



Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik

Funktionsanalyse zur halbautomatischen Entkalkung der Espresso-
maschine

Betreuer: Dip.-Ing. A. Rohnen

Datum: 18.05.2020
Zeit: 10:00

Name:

Alexander Egger

Matrikel-Nr.:

21944216

Inhalt

1. Abkürzungsverzeichnis/normgerechte Bezeichnung	3
2. Einleitung	4
3. Verkalkung/Entkalkung im Allgemeinen.....	4
3.1 Was ist Kalk?.....	4
3.2 Verkalkung.....	4
3.3 Entkalkung.....	5
4. Halbautomatisierte Entkalkung der Espressomaschine	5
4.1 Verkalkungsschutz.....	5
4.2 Funktionsweise.....	5
4.2.1 Aktueller Konzeptstand	5
4.2.2 Funktionsweise mit Hilfe der Bauteile/Komponenten.....	7
4.2.3 Steuerungselektronik und -software	8
5. Fazit.....	10

1. Abkürzungsverzeichnis/normgerechte Bezeichnung

Q	Schalter und Schütze
Y	Ventile
X	Steckverbindungen
F	Sicherungen
R	Widerstände
B	Boiler
Si	Blindsieb
M	Motor
H	Heizelement (neu getauft für diesen Bericht)
BT	Temperatursensor
BP	Drucksensor
BW	Kraftsensor (Wägezelle)
BFS	Füllstandsensoren
BDF	Durchflusssensoren (neu getauft für diesen Bericht!)
BLF	Leitfähigkeitssensoren (neu getauft für diesen Bericht!)
UF	Unterfunktion
EF	Elementarfunktion
°dH	Grad deutscher Härte
SSR	solid state Relay

2. Einleitung

Aufgrund des Interesses am Geschmack Espresso und der damit assoziierten klassischen Siebträgermaschine wird seit 2016 unter der Aufsicht und Leitung A. Rohnens zusammen mit der Kaffeewerkstatt München eine innovativere, individualisierbarere und energie-/zeiteffiziente Neuaufgabe einer solchen Maschine entwickelt.

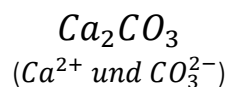
Durch die schon sehr ausgereiften 4 Typen der Baugruppenmodularen (Labor und Röster, Bar und Barista, Home, Style) Maschine lassen sich verschiedene Funktionen übergreifend definieren, erklären und optimieren. Um dies zu umzusetzen besteht im Rahmen der Vorlesung „Absicherung von Fzg-Funktionen“ die Aufgabenstellung eine FMEA (Failure Mode and effects Analysis, zu dt. Fehlermöglichkeitsanalyse) bzgl. der labortechnischen Espressomaschine durchzuführen.

Mit diesem Bericht soll die **Funktionsweise der halbautomatischen Entkalkung** spezifiziert erklärt und zusammengefasst werden. Ebenso soll das Thema nicht isoliert behandelt werden, sondern alle mitwirkenden Bauteile und Komponenten bedürfen Erläuterung.

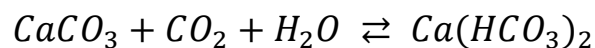
3. Verkalkung/Entkalkung im Allgemeinen

3.1 Was ist Kalk?

„Kalk“ bzw. fachlich **Calciumcarbonat** ist eine chemische Verbindung der Elemente Calcium, Kohlenstoff und Sauerstoff.



Diese Verbindung wäre so jedoch nicht in Wasser löslich, dafür benötigt es gelöstes Kohlenstoffdioxid. Auf diesem Effekt beruht die Verwitterung von Kalkgestein welcher mit sich bringt, dass jedes Gewässer weltweit (inklusive unseres Grundwassers, welches der Ursprung unseres Leitungswassers ist) in gewisser Weise „verkalkt“ ist.



Im Wasser wird die Konzentration von Calciumcarbonat in Deutschland mit „Grad deutscher Härte“ angegeben – auch für Leitungswasser!

