

Institut für Kaffeetechnologie
armini gbr
Thomas-Diewald-Str. 7
82152 Planegg

Datum 25. Februar 2021

Ihre Zeichen/Nachricht Konzept: Modulare Systemelektronik für Siebträger Espressomaschinen

Unsere Zeichen

Dipl.-Ing. A. Rohnen
089 8758 9875
a.rohnen@ifk.bayern
www.ifk.bayern

Durch die modulare Systemelektronik wird aus der elektromechanischen Espressomaschine ein Industrie 4.0 Produkt. Die Kernaufgaben der Systemelektronik sind definiert als

- 1.) Übergabe der Bedienanforderung (Tasten) an den Controller
- 2.) Übergabe Systemparameter (Sensoren) an den Controller
- 3.) Übergabe der Stellgrößen (Ventilstellungen, Pumpensollwert) vom Controller an die Mechatronik
- 4.) Übergabe von Nutzerinformationen vom Controller an die Mechatronik

Im weiteren muss die Systemelektronik die Aufgabe

- 5.) Datenübergabe von Controller an WLAN oder Bluetooth

sicher gestellt werden. Wobei dies u.u. durch den Controller selbst geleistet werden kann.

Für die Systemelektronik ist ein dreistufiger Entwicklungsprozess definiert. Zunächst erfolgt die Hardwareentwicklung der erforderlichen elektronischen Schaltungen um die Kernaufgaben der Systemelektronik sicher zu stellen. In dieser Phase ist die Nutzung eines Raspberry Pi PICO als MCU möglich, weil diese Schnittstelle dazu integriert wird. Zur Vereinfachung des Entwicklungsprozesses ist primär die Kopplung der Systemelektronik mit einem Raspberry Pi als Schnittstelle zum PC mit MATLAB® vorgesehen. Auf der Platine der Systemelektronik ist der Bauraum für die Ziel-MCU nebst Bluetooth/WLAN-Controller vorzuhalten. Die Belange aus den angrenzenden Projekten, Pumpenprüfstand und labortechnische Espressomaschine (Ein- und Zweigruppig) sowie die noch nicht final entschiedene Sensorik, sind zu berücksichtigen. Zwangsläufig wird dies eine Maximum-Systemelektronik (Basiselektronik), die auch für spätere Projekte zum Einstieg dienen wird.

In einer Zwischenphase wird für die Softwareentwicklung der Basisfunktionalität unter Beachtung der Ziel-MCU der Raspberry Pi PICO als MCU eingesetzt. Die Softwareentwicklung erfolgt modularisiert und parametrisiert, so dass ein Umstieg auf eine andere MCU lediglich eine Umparametrisierung erfordert. Programmiersprache vorzugsweise microPython. Für die zweite Entwicklungsphase wird keine neue Systemelektronik entwickelt.

Die finale Systemelektronik wird auf Basis der Basiselektronik und in Abstimmung der beteiligten Prozesspartner definiert. Operativ ist dies eine Reduktion der Basiselektronik auf die erforderlichen Komponenten. Letztlich werden einzelne Schaltungen aus der Basiselektronik entfernt und die Ziel-MCU integriert.

Als Ziel-MCU wird aktuell ein STM32 (bevorzugt) oder ESP32 betrachtet.

Die Systemelektronik baut auf einer Basisplatine auf. Hierzu gibt es durch [1] einen ersten Entwurf. Dieser ist jedoch nicht funktionsfähig. Von einer nicht vollständig funktionsfähigen Basisplatinenvariante existieren drei Exemplare.

