 4,5 V, 13 (16) bar	üblicher Anzeigewert als Messwert für Erprobung und Forschung erforderlich
je Boiler NTC Wasserwendel	Signal, GND	Wassertemperatur am Boilerausgang, Messwert für Erprobung und Forschung

Aktor	Anschlüsse / Signal(e)	Regelkreis / Funktionssteuerung
je Brühgruppe ein Schrittmotor Brühgruppendrössel	je Brühgruppe ein Schrittmotor Brühgruppendrössel	Brühgruppendrössel

Als Erweiterungsanforderung für die Systemelektronik insb. für die MCU bedeutet dies, im Maximum für Maschinen mit drei Brühgruppen, neben den erforderlichen elektronischen Beschaltungen:

- 4 Stück ADC (Analogeingang) mit 16 Bit Auflösung
- 8 Stück I/O digitale Ausgänge für Schrittmotoren

8. Gesamtübersicht

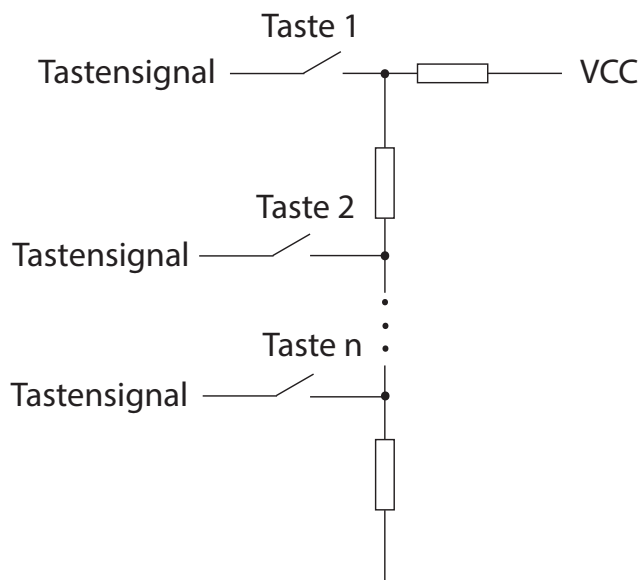
Zusammenfassung Anforderungen

	Ba- sis	2. BG	3. BG	Summe	MCU PINs	MCU PINs (Alternative)	Plati- ne
Flowmeter und Drehknöpfe (schneller GPIO In mit ISR)	5	1	1	7	7	7	bas
Füllstände (langsame GPIO In, abgefragt)	4		1	5	5	5	bas
Tasten (12 Bit ADC asureichend)	1	1	1	3	3	3	bas
Zusätzlich Touch (alternative für weniger Tasten)	1	1	1	3		12	bas
NTCs - Messwerte (Spannungsregler, Vorwider- stand, TP mit Verstärkungsfak- tor)	4	3	3	10	10	10	bas
Spannungsmesswerte 0 ... 5 V (Teiler, TP ohne Verstärkung)	4	2	2	8	8	8	bas
Heizelemente (PWM-Signal)	2	1	1	4	4	4	bas

	Ba- sis	2. BG	3. BG	Summe	MCU PINs	MCU PINs (Alternative)	Plati- ne
Magnetventile	11	6	6	23	23	23	ssr
Schrittmotorsteuerungen	2	2	2	6	24	24	sch
Pumpensteuerspannung 0 bis 5 V	1	1	1	3	6		bas
Pumpensteuerspannung 0 bis 5 V (MCU mit DAC)	1	1	1	3		3	bas
Display	1	1	1	3	21	21	bas
Kommunikation	2						
Summe PINs über alles					111	120	

9. Tastenerkennung

Die Erkennung von Tastendrücken erfolgt über Spannungsmessung. Die Tasten schalten dabei einen definierten Spannungsteiler gem. Abbildung.



Alternativ sind Displays mit kapazitiver Touch-Erkennung möglich. Hierbei werden allerdings für jedes Display 4 weitere PINs für die Kommunikation erforderlich.

10. Bauräume für die Steuerungselektronik

In der weitestgehend final konstruierten 1-Zylinder Glasboilermaschine stehen für die Elektronik zwei Bauräume mit den (nutzbaren) Abmaßen (Höhe x Breite x Tiefe)

- Bauraum 1: 80 x 164 x 77 mm
- Bauraum 2: 80 x 164 x 98 mm

zur Verfügung. Im Bauraum 2 werden für das Netzteil 33 x 164 x 98 mm benötigt.

Auf Basis dieser Bauräume ist der Elektronikbauraum in der überarbeiteten Konstruktion der Labormaschine gestaltet worden.

In den Mehrzylinder Glasboilermaschinen steht der Raum unterhalb des Abtropfbereichs zur Verfügung, da diese Maschinen über einen Abwasseranschluss und daher über keine tiefen Abtropfschalen verfügen. Es wird angestrebt hier in der Höhe 50 mm Bauraum zur Verfügung zu stellen.¹¹

11.SSR-Platine - Kennung ssr

Alle Magnetventile werden über die SSR-Platine geschaltet. Diese verfügt über eine Raspberry Pi Pico MCU. 12 SSRs (z. B. VOR1121) für die Schaltung der 11 Magnetventile der Maschinenbasisvariante sowie ein SSR zur Reserve befinden sich auf der Platinenbasis. Jeweils 6 weitere SSRs werden über Aufsteckplatinen für die Erweiterung auf 2 Brühgruppen bzw. 3 Brühgruppen untergebracht.

