

Hochschule München
Dachauer Straße 98b
80335 München

Datum
Ihre Zeichen/Nachricht

Status der Entwicklung einer Siebträger-Espressomaschine und labortechnischen
Espressomaschine.

Unsere Zeichen

Development status of the of a portafilter pressing machine and laboratory
espresso machine

Dipl.-Ing. A. Rohnen LbA
FK03 Fahrzeugtechnik
Verbundlabor Fahrzeugtechnik,
Akustik und Dynamik

Telefon: 089 1265 3366
Telefon: 089 8758 9875
eMail: rohnen@hm.edu

Büro: B260
Labor: R4.068

Planegg, 22. März 2020
Dipl.-Ing. Armin Rohnen LbA

Hochschule München
Dachauer Straße 98b
80335 München
www.hm.edu

Straßenbahn-Linien 20,21, 29
Haltestelle Lothstraße
U-Bahn-Linie 1
Haltestelle Mallingerstraße

Einleitung

Ausgehend von den Projektarbeiten zum Kaffeeröster der Kaffeewerkstatt München entstand zum Wintersemester 2016/17 die Idee, über eine labortechnische Espressomaschine mehr über die technische Beeinflussbarkeit der Geschmacksache Espresso zu erforschen.

Beginnend mit der ersten Bachelorarbeit von Kilian Stach mit dem Titel „Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine“ konnte zum Wintersemester 2017/18 dieses Vorhaben umgesetzt werden. Die in dieser Arbeit beschriebene labortechnische Espressomaschine wurde weitestgehend umgesetzt.

Im Zuge der Inbetriebnahme der labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine wurden weitreichende Erkenntnisse gesammelt, die dazu führten, dass ein Forschungsbetrieb dieser Espressomaschine nie erfolgte. Die Erkenntnisse führten zu einer Erfindungsmeldung [12] mit den patentfähigen Merkmalen der kalten Brühgruppe, dem kalten Siebträger, dem Wassermischsystem und dem Borosilikatglasboiler.

Im weiteren Verlauf der Tätigkeiten wurde eine Modellreihe basierend auf der labortechnischen Espressomaschine definiert. Erste Entwicklungstätigkeiten sind abgeschlossen, andere befinden sich in der Bearbeitung, weitere werden durch dieses Dokument definiert.

Insgesamt sollen vier Espressomaschinentypen unter der Verwendung möglichst vieler Gleichteile entwickelt werden:

1. Labor und Röster
Diese Maschine dient der Entwicklung der erforderlichen Regelkreise. Diese Espressomaschine 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. Diese Maschine benötigt für die Bedienung einen PC.
2. Bar und Barista
Basierend auf der Laborvariante ausgestattet mit zwei Brühgruppen einer Skalierbarkeit zu noch mehr Brühgruppen, und versehen mit der Parametrierbarkeit aller relevanten Parameter für die Geschmacksbeeinflussung. Allerdings gegenüber der Laborvariante mit eingeschränkter Anzahl an „Profilen“ und einem Touch-Display-Bedienungskonzept.
3. Home
Gegenüber der Barista-Variante mit kleinerem Boiler, weniger Heizleistung und lediglich einer Brühgruppe.
4. Style
Eigentlich technisch identisch zur Home-Variante, jedoch mit einem Boiler aus Borosilikatglas. Denkbar ist diese Variante auch als Barista mit zwei Brühgruppen, welches zwei Borosilikatglasboiler erfordern würde.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
Inhaltsverzeichnis	3
1. Abgeschlossene Projekt- und Abschlussarbeiten	5
1.1. Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine	5
1.2. Inbetriebnahme der Labor-Espressomaschine	5
1.3. Simulationsmodell einer Siebträger-Kaffeemaschine	6
1.4. Neukonstruktion einer Kaffeemaschinenbrühgruppe	6
1.5. Inbetriebnahme und Vorbereitung zur Erprobung der kalten Brühgruppe für eine labortechnische Espressomaschine	6
1.6. Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine	7
1.7. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung an einem Borosilikatdampfboiler	7
1.8. Konstruktion einer kalten Brühgruppe nach dem E61 Prinzip	8
1.9. Kraftmessung in Z-Richtung	8
1.10. Konstruktion von vier Siebträger-Espressomaschinen	8
2. Abschlussarbeiten in aktueller Bearbeitung	9
2.1. Programmierung der Mischerregelung	9
2.2. Elektronikentwicklung	9
3. Offene Bearbeitungspunkte	11
3.1. Allgemeine Konzeptbeschreibung	11
3.2. Kalte Brühgruppe	14
3.3. Kalter Siebträger	15
3.4. 3,6l Zweikreisboiler	16
3.5. 7,2 l 2xZweikreisboiler	16
3.6. 1,8 l Zweikreisboiler	16
3.7. 1,99 l Borosilikat-Zweikreisboiler	17
3.8. Grundrahmen Variante Labor	18
3.9. Grundrahmen Variante Barista	19
3.10. Grundrahmen Variante Home	19
3.11. Grundrahmen Variante Style	19
3.12. Tassenwärmer	20
3.13. Abtropfwannen	20
3.14. Gehäusevariationen	20

3.15. Messsystem zur Erfassung der relevanten Betriebsparameter	20
3.16. Programmierung labortechnische Espressomaschine	21
3.17. Bedienungskonzept und Programmierung	21
4. Literatur / Quellen	22

1. Abgeschlossene Projekt- und Abschlussarbeiten

Seit dem Start der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in Zusammenarbeit mit der Kaffeewerkstatt München wurden 10 Projekt- und Abschlussarbeiten durchgeführt und abgeschlossen. Die gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeiten haben wesentlich zur Formulierung der Modellreihe beigetragen. Ebenso wurden weiterführende Aufgabenstellungen daraus formuliert.

Auch wenn aus heutiger Sicht die ein oder andere Arbeit nicht für die weitere Entwicklung bzw. Forschung noch Relevanz aufweist, so waren diese Arbeiten für die Entscheidungsfindung der angestrebten Modellvariationen erforderlich.

1.1. Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine

Diese Arbeit [1] enthält das ursprüngliche Konzept der labortechnischen Espressomaschine. Diese wurde als Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine definiert. Bereits während der Durchführung der Abschlussarbeit stellte sich die Erkenntnis ein, dass es für das eigentlich angestrebte Ziel, der Abbildung aller auf dem Markt befindlicher Siebträger-Espressomaschinen, der falsche Ansatz ist.

Verwendbar hieraus sind das messtechnische Konzept sowie die Recherche der anzuwendenden Vorschriften.

1.2. Inbetriebnahme der Labor-Espressomaschine

Obwohl bereits bekannt war, dass eine finale labortechnische Espressomaschine ein anderes, im weiteren ausgeführtes, Konzept verfolgen wird, wurde mit der Inbetriebnahme des ursprünglichen Konzepts begonnen. Aus der Inbetriebnahme der Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine [2] sollten Erkenntnisse bezüglich des angestrebten messtechnischen Konzepts und der angestrebten Sensorik gewonnen werden.

Die grundlegenden Erkenntnisse dieser Arbeit bestehen darin, dass die Verwendung eines Raspberry Pi mit einem GPIO-Expandershield sowie einem AD-Wandler-Shield für die weiteren Entwicklungsschritte, ggf. auch für hochpreisige Varianten ein Lösungsweg darstellt. Die Ansteuerung von Magnetventilen, Rotationspumpe und Heizelemente über Solid-State-Relais (SSR) ist von einem GPIO-Expandershield möglich, sofern zwischen GPIO-Expander und SSR eine Darlingtonschaltung [3] zwischengeschaltet wird.

Bei der Nutzung des I2C und SPI Bus am Raspberry Pi ist auf die strikte Einhaltung einer seriellen Verdrahtung zu achten. Eine sternförmige Verbindung dieser Bus-Systeme führt zu Disfunktionalität.