Die Basiselektronik ist wie folgt definiert:

1.) Spannungsregler

externes Netzteil 24 V DC 250 W

5,1 V DC mindestens 3 A für die Versorgung der Basiselektronik nebst Raspberry Pi

3,3 V Displayversorgung

2.) SSR-Insel

5 SSRs zum Schalten von elektrischen Lasten 230 V AC 50 Hz 2 A

1 Signaldurchleitung

230 V AC Verteiler

- Netzteil

- nächste SSR-Insel

- Heizelement

3.) NTC-Messplatine (Temperatursensoren)

Ausgelegt für 4 NTCs 10 kOhm mit TP-Filter 10 Hz

Signalverstärkung auf den Messbereich des ADCs der Ziel MCU (üblich 3,3 V)

4.) Brückenschaltung-Messplatine

Ausgelegt auf 4 Sensoren in Brückenschaltung

Abgleichbare Signalverstärkung auf den Messbereich des ADCs der Ziel MCU (üblich 3,3 V)

Abgleichbare Nullpunktverschiebung

TP-Filter 10 Hz

5.) Spannungs-Messplatine

Ausgelegt auf 4 Sensoreingänge

Abgleichbarer Spannungsteiler mit TP-Filter 10 Hz

6.) Displayplatine

Montage und Ansteuerung des Displays

Aufnahme der Spannungsteilerlogik für die Drucktasten

7.) Elektronikumfang der Basisplatine

- 3 x Füllstand mit Zustandsanzeige (LED) über Kurzschlussdetektion

(funktionsfähige Schaltung vorhanden), als Spannungseingang aufgelegt

- 2 x Flowmeter mit ISR an MCU
- 2 x links/rechts Erkennung mit ISR an MCU
- 16 LEDs Zustand am GPIO-Expander
- 2 x Analog-Sollwertsignal 0 bis 10 Volt über DAC und Operationsverstärker
- 2 x 8 auf 1 Multiplexer für die Analogeingänge, verteilt auf zwei ADC-PINs
 - MUX1
 - 4 x NTC
 - 4 x Druck
 - MUX2
 - 3 x Füllstand
 - Spannungsteiler Tasten
 - 4 x Spannung von Spannungsmessplatine
- MCP23017, (I2C) GPIO Expander für die Ansteuerung der SSRs
- Datum und Uhrzeit
- LED-Beleuchtung, Helligkeit über PWM (> 100 Hz) aus der MCU
- Integration Helligkeitssensor ggf. auf Spannungs-Messplatine
- Referenzspannung für ADC und NTC-Messplatine

8.) Schnittstellen der Basisplatine

- 2 x 20 PIN für den Anschluss der MCU Raspberry Pi PICO
- 2 x 6 PIN an SSR-Inseln plus DC-Versorgung und GND (jeweils 1 bis 5 aus GPIO Expander)
- 1 x 6 PIN (Rest aus GPIO Expander) an SSR oder ähnliches plus DC-Versorgung und GND
- 4 x Messwertplatine
- 2 x Flowmeter
- 2 x Analog-Sollsignal
- 3 x Füllstand
- 1 x SPI (MOSI, CLK, A0, CS, RESET) zum Display plus Tastenschnittstelle, 3,3 V und GND
- 2 x Drehknopf
- 1 x I2C (SDA, CLK) zum Display plus Tastenschnittstelle, 3,3 V und GND
- 3 x PWM für Servoantriebe
- 1 x LED-Beleuchtung
- Helligkeitssensor

9.) PIN-Belegung Controller (2 x 20 PIN der Basisplatine)

Die 2 x 20 PIN Anschlüsse werden im Raspberry Pi PICO Schema belegt. Es stehen maximal 28 frei programmierbare PINS zur Verfügung. Wobei ADC, I2C und SPI festen bzw. primären PIN-Nr zugeordnet sind.

- 5,1 V
- GND
- (1) 1 GPIO OUT / PWM 8 Hz für Boilerheizelement
- (2) 1 GPIO OUT / PWM 8 Hz für Tassenwärmer
- (3) SPI-MOSI
- (4) SPI-CLK
- (5) SPI-A0
- (6) SPI-CS (Display)
- (7) SPI-RESET
- (8) I2C-SDA
- (9) I2C-CLK