Hierfür gilt:

$$1 \text{ °dH} = 10 \text{ mg/l CaO} \text{ oder } 17.85 \text{ mg/l Ca}_2\text{CO}_3$$

3.2 Verkalkung

In Abhängigkeit des Gehalts von Erdalkalien von Wasser (Calcium, Magnesium) sowie der gebundenen Kohlensäure, Wassertemperatur und des pH-Wertes kann es besonders in Warmwassersystemen zu starken Kalkablagerungen kommen.

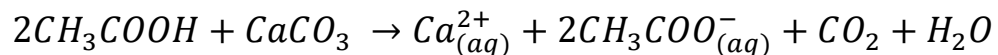
Durch Erwärmung des Wassers wird die Kohlensäure (H_2CO_3) ausgetrieben, womit der sog. Kalk-Kohlensäure-GGW-Zustand erlischt und es zwangsläufig zur Kalkausfällung kommt.

Damit diese Kalkausfälle Ablagerungen bilden können sind sogenannte Kristallisationskeime (welche die dauerhafte Mineralisierung ermöglichen) notwendig. Diese Keime können chemischen und/oder biologischen Ursprungs sein.

Durch die Ablagerung des wasserunlöslichen Calciumcarbonats (Kalk) wird die Wärmeübertragung (z.B. an den Heizstäben) behindert, ebenso können die unlöslichen Kalkpartikel ihre Haftung verlieren und so im Sieb bzw. in der Kaffeetasse landen. Abgesehen von dem unangenehmen Beigeschmack wäre dies unvorteilhaft für die Energieeffizienz, das Prestige und sämtliche Bauteillebenszeiten.

3.3 Entkalkung

Nachdem sich nun der wasserunlösliche Kalk an den Wänden etc. abgesetzt hat, ist durch Zuführen von Säure möglich, die Wasserlöslichkeit von Calciumcarbonat (Kalk, Ca_2CO_3) zu erhöhen. Die in der sauren Lösung enthaltenen protonierten Wassermoleküle H_3O^+ geben Protonen an das Carbonat Ion CO_3^{2-} ab. Dadurch entsteht wieder Kohlensäure H_2CO_3 , welche wieder wie ursprünglich zu Wasser und Kohlendioxid zerfällt. Gleichzeitig bilden die Calcium Ionen Ca^{2+} mit dem Anion der Säure ein wasserlösliches Salz.
Reaktionsgleichung an Beispiel der Essigsäure:



→ Essigsäure + Kalk → wasserlösliches Calciumacetat (Calcium Ionen + Acetat Anionen) + Kohlendioxid (gasförmig; entweicht) + Wasser

Jedoch ist je nach Anwendung zu unterscheiden welches Mittel als Entkalker dienen soll, da z.B. Essigsäure an Metallen Korrosion und an Dichtungen Beschädigungen hervorführen kann.

Hierbei kann angemerkt werden, dass es zwingend notwendig ist, die Reinigungsflüssigkeit für die espressomaschine im Vorhinein zu definieren (nach entsprechender Forschungsarbeit) um Folgeschäden zu vermeiden und für Garantiefälle gewappnet zu sein.

4. Halbautomatisierte Entkalkung der espressomaschine

4.1 Verkalkungsschutz

Um grobe Verkalkungen und zu häufige Entkalkungen vorzubeugen, wird in der espressomaschine ein sog. Verkalkungsschutz realisiert. Dieser funktioniert mit Hilfe eines Leitwertsensors, welcher die zugeführte Wasserqualität anhand der elektrischen Leitfähigkeit erfassen kann. Wird z. B. Frischwasser mit zu hoher elektrischer Leitfähigkeit der Maschine zugeführt, so ist dies ein Hinweis auf zu kalkreiches bzw. anderweitig verschmutztes Wasser. Der Leitwertsensor (von Fa. ASV Römer) misst somit stetig die Leitfähigkeit des Eingangswassers. Wird nun ein (definierter) Grenzwert überschritten, soll ein Warnhinweis in der Maschinensteuerung/Maschinenanzeige erscheinen. Somit erfolgt ab sofort der weitere Betrieb der espressomaschine auf Risiko des Betreibers, und die Meldung wird im Fehlerspeicher abgelegt (eventuell hilfreich für spätere Garantie/Gewährleistungsansprüche). Als Anhaltspunkt empfiehlt ein Ratgeber¹⁰ 8°dH nicht zu unterschreiten, da sonst der Geschmack in Mitleidenschaft gerät.