Auf die in dieser Arbeit verwendete Sensorik wird im weiteren verzichtet. Für die weitere Entwicklung werden Drucksensoren und NTC-Temperatursensoren der Fa. AVS Römer. In Verbindung mit [6] stellte sich die eigene Entwicklung und Herstellung von Temperatursensoren als zu große Herausforderung heraus. Die elektrische Signalaufbereitung benötigt zwingend Tiefpassfilter zur Rauschunterdrückung der Messsignale.

Auf Basis dieser Arbeit und der Inbetriebnahme der kalten Brühgruppe [6] erfolgt derzeit die Programmierung der Mischerregelung (siehe Abschnitt 2.1).

1.3. Simulationsmodell einer Siebträger-Kaffeemaschine

Diese Projektarbeit [4] befasst sich mit der Überführung thermodynamischer Vorgänge einer Siebträger-Espressomaschine in ein Simulink-Modell. Insbesondere wird auf die Wärmeschichtung der Boiler eingegangen.

Abgeleitet aus dieser Arbeit wurde das Konzept der „Entschichtung“ und die Anforderung der höchstmöglichen Boilerisolierung. Ebenso wurde die Idee des Borosilikatglasboilers basierend auf dem Simulink-Modell nachgerechnet mit dem Ergebnis, dass sich ein Borosilikatglasboiler erheblich schneller aufheizen wird, als ein Stahlboiler. Ebenso weist ein Boiler aus Borosilikatglas eine hohe Isolation auf als ein Stahlboiler.

1.4. Neukonstruktion einer Kaffeemaschinenbrühgruppe

Eine der Erkenntnisse aus der Konstruktion der labortechnischen Espressomaschine [1] ist, dass für die Zielvorstellung die Parametrierung der Espressomaschine von einem Kaffeebezug zum nächsten, eine Brühgruppe herkömmlicher Bauart nicht geeignet ist.

Einer der geschmacksrelevanten Parameter ist die Temperatur des Kaffeebezugswassers am verpressten Kaffee im Siebträger. Die bisherigen Konzepte auf dem Markt befindlicher Siebträger-Espressomaschinen lösen die Problematik der stabilen Kaffeewasserbezugstemperatur durch PID-Regelung der Boilerheizelemente sowie durch Aufheizung der Brühgruppen. Aufgrund der großen Massen (bis zu 5 kg) der verwendeten metallischen Brühgruppen speichern diese eine entsprechend hohe Wärmemenge. Eine Absenkung oder Erhöhung der Wassertemperatur im Boiler um wenige °C wird keine, oder nur sehr geringe Auswirkung auf die Kaffeewasserbezugstemperatur im Siebträger haben.

Um die Kaffeewasserbezugstemperatur von einem Kaffeebezug zum nächsten realisieren zu können, wurde die „kalte Brühgruppe“ [5] definiert. Hierbei handelt es sich um eine Brühgruppe mit einem Einsatz, welcher aus einem thermisch sehr trägen Kunststoff hergestellt wird. Dies führt dazu, dass diese Brühgruppe dem Kaffeebezugswasser nahezu keine Wärme entzieht und somit nicht auf Bezugswassertemperatur gebracht werden muss.

Die kalte Brühgruppe bedingt, dass auch die Verrohrung der Espressomaschine nicht aus metallischen, sondern aus thermisch trägen Materialien hergestellt wird.

Die konsequente Weiterführung dieser Idee ist der kalte Siebträger (siehe Abschnitt 3.3). Auch am Siebträger wird, wenn auch nur in sehr geringem Maße, dem Kaffeebezugswasser Wärme entzogen.

1.5. Inbetriebnahme und Vorbereitung zur Erprobung der kalten Brühgruppe für eine labortechnische Espressomaschine

Die erste Variante der kalten Brühgruppe [5] wurde als Prototyp aufgebaut. In dieser Arbeit [6] ist die Inbetriebnahme dokumentiert.

Der Prototypenbau der ersten kalten Brühgruppe ergab Erkenntnisse, die zu einer fertigungstechnisch vereinfachten Spezifikation der kalten Brühgruppe geführt haben (siehe Abschnitt 3.2).

Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass die Verwendung von NTC-Temperatursensoren zu einer Vereinfachung der elektrischen Beschaltung führt. Auch der Nutzen von Tiefpassfilterung in der elektrischen Beschaltung konnte bestätigt werden. Aktuell weisen die Messwerte eine gute Messwertstabilität auf.

Die Entwicklung und Produktion eigener schnellerer Temperatursensoren erwies sich als zu hohe Herausforderung. Zudem wurde von der Fa. AVS Römer ein NTC-Temperatursensor mit Reaktionszeiten < 1 s auf dem Markt eingeführt. Die Weiterführung einer eigenen Temperatursensorentwicklung wurde daher eingestellt.

Auf Basis der Inbetriebnahme der kalten Brühgruppe erfolgt derzeit die Programmierung der Mischerregelung (siehe Abschnitt 2.1)

1.6. Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine

Ziel dieser Arbeit [7] ist die Konstruktion eines Versuchsaufbaus für einen Dampfboiler mit einem Zylinder aus Borosilikatglas, um zu prüfen, ob dieser Werkstoff als Boilermaterial geeignet ist.

Diese Arbeit enthält insbesondere die Grundlagen für den Festigkeitsnachweis gemäß der Druckbehälterverordnung. Durch den Versuchsaufbau des Borosilikatboilers (siehe Abschnitt 1.7) wurden weitere Erkenntnisse bezüglich der Konstruktion gewonnen.

1.7. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung an einem Borosilikatdampfboiler

Der Versuchsaufbau des Borosilikatboilers ist soweit fortgeschritten, dass die erste Befuerung des Boilers vorgenommen werden kann.

Für den Versuchsaufbau waren einige Änderungen an der Konstruktion des Borosilikatboilers erforderlich. Es wurde insbesondere auf die Verspannung durch Verschraubung verzichtet. Stattdessen wurde ein Federmechanismus eingeführt, der den Boilerdruck aufnimmt und für ausreichend Druck auf dem Dichtungssystem sorgt.

Als problematisch habe sich die vielen Durchführungen dargestellt.

Da das Glas nicht direkt auf einer metallischen Oberfläche verspannt werden darf, ist eine PTFE-Einlage definiert worden. Dies stellt im Deckel kein Problem dar. Da dort keine weiteren Durchführungen vom Boilerinneren in das Boileräußere erforderlich sind. Im Boden stellt sich die flächendeckende PTFE-Einlage als problematisch dar. Für jedes Bauteil, welches durch den Boilerboden durchgeführt wird, musste eine Dichthülse konstruiert werden. Dies führt zu Dichtheitsproblemen und mehrt die Produktionskosten.

Für den Boilerboden ist eine weitere Konzeptphase erforderlich mit dem Ziel, möglichst auf Dichthülsen zu verzichten (siehe Abschnitt 3.7).

Bestätigt wurde die Vorgehensweise für die Versuchsaufbauten der labortechnischen espressomaschine ein Steuerungskonzept auf Basis eines Raspberry Pi zu verwenden. Erweitert mit GPIO-Expandershield, AD-Wandler-Shield und einer Softwarekombination aus Python-Skripten und MATLAB®-GUI lassen sich die Mess-, Steuerungs- und Regelungsaufgaben praxisorientiert und relativ zügig programmieren.

Erste Tests der SSR-Insel konnten ebenso durchgeführt werden. Hier konnte das Grundkonzept bestätigt werden. Es sind jedoch noch Verbesserungen im Schaltungsdesign erforderlich. Eine Vibrationspumpe kann mit dieser SSR-Schaltung nicht angesteuert werden.