- (10) ADC0
- (11) ADC1
- (12) ADC2 (mit Brücke zu GND)
- (13 ... 15) 3 x PWM für Servoantriebe und DC-Motorsteuerung
- (16) PWM für Beleuchtung
- (17) A0 für MUX
- (18) A1 für MUX
- (19) A2 für MUX
- (20) ENABLE für MUX
- (21) Links-Erkennung Drehknopf 1
- (22) Links-Erkennung Drehknopf 2
- (23) Rechts-Erkennung Drehknopf 1
- (24) rechts-Erkennung Drehknopf 2
- (25) UART TX
- (26) UART RX
- (27) ISR Flowmeter 1
- (28) ISR Flowmeter 2

Für die Basisplatine ist in der aktuellen Bauraumskizze ein Bauraum mit 160 mm Länge x 100 mm Breite und 50 mm Höhe vorgesehen. Länge und Breite dürfen nicht überschritten werden. In der Höhe ist noch Spielraum vorhanden.

Aktuell ist in der Bauraumskizze für einen Phasenschnittregler und zwei SSRs mit 20 A Laststrom Bauraum vorgehalten. Ein Bauraum für den Spannungsregler ist aktuell nicht vorgehalten.

Pumpe

Es wird eine leistungsgeregelte und schwingungsisierte Hubkolbenpumpe (Vibrationspumpe, ULKA) verwendet. Die Wirksamkeit der Leistungsregelung ist noch nicht nachgewiesen. Sollte die Leistungsregelung nicht möglich sein, wird lediglich eine indirekte Volumenstromregelung möglich sein. Die Leistungsregelung erfolgt über einen Phasenschnittregler der Fa. Appoldt. In ULKA Hubkolbenpumpen ist eine Freilaufdiode verbaut, die dafür sorgt, dass lediglich eine Halbwelle des Wechselstroms für die Hubbewegung verwendet wird. Ggf. muss eine Hubkolbenpumpe eines anderen Herstellers verwendet werden. Bisheriger Erkenntnisstand ist, dass ULKA Hubkolbenpumpen nicht zweifelsfrei über SSR geschaltet werden können.

Optional sind Drehschieberpumpen mit AC-Antrieb ggf. mit DC-Antrieb vorgesehen. Hierzu ist jedoch die Verfügbarkeit eines kleinen AC-Antriebs Durchmesser max. 55 mm Länge 130 mm zu prüfen.

Magnetventile

Das Maschinenkonzept sieht die Verwendung von 7 (optional 8) Magnetventilen vor:

- Y01 2/2-Wege-Ventil NC Boilerbefüllung
- Y02 2/2-Wege-Ventil NC Kaffee/Tee Bezug
- Y03 3/2-Wege-Ventil ungeschaltet zum Überlauf
- Y04 3/2-Wege-Ventil ungeschaltet zur Brühgruppe
- Y05 2/2-Wege-Ventil NC Dampf
- Y06 2/2-Wege-Ventil NC Entschichtungsventil (Boileröffnung während dem Aufheizen)
- Y07 2/2-Wege-Ventil NC Entwässerung

Optional wird eine optimierte Rückspülung vorgehalten, welches durch

Y08 2/2-Wege-Ventil NC Rückspülung

realisiert wird.

Hieraus leitet sich die Überarbeitung der SSR-Insel ab, welche zukünftig bis zu 10 SSRs enthalten und ein weiteres externes SSR schalten soll. Die SSR-Insel stellt zudem den 230 V AC Verteiler zur Verfügung.

Sensoren

Es müssen Füllstände ermittelt werden:

- Füllstand des Boilers
- Wasserstand des Wassertanks
- (optional) der Füllstand der Abtropfschale

Die Füllstände werden über Kurzschlussdetektion überwacht.

Zur Bestimmung der Wasserqualität wird der Leitwert des zugeführten Wassers kontinuierlich ermittelt und dabei gleichzeitig die Temperatur des zugeführten Wassers (über den Leitwertsensor) bestimmt. Der ursprünglich vorgesehene Leitwertsensor ist aktuell nicht verfügbar.