5



4.2 Funktionsweise

4.2.1 Aktueller Konzeptstand

Aktueller Konzeptstand laut Status-Datei (vom 23.03.2020):

Zu aller erst muss der Boiler abgepumpt (**1. UF**) werden. Anschließend wird über einen Bypass (in der Wasserversorgung) anstatt Frischwasser eine spezielle Reinigungsflüssigkeit eingeführt (**2. UF**). Diese Flüssigkeit befüllt den Boiler auf 95% seines Fassungsvermögens (auf die Mess-/Regelungstechnik wird später eingegangen). Je nach Beschaffenheit der Reinigungsflüssigkeit muss anschließend noch temperiert werden (**3. UF**).

Um eine Entkalkung zu gewährleisten muss die Flüssigkeit einwirken (**4. UF**) und wird daher erst nach einer (noch zu definierenden) Zeit wieder aus dem System ausgeleitet.

Hierfür erfolgt die Entleerung über die mit einem Blindsieb verschlossene Brühgruppe um alle Leitungen und Komponenten in den Reinigungsprozess mit einzubinden (5. UF). Nachdem die Reinigungsflüssigkeit aus der Espressomaschine ausgeführt wurde muss ein mehrmaliges Durchspülen (mit Frischwasser) erfolgen um eventuelle Rückstände zu beseitigen (6. UF).

Somit ergibt sich folgende schematische Analyse der Funktion:

Für die **Hauptfunktion** „halbautomatische Entkalkung“ fungieren stand jetzt **6 Unterfunktionen**. ~~Ebenso können zu den genannten Unterfunktionen noch x Elementarfunktionen hinzukommen, dies wird zur Veranschaulichung nun in einer Tabelle aufgezeigt.~~

Tabelle 1: Hauptfunktion, Unterfunktion, Elementarfunktion

Hauptfunktion	Unterfunktion	Elementarfunktion
Halbautomatische Entkalkung	Boiler abpumpen (→ 0)	Ventile [Y02 + Y04] öffnen
		Durchflussmessung [BDF]
		Pumpe steuern [M]
		Füllstandsmessung [BFS]
	Boiler definiert (über-)befüllen [auf 95%] mit Reinigungsflüssigkeit	Ventile [Y01 + Y03] öffnen
		Durchflussmessung [BDF]
		Pumpe steuern [M]
		Füllstandsmessung [BFS]
	Boiler auf (Reinigungs-)Temperatur bringen (noch zu definieren)	Ventile [Y02 + Y03] öffnen
		Pumpe steuern [M]
		Temperaturmessung (BT)
		Heizung steuern [H]
	Einwirkzeit (noch zu definieren)	Zeitmessung (wird rein per Software realisiert)
	Boiler über Brühgruppe entleeren (damit alle Leitungen gereinigt werden)	Ventile [Y02, Y06, Y07, Y08] öffnen
		Ventil Y10 schließen
		Durchflussmessung [BDF]
		Pumpe steuern [M]
		Füllstandsmessung [BFS]
	Boiler spülen (Schleife)	Boiler abpumpen (UF als EF → EFen nun um eine Ebene verschoben)
		Boiler definiert befüllen (UF als EF analog)

Besonderheiten gibt es bei der 6. Unterfunktion „Boiler Spülen“. ~~Diese könnte theoretisch als Hauptfunktion geführt werden, da die Funktion den Boiler mehrmals (der Schleife geschuldet) abpumpt und befüllt.~~ Da das Boiler abpumpen und befüllen bereits definierte Unterfunktionen sind, benötigt es zur Ausführung keine neuen Definitionen anhand von Elementarfunktionen.

Zum Verständnis der Funktionsweise werden im kommenden Kapitel nun die Bauteile hinzugezogen.

4.2.2 Funktionsweise mit Hilfe der Bauteile/Komponenten

In Kapitel 4.2.1 wurde anhand der Tabelle eine Übersicht geschaffen, wie die Hauptfunktion „halbautomatische Entkalkung“ gekoppelt mit ihren Unter- und Elementarfunktionen zusammenhängt.