1.8. Konstruktion einer kalten Brühgruppe nach dem E61 Prinzip

Mit dieser Arbeit [9] soll eine kalte Espressomaschinen-Brühgruppe erarbeitet und konstruiert werden, welche nach dem Prinzip der FAEMA E61 Brühgruppe aufgebaut ist. Diese Brühgruppe soll unter anderem als Austauschteil für bestehende Siebträger-Espressomaschinen mit E61 Brühgruppe dienen und hat daher die entsprechenden Anschlussmaße eingehalten. Die bestehende Patentsituation wurde berücksichtigt.

Diese Arbeit ist mehr als Konzeptstudie zu sehen. Die Herstellung eines Prototypen ist auf Basis dieser Arbeit noch nicht möglich.

Grundlegend wurde nachgewiesen, dass das Konzept der kalten Brühgruppe durch Einbringen eines Brühgruppeneinsatzes aus Kunststoff in die E16 Brühgruppe realisierbar ist.

Das Thema wird aktuell nicht weiter verfolgt.

1.9. Kraftmessung in Z-Richtung

Das ursprüngliche Konzept für die Erfassung der Durchflussmenge basierte auf einer Kraftmessung. Mit dieser Arbeit [10] sollte ein funktionsfähiges Konzept für die Kraftmessung erarbeitet werden.

Es wurde nachgewiesen, dass die hohen Reibwerte der verwendeten Materialien und die konstruktiv vorhandene Verspannung sich negativ auf das Kraftmessergebnis auswirken. Die Funktionalität des unterbreiteten Lösungsvorschlags konnte nicht nachgewiesen werden.

Dieser Lösungsansatz wird nicht weiter verfolgt.

1.10. Konstruktion von vier Siebträger-Espressomaschinen

Ziel dieser Projektarbeit [11] ist die Konstruktion als auch die Festlegung von Lieferanten für vier verschiedenen Siebträger-Espressomaschinen anhand der vorhandenen Hydraulikpläne mit den vorgegebenen Heizleistungen sowie der unterschiedlichen Kesselgrößen und der Bauraumanforderung für die Steuerungselektronik. Die Hauptaufgabe der Projektarbeit gliedert sich in die verschiedenen Einzelbereiche Druckbehälter mit Isolierung, Brühgruppe und Grundrahmen mit Gehäuse.

Die Konstruktionen der Boiler 3,6 l und 1,8 l konnten nahezu fertiggestellt werden. Allerdings stellte sich kurz vor Abgabe der Arbeit heraus, dass die ursprüngliche Annahme der Heizleistung mit 10 W/cm^2 auf 7 W/cm^2 korrigiert werden muss. Hierdurch werden die Heizelemente länger werden. Die finale Konstruktion der Boiler wird in den Abschnitten 3.4 bis 3.7 definiert.

Für das überdachte Konzept der kalten Brühgruppe liegt durch diese Arbeit eine Konzeptskizze vor.

Erste Entwürfe des Grundrahmens können ebenfalls dieser Arbeit entnommen werden.

2. Abschlussarbeiten in aktueller Bearbeitung

Aktuell befinden sich zwei Themen in der Bearbeitung durch Bachelor-Abschlussarbeiten. Beide Themen sind für den weiteren Fortschritt der Entwicklungen der Modellvarianten von tragender Bedeutung.

2.1. Programmierung der Mischerregelung

Diese Arbeit soll alle erforderlichen Schritte für die Programmierung der Boilerheizung und der Wassermischung klären. Es sollen Programmcodes in Python und/oder MATLAB® erstellt werden, mit denen beispielhaft die Boilertemperatur und die Wassermischerregelung betrieben werden kann.

Das Konzept der labortechnischen espressomaschine sieht vor, dass analog des Zweikreissystems das Heißwasser für den Kaffee- und Teewasserbezug über eine Heizwendel im Dampfboiler erhitzt wird. Die Heizwendel soll so ausgelegt werden, dass eine Boilerausgangstemperatur $> 100\text{ °C}$ des Bezugswassers sichergestellt ist.

Über das Mischverhältnis zwischen Kalt- und Heißwasser wird die gewünschte Bezugstemperatur hergestellt.

Ein AVS Römer Dosierventil, welches sich entweder im Kalt- oder Heißwasserzulauf befindet, soll für die Temperaturmischung sorgen. In der aktuellen Variante wird über ein zweites Dosierventil die Durchflussmenge (Flowrate) beeinflusst. Die Regelung der Flowrate erfolgt im finalen System über die Regelung der DC-Rotationspumpe. An jenem Wasserzulauf, welcher kein Dosierventil beinhaltet, wird im finalen System durch eine Drossel der Durchfluss behindert.

Die Beendigung dieser Arbeit wird für das Sommersemester 2020 angestrebt.

2.2. Elektronikentwicklung

Für die Maschinenbaureihe wird eine modulare Elektronik benötigt.

Als Messwerte sind Temperaturen via NTC-Temperatursensoren, Drücke via AVS Römer Drucksensoren, der Wasserleitwert, der Boilerfüllstand und die Durchflussmenge zu erfassen. Das modulare Konzept umfasst für je zwei Messwerte eine Messwertplatine, welche per Jumper (oder ähnlichem) von NTC-Temperaturmessung via Spannungsteiler auf Spannungsmessung umgestellt werden kann. Das Signalrauschen ist durch Tiefpassfilterung zu beseitigen.

Da Füllstand und Durchflussmenge nicht als Spannungsmesswert erfasst, sondern als digitales I/O Signal direkt oder indirekt dem verwendeten Controller angeschlossen werden, befinden sich diese Signalaufbereitungen auf der sogenannten Basisplatine, welche für jedes System gleich ist. Der Füllstand wird mittels eines Messstabs über Kurzschlussdetektion bestimmt, der Durchfluss bzw. die Flowrate wird anhand eines DIGMESA nano brass erfasst. Für Kurzschlussdetektion und Durchflussmesser sind die Schaltungen noch zu entwickeln.

Sämtliche Magnetventile (220 V 50 Hz bzw. 110 V 60 Hz) werden ausgehend von digitalen Ausgängen des Controllers über Darlington-Schaltungen und Solid-State-Relais (SSR) geschaltet. Eine erste Schaltung hierzu liegt vor. Diese weist jedoch noch Designfehler auf. Jeweils 4 SSRs mit 2 A Laststrom sowie einem Extern-

Anschluss sollen zu einer SSR-Insel zusammengefasst werden. Die SSR-Inseln sollen ebenfalls die Verteilung des elektrischen Leistungsanschlusses übernehmen.

Für die Regelung der Heizleistung der Heizelemente gibt es die Idee, diese über ein niederfrequentes PWM-Signal I/O zu schalten. Alternativ könnte ein Leistungsregler der Fa. Appoldt verwendet werden.

Für die Regelung der Durchflussmenge wird eine Rotationspumpe mit 24 V DC-Motor verwendet. Hierzu ist eine Schaltung für die Drehzahlsteuerung zu entwickeln. Als Sollwertsignal kann ein PWM- oder Analogsignal verwendet werden.

Die Bedienung der Espressomaschinen erfolgt über ein resistives Touch-Display. Die Ausgabe am Display erfolgt über SPI. Wird in horizontaler Richtung 3,3 V (bzw. 5 V) am Touch-Panel angelegt, kann über die Messung der Spannung in vertikaler Richtung die Vertikalposition des „Tastendrucks“ erfasst werden. Die Erkennung der Horizontalposition erfolgt analog dazu durch anlegen einer Spannung in vertikaler Richtung. Die elektrische Beschaltung hierzu ist noch zu entwickeln.

Eine Basisplatine soll wahlweise mit einem Mikrocontroller der dsPIC33-Reihe oder einem Raspberry Pi mit GPIO-Expandershield und AD-Wandler-Shield betrieben werden können.