Als Temperaturmessstellen sind definiert

- die Temperatur des Boilerwassers unten (NTC, 10 kOhm)
- die Wassermischtemperatur (NTC, 10 kOhm)
- der Tassenwärmer (NTC, 10 kOhm)
- die Milchschaumtemperatur (NTC, 10 kOhm) zunächst optional, später via Bluetooth

Für die Messung der Drücke bieten sich zwei unterschiedliche Konzepte an. Einmal durch Nutzung der Durcksensoren von AVS-Römer. Diese weisen Leitungsanschlüsse auf und können direkt an der Leitung angeschlossen werden. Die integrierte Signalaufbereitung und liefert Mess-Signal zwischen 0 und 5 V. Alternativ ist die Verwendung von Sensorelementen wie z. B. von B+B Sensors möglich. Hierzu ist dann eine Adaption an die Messstelle erforderlich und eine Signalaufbereitung für Brückenschaltung. Die Kalibrierung der Sensoren ist hier zwingend erforderlich, um die hohen Kennwertschwankungen der Sensoren auszugleichen.

Als Druckmessstellen sind definiert:

- Boilerdruck (Dampfdruck)
 - Druck vor der Brühgruppe
- (zwei weitere Druckmessstellen können noch definiert werden)

Über einen Digmesa nano Brass im Druckkreis wird der Wasserdurchfluss bestimmt. Der Sensor erzeugt ein Impulssignal mit 39.900 Impulsen je Liter.

Option Wägeeinheit

Optional wird eine Wägeeinheit für die Messung der bezogenen Kaffeemenge angeboten. In der Bauraumskizze [2] ist diese durch 2 Stck. Zemic Q47 Wägezellen vorgehalten. Für jede Wägezelle wird eine Brückenschaltungs-Signalaufbereitung benötigt.

Display und Bedienung

Ein Display ist zu definieren. In der Bauraumskizze [2] ist hierzu auf Basis eines DOGM128-6 mit LED Hintergrundbeleuchtung von Display-Visions Bauraum vorgehalten. In die Displayplatine ist die

Tastenschnittstelle integriert. Die Ansteuerung des Displays erfolgt wahlweise über SPI oder I2C. Entsprechendes ist in der Elektronik vor zu halten.

Es werden 6 Funktionstasten und zwei Dreh-/Drucktasterkombinationen für die Bedienung benötigt. Bei den Drehknöpfen ist eine Richtungserkennung erforderlich.

Für das Bedienkonzept stehen durch [2] und [3] Vorarbeiten und eine FMEA zur Verfügung. Diese dienen als Grundlage für das konkrete Bedienungskonzept, welches im Detail noch zu definieren ist.

Für den Anwender einstellbar sind die Parameter

- Boilerdruck
- Kaffeebezugstemperatur
- Kaffeebezugsmenge
- Preinfusionsdruck
- Preinfusionszeit, wobei 0 keine Preinfusion bedeutet
- Durchflussrate
- Teewassertemperatur

Über die Taste „Manuell“ erfolgt ein manueller Kaffeebezug, der beim ersten Tastendruck die Preinfusion startet, beim zweiten Tastendruck den Kaffeebezug einleitet und beim dritten Tastendruck den Kaffeebezug beendet. Der jeweils letzte Kaffeebezug wird in einem Zwischenspeicher festgehalten und kann für die Programmierung der Funktionstasten verwendet werden. Optional kann hier eine größere Speichertiefe angeboten werden.

Über die Funktionstasten erfolgt der Kaffeebezug der entsprechenden Auswahl.

Teewasserbezug erfolgt analog des manuellen Kaffeebezugs über eine eigene Taste. Der Dampfbezug wird durch Tastendruck gestartet, durch zweiten Tastendruck beendet und durch Drehknopf verstärkt bzw. abgeschwächt.

Die Einstellung der Betriebsparameter erfolgt über den Sprung in ein Parameter-Menü. Hierzu wird eine eigene Taste verwendet.