Diese Platine beinhaltet die 230 V AC und die 24 V DC Verteilung.

Auf dieser MCU werden keine Regelkreise gerechnet.

Die Platinenmaße dürfen 162 x 75 mm nicht überschreiten. Die Positionierung ist in der 1-Zylinder-Glasboilermaschine stehend in Bauraum 1 als letzte Platine vorgesehen.

12.Schrittmotorplatine - Kennung sch

Alle Schrittmotoren werden über die Schrittmotorplatine angesteuert. Diese verfügt über eine Raspberry Pi Pico MCU. Die Platine wird für den maximalbedarf an Schrittmotoren ausgelegt jedoch nur soweit wie der Bedarf ist bestückt. Dies ermöglicht im Prototypenbau die Ansteuerung der zusätzlich erforderlichen Schrittmotoren.

Auf dieser MCU werden keine Regelkreise gerechnet. Um mehrere Schrittmotoren gleichzeitig stellen zu können muss die MicroPython-Funktion `asyncio` verwendet werden. Durch die erforderlichen Pausen während der einzelnen Schrittmotoransteuerungen ergeben sich nutzbare Wartezeiten für die verschachtelte Ausführung.

Die Platinenmaße dürfen 162 x 75 mm nicht überschreiten. Die Positionierung ist in der 1-Zylinder-Glasboilermaschine stehend in Bauraum 1 als vorletzte Platine vorgesehen. Die Bohrungen für die Platinenbefestigung müssen im gleichen Raster wie bei der SSR-Platine gesetzt werden.

13.Basisplatine - Kennung bas

Die Basisplatine umfasst die gesamten Funktionssteuerungen, Regelungen und Messdatenerfassung für den Maschinenbetrieb. Um dies leisten zu können wird ein NUCLEO STM32H743ZI2 MCU-Board verwendet. Das Board kann mit MicroPython betrieben werden, verfügt über 140 PINs, 12-Bit-DACs und 16-Bit-ADCs.

Die Basisplatine wird aufgrund des großen Schaltungsaufwandes ein Platinenpaket werden. Eine Mutterplatine, welche die Maße 164 x 98 mm nicht überschreiten darf, wird durch weitere Aufsteck- und Ansteck-Platinen zu einem gesamthaften Platinenpaket. Die Maximaldimensionen des Plati-

Armin Rohnen, Konzept - Modulare Steuerungselektronik für Siebträger-Espressomaschinen

nenpaktes sind durch die verfügbaren Bauräume limitiert. In der Variante für eine Brühgruppe darf der Bauraum 45 x 164 x 98 mm nicht überschritten werden.

Die Grundvariante der Basisplatine wird für Maschinen mit 1 Brühgruppe ausgelegt. Dies umfasst die digitale Verarbeitung des Flowmeters und der Drehknöpfe, 4 Füllstandsdetektionen, 4 NTC-Messwerte und 4 Spannungsmesswerte. Es werden 2 PWM Signale welche wahlweise die 1000 W Heizelemente über 5 A SSRs steuern oder SSRs für höhere Leistungen ansteuern. Die Platine enthält ebenso die Ansteuerung eines Displays mit Touch-Funktion und für die Kommunikation mit den beiden anderen Platinen werden 2 UART-Schnittstellen verwendet.

Um die Störungssicherheit zu erhöhen werden die Display- und Touch-Schnittstellen für die Varianten mit 2 und 3 Brühgruppen in der Grundvariante angelegt jedoch nur bei Bedarf bestückt. Reicht das Platinenmaß 164 x 98 mm nicht aus, muss durch eine Aufsteckplatine die nutzbare Platinenfläche erweitert werden.

Die Grundvariante kann um bis zu 2 Ansteck- oder Aufsteck-Platinen für den Erweiterungsbedarf der mehrgruppigen Varianten erweitert werden. Der Erweiterungsumfang ist für die 2. oder die 3. Brühgruppe jeweils identisch und umfasst je eine Platine mit den Schaltungen für

- 1 Flowmeter
- 1 Füllstand
- 1 Signalaufbereitung Tasten
- 3 Signalaufbereitungen für NTC-Messwerte
- 2 Signalaufbereitungen für Spannungsmesswerte
- 1 Signalverstärkung für die Pumpensteuerspannung
- 1 Leistungs SSR 5 A oder höher

Durch die Steckbaren Zusatzplatinen und die Grundauslegung der Basisplatine für die Erfassung der Messdaten im Gesamtumfang kann für Erprobungs- und Forschungszwecke eine eingruppige Maschine mit einer Steuerung für eine mehrgruppige Maschine betrieben werden. Was den Bedarf an zusätzlicher Sensorik abdecken dürfte.

Als Alternative für die Leistungs-SSRs (XSSRs) bietet sich u.u. eine eigenständige Leistungsplatine an, welche dann auch den Verteiler des 230 V AC vornimmt. Hierzu ergibt sich allerdings die Fragestellung des in der 1-Zylinder Glasboilermaschine vorhandenen Bauraums.

14. Kommunikation der Platinen untereinander

Die Kommunikation geht von der Basisplatine aus. Es werden über UART an die SSR-Platine und Schrittmotorplatine kurze Kommandosequenzen gesendet.

15. Allgemeine Hinweise

Um Platinenfläche zu sparen, können die Bauelemente in Durchsteckmontage auch auf der Rückseite platziert werden.