Auf die Basisplatine sollen Messwertplatinen in der benötigten Stückzahl abgesteckt werden können. Ebenso enthält die Basisplatine die Schaltungen für den Füllstandssensor, die Durchflussmessung, das Sollwertsignal 0 bis 10 V für das Dosierventil sowie den DC-Motortreiber. Als Gleichteil zu allen Systemen enthält die Basisplatine auch den Schaltungsumfang für das resistive Touch-Display. Eine stabile Referenzspannung, als Speisung der NTC-Sensoren und Referenzspannung des im dsPIC33 nutzbaren ADCs muss ebenso enthalten sein wie die 5 V Spannungsversorgung des optionalen Raspberry Pi. Es ist darüber nachzudenken, ob über Bestückungsvarianten der unterschiedliche Leistungsbedarf bei 5 V durch den optionalen Raspberry Pi berücksichtigt wird. Eine geregelte Spannungsversorgung für den dsPIC ist ebenso vorzusehen. Möglicherweise sollte auch diese optional bestückt werden.

Die Beendigung dieser Arbeit wird für das Sommersemester 2020 angestrebt.

3. Offene Bearbeitungspunkte

Über die 10 abgearbeiteten Projekt- und Abschlussarbeiten wurde das Maschinenkonzept inzwischen eindeutig definiert (siehe Abschnitt 3.1).

Der weitere Projektplan sieht nun vor, dass die einzelnen erforderlichen Baugruppen soweit auskonstruiert werden, dass diese bei Bedarf bei den jeweiligen Lieferanten bestellt werden können.

Je eine Variante von „Labor und Röster“, „Home“ und „Style“ soll bis Sommer 2021 als funktionsfähiger Prototyp umgesetzt sein. Die beiden in Bearbeitung befindlichen Abschlussarbeiten sind dabei Bestandteil dieser Strategie.

3.1. Allgemeine Konzeptbeschreibung

Basierend auf der Idee eine Siebträger-Espressomaschine zu entwickeln, mit der alle auf dem Markt befindlichen Siebträger-Espressomaschinen abgebildet werden können, ergeben sich für das Maschinenkonzept gewisse Konsequenzen.

Bislang sind als geschmacksbildende Merkmale einer Siebträger-Espressomaschine bekannt:

a) Die Kaffeewasserbezugstemperatur

Um die Kaffeewasserbezugstemperatur beliebig wählen zu können, prinzipiell auch einen Temperaturverlauf über die Kaffeebezugszeit, wurden mehrere Maßnahmen ergriffen.

Alle mit dem heißen Kaffeewasser in Berührung kommenden Bauteile werden aus Materialien hergestellt, welche eine extrem niedrige Wärmekapazität, verbunden mit einer extrem niedrigen Wärmeleitfähigkeit, aufweisen. Diese Bedingung erfüllen viele hochwertige lebensmittelverträgliche Kunststoffe.

Aufgrund des Maschinendesigns fließt nicht benötigtes Kaffeewasser in den Maschinenüberlauf.

Eine Heißwasserwendel im Dampfboiler stellt für das Kaffeewasser eine Bezugstemperatur $> 100\text{ °C}$ sicher. Über einen PID geregelten Wassermischer (Dosierventil) wird die gewünschte Kaffeewasserbezugstemperatur bzw. deren zeitlicher Verlauf mit hoher Genauigkeit erreicht.

b) Die Durchflussrate des Bezugswassers, bestimmt durch den Mahlgrad des Kaffees und der Kraft des Verpressens (Tamberdruck)

Eine PID geregelte Rotationspumpe mit DC Antrieb stellt die gewünschte Durchflussrate bzw. den zeitlichen Verlauf einer Durchflussrate und hierdurch auch die gewünschte Tassenfüllmenge sicher.

c) Zeitspanne der ersten Benetzung des Kaffeemehls und dem ersten Austreten von Kaffee aus dem Siebträger. Diese Zeitspanne wird als Pre-Infusion bezeichnet.

Jedes Gramm Kaffeemehl nimmt ca. 1 Gramm Wasser auf. Über die PID geregelte Rotationspumpe lassen sich mehrere Szenarien abbilden.

Die Durchflussrate der ersten $X\text{ cm}^3$ Wasser kann bei vordefinierter Masse des Kaffeemehls eine abweichende Größe annehmen.

Während der ersten X *Sekunden* des Kaffeebezugs wird anstelle der Durchflussratenregelung eine Max-Druck-Regelung durchgeführt. Erst nach Überschreiten der gewünschten Preinfusionszeit wird die Durchflussratenregelung aktiv.

Auch Kombinationen dieser Logik sind denkbar. Zu dieser Funktion ist noch Forschung an der zu realisierenden labortechnischen Espressomaschine erforderlich.

Neben dieser grundlegenden Eigenschaft werden weitere Alleinstellungsmerkmale angestrebt.

3.1.1. Schnelles Aufheizverhalten

Die Verordnung der Europäischen Union Nr. 801 von 2013 mit dem Titel „Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte“ fordert von jedem Haushaltsgerät nach 15minütiger ungenutzter Betriebszeit für die Reduzierung des Energieverbrauchs die Schaltung in einen Stand-By-Modus. Derzeit erfüllt keine der auf dem Markt befindlichen Siebträger-Espressomaschinen diese Anforderung der EU. Hintergrund ist, dass marktübliche Siebträger-Espressomaschinen in dieser Zeit noch nicht im betriebsbereiten Zustand sind.

Das technische Problem liegt in der Schichtung des Wassers im Boiler.

Durch die Anomalie des Wassers weist warmes Wasser eine geringere Dichte als kaltes Wasser auf. Dies führt dazu, dass das heißere Wasser sich über das kältere Wasser im Boiler „aufschichtet“. Diese Schichtung des Wassers wird durch die Wärmeleitung des Boilermaterials erheblich zeitversetzt aufgehoben. Durch Umpumpen des kalten Wassers wird die Schichtung des Wassers gebrochen. Hierzu ist eine Kaltwasserzuführung oberhalb des üblichen Wasserstands sowie eine Entwässerungsbohrung des Boilers erforderlich.

Durch die Entschichtungsfunktion während der Aufheizphase soll die tatsächliche Aufheizzeit nahe an der theoretisch berechneten Aufheizzeit liegen. Die theoretisch berechneten Aufheizzeiten für die unterschiedlichen Boiler-Heizelementvarianten betragen:

- 7,2 l 2xZweikreisboiler mit 2x2250 W Heizelement 400 Sekunden
- 7,2 l 2xZweikreisboiler mit 2250 W Heizelement 800 Sekunden
- 3,6 l Zweikreisboiler mit 2250 W Heizelement 400 Sekunden
- 1,8 l Zweikreisboiler mit 1800 W Heizelement 250 Sekunden
- 1,99 l Borosilikatglasboiler mit 1200 W Heizelement 420 Sekunden

3.1.2. Energieeffizienz

Die Energieeffizienz der Stahl-Boilerkonstruktionen werden durch eine 25 mm vollumfängliche Isolationsschicht ohne Wärmebrücken realisiert.

Die Variante mit Borosilikatglasboiler ist in Doppelverglasung ausgeführt. Dies ist neben der Sicherheitsvorkehrung auch eine Verbesserung in der Energieeffizienz.

3.1.3. Verkalkungsschutz

Ein Leitwertsensor erfasst die zugeführte Wasserqualität. Wird Wasser mit zu hoher elektrischer Leitfähigkeit der Espressomaschine zugeführt, so ist dies ein Indiz für zu kalkreiches bzw. anderweitig verschmutztes Wasser.

Überschreitet die elektrische Leitfähigkeit einen Grenzwert, dann erscheint ein Warnhinweis in der Maschinensteuerung/Maschinenanzeige. Der weitere Betrieb der Maschine erfolgt auf Risiko des Anwenders. Das Auftreten des Warnhinweises wird in der Machinenelektronik im Fehlerspeicher abgelegt.