Die Brühgruppe kann durch eine „Flush“-Taste gereinigt werden. Hier sind automatisiert mehrere Funktionen hinterlegt. Ist kein Blindsieb eingesetzt dann wird eine systemdefinierte Wassermenge durch die Brühgruppe gespült. Wird ein Blindsieb verwendet, wird dies durch den Druckanstieg bei gleichzeitiger Minimalfördermenge erkannt. Dies wird als Rückspülreinigungsvorgang angenommen. Der Rückspülreinigungsvorgang wird automatisiert durchgeführt. Nach der Rückspülreinigung wird als erstes eine längere Brühgruppenspülung vorgenommen. Dies wird am Display angezeigt. Ein Kaffeebezug wird dann erst einmal nicht zugelassen.

Erkannte Systemfehler werden in einem Fehlerspeicher erfasst. Die letzten 10 Rückspülreinigungen werden mit Datum im Fehlerspeicher abgelegt. Es gibt einen nicht löschbaren Tassenzähler. Datum jeder Leitwertüberschreitung wird im Fehlerspeicher abgelegt. Bei Leitwertüberschreitung erfolgt Warnhinweis auf dem Display der Maschine.

Mögliche Bedienungsoptionen bestehen im Profiling der Kaffeebezugstemperatur, der Durchflussrate und der Preinfusion.

Eine Bedienung und Parametrierung der Maschine über eine App oder Web-Schnittstelle ist optional möglich.

Display und Bedienkonzept werden nach dem hardwareseitigen Aufbau des Prototypen benötigt und sind bis dahin zu definieren.

Regelkreise und Schaltfunktionen

Die Funktionalität der Maschine wird durch Regelkreise hergestellt.

Für die Durchflussrate wird die Pumpendrehzahl, alternativ ein Kugelventil, als Stellglied verwendet. Hierzu wird ein PWM-Signal oder ein Spannungssignal 0 bis 10 V benötigt. Die Bestimmung des Istwertes erfolgt über das Flowmeter. Jeder Impuls des Flowmeters löst an der MCU einen ISR aus. Die Taktung dieses Regelkreises erfolgt dadurch durch den Durchfluss selbst.

Der Boiler wird auf Dampfdruck geregelt. Stellglied hierzu ist das eingebaute Heizelement, welches über ein SSR geschaltet wird. Um eine Leistungssteuerung des Heizelements vornehmen zu können, wird das SSR mit eine 8 Hz PWM Signal angesteuert. Die Bestimmung des Istwertes erfolgt über Spannungsmessung eines Drucksensorsignals. Die Taktung dieses Regelkreises erfolgt über eine Main-Loop in der die Messung aller Sensorsignale eingebunden ist.

Für den Kaffee- und Teewasserbezug wird über einen Mischer die Bezugswassertemperatur geregelt. Stellglied ist ein Dosierventil alternativ ein Kugelventil mit Servoantrieb. Hierzu wird ein PWM-Signal oder ein Spannungssignal 0 bis 10 V Benötigt. Die Bestimmung des Istwertes erfolgt über Spannungsmessung eines Temperatursensors. Die Taktung dieses Regelkreises erfolgt zusammen mit der Boilerdruckregelung über eine Main-Loop in der die Messung aller Sensorsignale eingebunden ist.

Die Preinfusion ist die Kombination von Durchflussrate und/oder Brühgruppendruck sowie Bezugswassertemperatur. Grundgedanke der Preinfusion ist die gezielte Vorbenetzung des Kaffeepuhs. In der Umsetzung sind mehrere Varianten möglich. Über die Preinfusion ist final noch nicht Entschieden.

Für die Sollwerte der Regelkreise ist jeweils ein Verlauf über die Zeit (Sollwertprofil) vorzuhalten.

Die Magnetventile werden über einen digitalen Ausgang der MCU geschaltet.
Für den Dampfbezug is alternativ ein Kugelventil mit Servoansteuerung vorgesehen.

Mitgeltende Dokumente und Quellen

- [1] Dino Krzavic, Entwicklung einer Systemsteuerung einer Espressomaschine, 2021
- [2] Yasin Mahan, et. al., Bedienkonzept einer Espressomaschine, 2021
- [3] Nermin Arbi, et. al., FMEA Dokumentation labortechnische Espressomaschine, 2020