3.1.4. Halbautomatisierte Boilerreinigung bzw. Boilerentkalkung

Trotz sorgfältigen Umgangs mit der Wasserzuführung kann es zu Verschmutzung und Verkalkung des Boilers kommen. Für die Reinigung und Entkalkung des Boilers wird ein halbautomatisierter Reinigungsprozess in der Maschinensteuerung hinterlegt.

Es erfolgt ein Abpumpen des Boilerinhalts. Danach wird über einen Bypass in der Wasserversorgung der Boiler mit einer Reinigungsflüssigkeit befüllt. Über den Füllstandssensor wird 2/3 des Boilervolumens erkannt. Daraufhin wird der Boiler anhand der Durchflussmessung auf 95 % seines Fassungsvermögens weiter befüllt. Je nach Beschaffenheit der Reinigungsflüssigkeit wird der Boiler auf „Reinigungstemperatur“ gebracht.

Nach einer noch zu definierenden Reinigungszeit wird der Boiler wieder entleert. Die Entleerung erfolgt ggf. über die mit einem Blindsieb verschlossene Brühgruppe. Hierdurch wird erreicht, dass die Brühgruppe und alle Leitungen ebenfalls in diesen Reinigungsprozess eingebunden sind.

Nach der Beseitigung der Reinigungsflüssigkeit aus der Maschine erfolgt ein mehrmaliges Durchspülen der Maschine mit kalkfreiem Frischwasser nach dem gleichen Prinzip.

3.1.5. Reinigungsprogramm wie bei vollautomatischen Espressomaschinen

In Siebträger-Espressomaschinen müssen mindestens einmal täglich die öligen Rückstände des Kaffees beseitigt werden. Dies erfolgt über eine „Rückspülung“. Hierzu wird ein Siebträger mit Blindsieb eingespannt. Im Blindsieb befindet sich ein Reinigungsmittel.

Der Ablauf des Reinigungsprozesses wird durch den Controller der Maschine gesteuert. Das Reinigungsmittel wird durch heißes Wasser aufgeweicht und die entstandene Reinigungsflüssigkeit wird durch die verschmutzten Bauteile gefördert. Es erfolgt zudem eine Durchspülung des Systems.

Ob ein Blindsieb eingesetzt ist kann anhand des steigenden Systemsdrucks bei gleichzeitiger „Nullförderung“ erkannt werden. Hierüber kann erkannt werden, ob eine Reinigung mit Rückspülung oder eine einfache Spülung durchgeführt werden soll.

3.1.6. Teewasserbezug mit Wunschttemperatur und Wunschwassermenge

Analog zum Espresso-Bezug ist auch für den Teewasserbezug die Bezugswassertemperatur sowie die Fördermenge frei wählbar.

3.1.7. Remote Controll

Es wird eine Remote Controll realisiert. Zur Realisierung dieser Option ist in der Maschine ein Raspberry Pi erforderlich.

In der Variante „Labor und Röster“ wird über eine MATLAB®-GUI die gesamte Maschinenbedienung realisiert.

In allen anderen Varianten ist die Remote Controll eine Option. Die Remote Controll wird als Web-Applikation mit Anpassung an die unterschiedlichen Größen der Endgeräte realisiert. Die Web-Applikation soll einerseits die Bedienung und andererseits die Profilierung der veränderlichen Parameter der Maschine ermöglichen. Auch die Verwaltung der als Preset zusammengefassten Parametersätze soll über die Web-Applikation ermöglicht werden.

3.2. Kalte Brühgruppe

Zur fertigungstechnischen Vereinfachung ist eine finale Konstruktion der kalten Brühgruppe erforderlich.

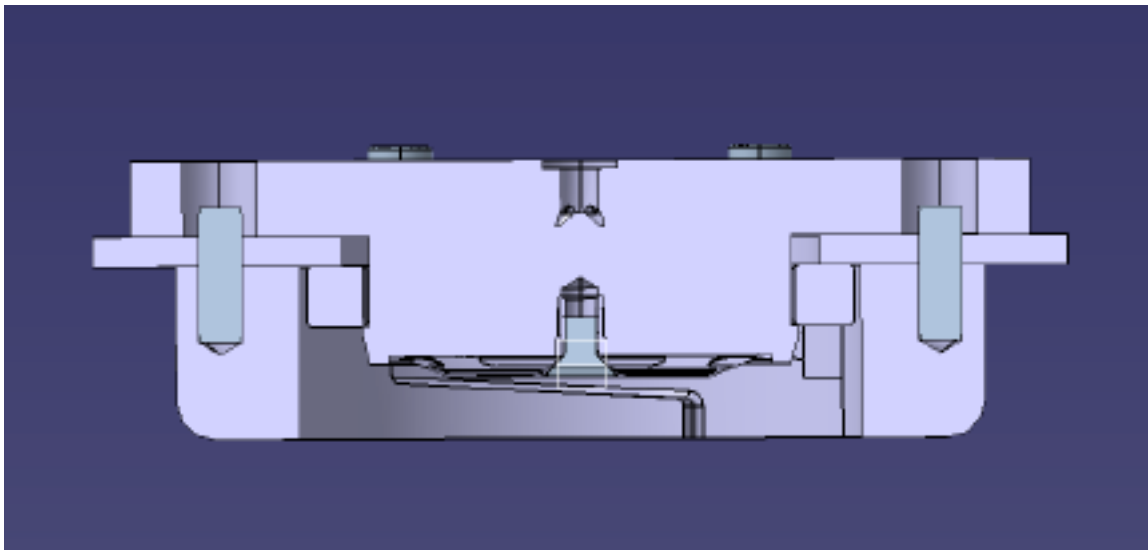


Abbildung 1: Brühgruppen Schnitt, Vladyslav Sosnytskyi

Wie Abbildung 1 zeigt, besteht das finale Konzept der kalten Brühgruppe aus vier Bauteilen. Einem Träger(blech), dem Kunststoffeinsatz, einem äußeren Ring und einer üblichen Brühgruppendichtung.

Das Trägerblech kann Bestandteil des Grundrahmens sein.

Der äußere Ring wird über Abdrehen auf Außen- und Innenmaß gebracht. Im Inneren enthält der Außenring die erforderliche Kontur für die Siebträgeraufnahme. Die Siebträgerkontur wird von der trägerblechseitigen Stirnseite in den Außenring eingefräst. Dies ermöglicht die Nutzung einfacher Werkzeuge und einfacher CNC-Fräsmaschinen.

Der verwendete Dichtring weist gegenüber dem Kunststoffeinsatz Untermaß auf. Was bedeutet, dass er für den Einsatz ein wenig aufgeweitet werden muss. Über das Untermaß des Dichtrings wird die Verlostsicherung realisiert. Dies vereinfacht die Konstruktion des Kunststoffeinsatzes.

Der Dichtring muss rückseitig am Trägerblech abgestützt werden. Nur so lässt sich über den eingespannten Siebträger Druck auf das Dichtsystem ausüben.

Der Außenring wird mittels Schrauben am Trägerblech befestigt. Die ermittelte (jedoch nicht dokumentierte) Umfangskraft $F_{U,max} = 1000 \text{ N}$ wird durch Passstifte aufgenommen.

Der Kunststoffeinsatz aus Polyvinylidenfluorid (PVDF) ist faktisch ein Zylinder mit Flansch. Der Kunststoffeinsatz wird von oben mit dem Trägerblech verschraubt.

Für die Verschraubung der Leitungsanschlüsse und des Duschesiebs müssen Gewindeeinsätze eingebracht werden.

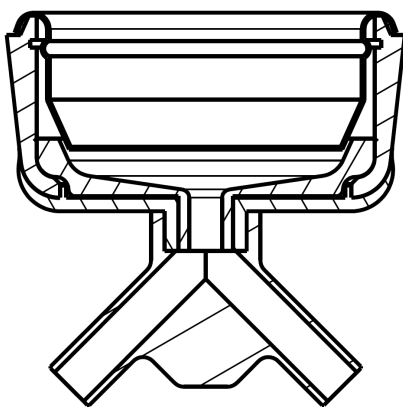
Für den Anschluss von Wasserzuleitung und Rückflussleitung werden gewinkelte AVS Römer ELSA-Anschlüsse verwendet.

Über Bohrungen und Duschesieb wird eine gleichmäßige Verteilung des Kaffeebezugswassers erreicht. Eine Rückflussleitung zum Maschinenüberlauf ermöglicht eine Durchspülung der Brühgruppe.

Die Brühgruppe wird ausgelegt für den Standard-E61-Siebträger.

3.3. Kalter Siebträger

In konsequenter Weiterführung der Anforderung nicht unnötig Wärme dem Kaffeebezugswasser bzw. des Kaffees zu entziehen (oder hinzuzufügen), ist auch im Siebträger der Kontakt zwischen (dann) Kaffee und den metallischen Bauteilen zu minimieren.



Ein noch zu definierender bodenloser Siebträger wird um drei Bauteile erweitert. Dieser erhält eine innere Kunststoffeinlage und eine äußere, der Kontur des Siebträgers angepasste, Gegenschale. Gehalten wird dies durch die Verschraubung mit dem Auslaufstutzen, (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Konzeptstudie kalter Siebträger, Katrin Lecheler

3.4. 3,6l Zweikreisboiler

In [11] wurde der 3,6 l Zweikreisboiler soweit entwickelt, dass nur noch wenige Anpassungen erforderlich sind, um eine Bestellung von Prototypenbauteilen auslösen zu können. Erste Prototypenbauteile sollen zeitnah in Auftrag gegeben werden.

Als Lieferant ist für alle Stahlboiler die Firma Giorgi S.r.l. definiert.

Die Heizleistung für diesen Boiler ist auf 2250 W definiert. Das Heizelement ist mit einer Flächenleistung von 7 W/cm^2 auszulegen und mittels Verschraubungshülsen am abnehmbaren Deckel des Boilers zu befestigen. Es ist eine Heizelementvariante mit $2 \times 1125 \text{ W}$ zu konzipieren.

Die Firma HKE-tec ist hier als Lieferant definiert.

Es wird eine Wasserwendel für das Aufheizen des Kaffeebezugswassers benötigt. Diese ist so auszulegen, dass bei 400 K Boiler temperatur (ca. 1,3 bar Boilerdruck) eine Wasseraustrittstemperatur von 278 K erreicht wird. Nach [15] müsste die Wasserwendel eine Länge von 1 m annehmen. Die Befestigung am Boilerboden oder Boilerdeckel ist derzeit undefiniert.

Für die Wasserwendel ist noch kein Lieferant definiert.

Alle Stahlboiler sind durch eine vollumfängliche 25 mm Armaflex-Isolierung gegen Wärmeverlust zu schützen.

3.5. 7,2 l 2xZweikreisboiler

Für die Maschinenvariante Barista ist ein 7,2l Zweikreisboiler vorgesehen. Dies soll erreicht werden, indem der 3,6l Zweikreisboiler in doppelter Länge mit zwei verschraubten Deckeln und zwei Heißwasserwendeln verwendet wird. Kommt die Heizelementvariante $2 \times 1125 \text{ W}$ beim 3,6 l Zweikreisboiler zustande, so kann die angedachte Heizleistung von 4500 W durch $4 \times 1125 \text{ W}$ erreicht werden.

Optional soll dieser Zweikreisboiler mit halber Leistung betrieben werden können. Hierdurch wäre ein Anschluss an die übliche 230V 16A Energieversorgung möglich. Die dann doppelte Aufheizzeit ist im Barbetrieb verkraftbar. Die hohe Anschlussleistung wird lediglich für die kurze Aufheizzeit benötigt. Im Betrieb ist durch die geringe Wärmeabnahme und gute Isolierung (siehe Abschnitt 3.4) kaum Heizleistung erforderlich.

Die weiteren Definitionen sind analog des 3,6 l Zweikreisboilers anzuwenden.

3.6. 1,8 l Zweikreisboiler

Die Systemvariante „Home“ verfügt über einen 1,8 l Zweikreisboiler und wird mit einem 1800 W Heizelement innerhalb (theoretisch) 250 Sekunden in Betriebsbereitschaft gebracht.

Dieser Boiler unterscheidet sich von der 3,6 l Variante lediglich im Volumen und der Heizleistung. Alle anderen Definitionen sind Abschnitt 3.4 zu entnehmen.

3.7. 1,99 l Borosilikat-Zweikreisboiler

In [7] wurde die grundlegende Auslegung eines Borosilikatboilers durchgeführt. Stand 22. März 2020 wurde durch [8] die Machbarkeit eines solchen Boilers nachgewiesen. Aktuell fehlt im Nachweis lediglich die Befuerung.

Basierend auf den Erkenntnissen aus [8] soll ein Borosilikatglasboiler $< 2 \text{ l}$ mit einer Heizleistung von 1200 W für eine theoretische Aufheizzeit von 420 Sekunden entwickelt werden.

Hintergrund der 2 l -Grenze ist die Druckbehälterverordnung. Hier gelten für Druckbehälter ab 2 l andere, erheblich strengere, Auslegungsvorschriften als bis zu dieser Grenze. Glas als Druckbehälterwerkstoff ist ein Sonderfall, welcher in der Druckbehälterverordnung nicht in allen Abschnitten eindeutig behandelt wird. Daher wird durch Einhaltung der 2 l -Grenze eine Auslegung nach „bestem Ingenieurwissen des jeweiligen Landes“ durchgeführt. Soweit möglich, soll in der Auslegung die strengere Vorschrift Anwendung finden.

Die tatsächlich angestrebte Aufheizzeit muss durch Versuche bestätigt werden. Die dahinterliegende Problematik ist, dass durch kurze Aufheizzeiten ein Temperaturgefälle zwischen Boilerinnerem und Boileräußerem entsteht, welches zu Thermospannungen führt. Im Maximum darf die Summe aus Druckspannung + Thermospannung im gefährdeten Punkt des Boilers $\approx 7 \text{ N/mm}^2$ nicht überschreiten. Näheres dazu in [7].

In [8] wurde gegenüber der Grundkonstruktion das System der Vorspannung und Druckkraftableitung von Dehnschrauben auf Federelemente umgestaltet. Die Vorspannung über Federelemente soll beibehalten werden. Die zugehörigen Verschraubungen sollen in Deckel und Boden versenkt werden.

Ebenfalls wurde in [8] festgestellt, dass für nahezu jede Durchführung durch den Boilerboden eine Durchführungshülse konstruiert und gefertigt werden musste.

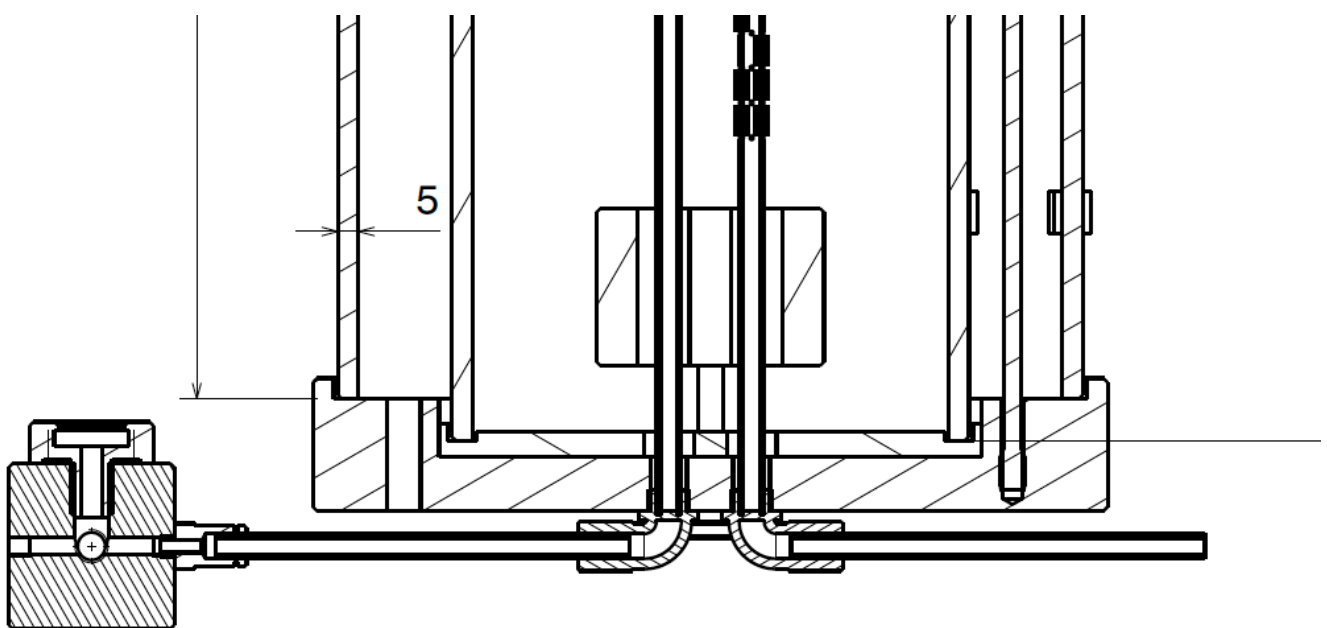


Abbildung 3: Ausschnitt des in [7] beschriebenen Borosilikatboilers, Tobias Tritschler
Dipl.-Ing. Armin Rohnen LbA
Fakultät 03
Labor für Schwingungstechnik und Maschinendynamik

Wie Abbildung 3 zeigt, besteht das ursprüngliche Dichtungskonzept darin, dass das Glasrohr über eine PTFE-Dichteinlage im Boden und im Deckel abgedichtet wird. Um hier Dichtheit zu erreichen sind jedoch hohe Verspannkraften erforderlich.

In [8] wurde das Dichtkonzept dahingehend geändert, dass zwischen PTFE-Einlage und Glasrohr ein X-Dichtring eingelegt wird. O-Ring und X-Ring sind Dichtungselemente welche mit geringen Vorspannkraften auskommen. Die Dichtwirkung wird durch Ausnutzung des Druckunterschiedes zwischen Innen und Außen erreicht.

Für den Deckel kann das in [8] angepasste Dichtungskonzept weiter verwendet werden. Im Deckel befinden sich keine Durchführungen durch die PTFE-Einlage. Daher kann dies so beibehalten werden.

Im Boden befinden sich die Durchführungen für

- Befüllung
- Entwässerung
- Dampfpflanze (soll gleichzeitig Füllstandssensor sein)
- Heizelement
- Heißwasserwendel
- Temperatursensor

Damit ist mit bis zu acht, ggf. neun, Durchführungen zu rechnen, welches die thermische Isolierung der PTFE-Einlage hinfällig macht.

Ein Lösungsansatz ist, anstelle der PTFE-Einlage, die den Gesamtboden abdeckt, lediglich einen Ring aus PTFE zu verwenden. Dieser Ring enthält oberseitig die Nut für den X-Dichtring zur Abdichtung gegenüber dem Glasrohr. Oberseitig muss der PTFE-Ring das Glasrohr aufnehmen, führen und zentrieren. Es ist sicher zu stellen, dass das Glasrohr nicht gegen das Messing gedrückt wird. Unterseitig wird ebenfalls eine Nut mit X-Dichtring vorgesehen, welche gegenüber dem Messingboden abdichtet.

Alle Durchführungen können dann als Einschraublösungen in den Boden ausgeführt werden.

Die Helix der Heißwasserwendel ist so zu dimensionieren, dass innerhalb der Wasserwendel das Heizelement positioniert wird. Die Heißwasserwendel soll aus poliertem Edelstahl hergestellt werden. Der Boden wird von außen mittels 25 mm Armaflex-Isolierung gegen Wärmeverlust geschützt.

3.8. Grundrahmen Variante Labor

Durch [11] liegt ein erster Vorschlag für einen Grundrahmen vor. Basierend auf den dort durchgeführten Überlegungen und Vorbereitungen soll ein Grundrahmen für die Variante Labor erstellt werden.

Die Variante „Labor und Röster“ enthält keine Anzeige- und Bedienelemente. Neben der Standardelektronik muss ein Raspberry Pi in der Maschine untergebracht werden. Inwieweit die in [11] vorgesehenen Abschirmbleche und -gehäuse tatsächlich erforderlich sind, muss über die Erprobung ermittelt werden. Abschirmungen sind daher vorzuhalten, werden jedoch zunächst nicht verbaut.

Die Brühgruppe ist freischwebend anzuordnen. Dadurch wird der eigentliche Grundrahmen ein Kubus ohne Balkon.

Anzustreben ist ein Grundrahmen aus Edelstahl mit möglichst wenigen Verschraubungen oder Schweißnähten/Schweißpunkten. Es bietet sich an, den Grundrahmen aus wenigen Einzelteilen durch Faltung herstellen zu lassen.

Die Variante „Labor und Röster“ wird ausschließlich mit Festwasseranschluss angeboten. Ein Wassertank ist demnach nicht erforderlich.

Die erforderliche Abtropfwanne soll ein Gleichteil zu den Varianten Home und Style sein.

In der Abarbeitung bietet sich an, ausgehend vom Boiler und der Verrohrung, die Lage der Magnetventile und Sensoren zu definieren. Die Magnetventile sollten am Grundrahmen verschraubt werden. Wenn dieses erfolgreich durchgeführt ist, können die restlichen Bauteile um den Boiler herum in logischer Abfolge positioniert werden. Erst ganz zum Schluss ergibt sich dann der Grundrahmen.

Es ist auf Wartungsfreundlichkeit zu achten.

3.9. Grundrahmen Variante Barista

Für den Grundrahmen der Variante „Barista“ bestehen gleiche Anforderungen wie an die Variante „Labor und Röster“. Für die Bedienung werden zwei resistive Touch-Displays verwendet. Diese sind auf der „Brücke“ zur Brühgruppe zu positionieren.

Für die Positionierung des Boilers bietet sich der Quereinbau an. Auch in dieser Variante ist kein Wassertank erforderlich.

3.10. Grundrahmen Variante Home

Die Variante „Home“ unterscheidet sich von der Variante „Labor und Röster“ durch den kleineren Boiler, dem lediglich optionalen Festwasseranschluss und der Bedieneinheit.

Es ist demnach ein Wassertank aus Edelstahl vorzusehen. Der Wassertank soll für die Befüllung zumindest jedoch für die Reinigung aus der Maschine entnommen werden können. Eine Platzierung faktisch unterhalb der Maschine wäre denkbar. Der Wassertank muss fest mit der Maschine verbunden sein, er darf also nicht lose neben oder unter der Maschine liegen oder stehen.

Für die Bedienung wird ein resistives Touch-Displays verwendet, welches auf der „Brücke“ zur Brühgruppe zu positionieren ist.

3.11. Grundrahmen Variante Style

An den Grundrahmen der Variante „Style“ werden die gleichen Anforderungen gestellt wie an die Variante „Home“. Der Borosilikatglasboiler soll deutlich wahrnehmbar aus der Maschine herausragend positioniert werden.

3.12. Tassenwärmer

Durch die hohe Energieeffizienz entsteht so gut wie gar keine Abwärme an der Maschine. Auf der Ablagefläche der Maschine abgelegte Tassen werden demnach nicht aufgewärmt. Um eine Tassenwärmung zu ermöglichen, ist eine technische Lösung erforderlich. Vorzugsweise soll Dampf zur Tassenwärmung verwendet werden.

Erschwert wird eine Lösungsfindung durch die Patentschrift [16]. Hierin wird eine Vorrichtung zum Erwärmen eines Trinkgefäßes beschrieben, welche sehr nahe an der Ursprungslösung der FAEMA E61 ist. Diese hatte ein Dampfrohr, welches Dampf direkt unter die darüber abgelegten Tassen ausströmen ließ. Wesentliches Merkmal der Patentschrift scheint ein Dampfverteerraum zu sein (was zu prüfen ist).

Denkbar ist eine Lösung die wie eine umgedrehte Dampfzange aussieht und ohne Dampfverteerraum auskommt. Sicher zu stellen ist, dass eine zufällige Bedienung der Tassenwärmung ausgeschlossen ist.

3.13. Abtropfwannen

Die Varianten „Labor und Röster“, „Home“ und „Style“ sollen baugleiche Abtropfwannen erhalten. Diese sollen aus Edelstahl hergestellt werden. Für den teilweise optional vorhandenen Festwasseranschluss ist zu beachten, dass darin auch optional ein Abwasseranschluss enthalten ist.

Für die Variante „Barista“ ist zu prüfen, ob eine eigenständige Abtropfwanne erforderlich ist.

3.14. Gehäusevariationen

Abhängig der Grundrahmenkonstruktionen wird zu einem späteren Zeitpunkt über Gehäusevariationen diskutiert werden.

Im aktuellen Entwicklungsstand werden die Prototypen entweder ganz ohne Gehäuse oder durch Glasplattenverblendung realisiert.

3.15. Messsystem zur Erfassung der relevanten Betriebsparameter

Zur Bestimmung der relevanten Betriebsparameter soll ein Mess-System für Siebträger-Espressomaschinen entwickelt werden, welches die Parameter Durchfluss, Druck- und Temperaturverlauf ermittelt.

Für die Durchflussmessung stehen zwei Varianten eines Flowmeters der Fa. Digimesa zur Verfügung. Die Durchflussmessung soll pumpennah erfolgen.

Für die Druck- und Temperaturmessung stehen Sensoren der Fa. AVS Römer zur Verfügung. Bei Bedarf können auch andere Sensoren verwendet werden. Der AVS Römer Drucksensor liefert ein Messsignal 0 bis 5 V während der Temperatursensor als NTC ausgeführt ist und noch beschaltet werden muss.

Als Drücke sind zu ermitteln der pumpennahe Systemdruck sowie der Druck der auf den Kaffeepuck im Siebträger wirkt. Ebenso ist die auf dem Kaffeepuck anliegende Temperatur zu ermitteln.

Die beschriebene Sensorik wird bereits in anderem Zusammenhang eingesetzt, so dass auf bestehende Schaltungen für die Signalaufbereitung zurückgegriffen werden kann.

Das Mess-System soll auf Raspberry Pi Basis in Verbindung mit MATLAB® erstellt werden. Alternativ denkbar wäre eine PIC-Lösung bzw. über einen MATLAB® kompatiblen I2C/SPI-Host-Adapter.

3.16. Programmierung labortechnische Espressomaschine

Im ersten Schritt zur späteren Bedienung soll ein detailliertes Konzept entwickelt, beschrieben und als MATLAB®-GUI demonstriert werden.

Die einzelnen Maschinenkonzepte unterscheiden sich in Funktionsumfang und technischer Ausstattung. Das (unvollständige) Maximum der angestrebten Funktionen ist beschrieben mit:

- freier Temperatureinstellung ggf. Temperaturverlauf und Menge des Kaffeebezugswassers
- freier Temperatureinstellung ggf. Temperaturverlauf und Menge des Teewassers
- freier Boilerdruck (bis zu einem Grenzwert)
- freie Gestaltung der Preinfusionszeit und des Preinfusionsvorlaufes (Füllgeschwindigkeit der Todwassermenge zum Sättigen des Kaffees)
- freie Gestaltung des Kaffeebezugs in Durchflussmenge je Sekunde bzw. Durchflussmengenverlauf
- Aktion Kaffeebezug 1 Tasse
- Aktion Kaffeebezug 2 Tassen
- Aktion Tassenwärmung
- Aktion Dampf
- Aktion Teewasserbezug
- Aktion Spülung (ohne Druckaufbau Brühgruppenspülung, mit Druckaufbau Maschinenreinigung)
- Presets abgeleitet aus der Vermessung im Markt befindlicher Espressomaschinen
- Abspeicherung von Presets welche aus Kaffeebezug hervorgegangen sind

Für die Wassermischung, Boilerdruck und Durchflussrate werden PID-Regelkreise benötigt.

In der labortechnischen Espressomaschine wird ein Raspberry Pi als Controller eingesetzt. Auf der Basisplatine der Elektronik entfällt in dieser Variante der PIC-Mikrocontroller.

3.17. Bedienungskonzept und Programmierung

Die PID-Reglungen für die Wassermischung, Boilerdruck und Durchflussrate werden durch den PIC-Mikrocontroller realisiert.

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

Eine Schnittstelle zu einem übergeordneten System ist vorzusehen.

Sobald die Programmierung der labortechnischen Espressomaschine in einer ersten Variante vorliegt, wird dieser Punkt näher definiert.

4. Literatur / Quellen

1. Kilian Stach, Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine, Bachelor-Thesis, 2018
2. Rawad Alshikh, Frank Hadwiger, Timo Sieber, Inbetriebnahme der Labor-Espressomaschine, Projektarbeit, 2018
3. Johann Siegl, Schaltungstechnik- Analog und gemischt analog/digital, 2. Auflage Springer Berlin Heidelberg New York, 2005
4. Matthias Kretzschmar, Joshua Bauske, Christoph Binder, Simulationsmodell einer Siebträger Kaffeemaschine, Projektarbeit, 2018
5. Marc Arendt, Neukonstruktion einer Kaffeemaschinenbrühgruppe, Bachelorarbeit 2018
6. Fabian Deiser, Felix Müller, Stefan Sellmaier, Johannes Amann, Inbetriebnahme und Vorbereitung zur Erprobung der kalten Brühgruppe für eine labortechnische Espressomaschine, Projektarbeit 2019
7. Tobias Tritschler, Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine, Bachelorarbeit 2019
8. Sebastian O'Reilly, Florian Fritz, Tim Kittelmann, Johannes Kastner, Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung an einem Borosilikatdampfboiler 2020
9. Sebastian Bitzinger, Lorenz Fricke, Marinus Winhart, Konstruktion einer kalten Brühgruppe nach dem E61 Prinzip, Projektarbeit 2019
10. Andreas Boeck, Ludwig Laurent, Marcel Seibold, Kraftmessung in Z-Richtung, Projektarbeit 2019
11. Melissa Schütz, Moritz Albrecht, Vladyslav Sosnytskyi, Konstruktion von vier Siebträger-Espressomaschinen, Projektarbeit 2020
12. Erich Weidler, Armin Rohnen, Erfindung Espressomaschine mit kalter Brühgruppe, Erfindungsmeldung 2019
13. Armin Rohnen, Hydraulikplan mit Entschichtung, 2019
14. VERORDNUNG (EU) Nr. 801/2013 Festlegung von Ökodesign- Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte
15. Formelsammlung und Berechnungsprogramme Anlagenbau, <https://www.schweizer-fn.de/>, gesehen am 22.03.2020
16. Vorrichtung zum erwärmen eines Trinkgefäßes, Patentschrift EP 1 878 369 A1, Anmeldetag 14.07.2006