Um nun die **aktiven** Bauteile/Komponenten miteinzubeziehen wird folglich zum einen die Funktionsweise des benannten Bauteils erläutert und zum anderen das Zusammenspiel der einzelnen Elementarfunktionen (bzw. das Funktionieren der einzelnen Komponenten) aufgezeigt.

Der erste Schritt (**1. UF**) der halbautomatischen Entkalkung ist das Abpumpen des Boilers. Hierfür müssen die Magnetventile Y02 und Y04 angesteuert werden (auf das Controlling im Allgemeinen wird in einem späteren Punkt eingegangen). Sobald beide Ventile auf „offen“ stehen und die Pumpe M eingeschaltet wird, muss nun nur noch gemessen werden, wann das Nullniveau erreicht ist. Die Füllstandsmessung erfolgt durch den Füllstandssensor, welcher einen Füllstand ($h_{def} = 2/3$ des Boilervolumens) per Kurzschlussdetektion ermittelt. ~~Um das Nullniveau zu tracken wird nun mit Hilfe der Durchflussmessung das Delta von h_{def} zu 0 bzw. die damit verbundene Pumpleistung geregelt. Bei der Durchflussmessung über den Durchflusssensor BFS (Fa. Digimesa, nano brass) werden je nach Durchflussmenge die Anzahl der übermittelten Impulse (Rate: 39000 Impulse/l) am Controller gezählt. Sobald keine Impulse mehr gezählt werden (Boilervolumen $\rightarrow 0$) wird die Pumpe deaktiviert (Schutzmaßnahme). Dasselbe Prinzip gilt analog für die Regelung der Differenz von h_{def} und 95% des Boilervolumens (Boiler definiert überbefüllen; 2. UF) sowie bei der endgültigen Entsorgung der Reinigungsflüssigkeit und das damit verbundene Abpumpen des Boilers auf 0 (Boiler über Brühgruppe entleeren; 4. UF).~~

Danach wird der Boiler definiert (über-)befüllt auf die vordefinierten 95% (**2. UF**). Die Funktionsweise ist analog zu UF 1, nur dass die Magnetventile (Y01 & Y03) geöffnet werden müssen und die Pumpe anhand der berechneten (benötigten) Durchflussmenge (Durchflussmessung) geregelt wird.

Als nächstes muss, um die Kraft des Reinigers zu entfalten, der Boiler bzw. die Reinigungsflüssigkeit erhitzt werden (**3. UF**). Um die dafür definierte Temperatur regeln zu können wird zum einen der Temperatursensor BT benötigt, welcher als NTC-Widerstand (Wärmeleiter, wärmeabhängiger el. Widerstand) verbaut wird, ~~und zum anderen eine entsprechende Heizleistung benötigt (Heizung steuern).~~ Um dem Effekt der Schichtung entgegen zu wirken, wird das Konzept der Wasserumwälzung genutzt. Hierfür müssen zeitabhängig die Magnetventile Y02 und Y03 geöffnet sowie die Pumpe gestartet werden.

Die Einwirkzeit (**4. UF**) kann softwaretechnisch gesteuert werden.

Um die Reinigung möglichst flächendeckend zu gestalten wird die Flüssigkeit über die Brühgruppe entleert (**5. UF**). Das Kaltwasserventil und die Warmwasserdüse werden angesteuert, damit die Flüssigkeit beide Leitungen inkl. dem Mischer durchfließt. Durch Einsetzen eines Blindsiebs in die Brühgruppe und Öffnen der Magnetventile Y02, Y06, Y07 (zeitabhängig), Y08 und Y09 (zeitabhängig) - Y10 muss (zeitabhängig) geschlossen werden - durchfließt die Reinigungsflüssigkeit die restlichen, bisher noch nicht passierten Leitungen der Brühgruppe. Die Zeitabhängigkeit ist folgendermaßen definiert: Nach Passieren des Mixers kann die Flüssigkeit durch drei unterschiedliche Leitungswege geführt werden. Um die Brühgruppe zu erreichen muss Y10 geschlossen werden während Y07 geöffnet und Y09 nicht geöffnet wird. Anschließend wird um den Teewasserbezug zu reinigen Y07 geschlossen während Y10 geschlossen bleibt und Y09 sich öffnet. Abschließend werden Y07 und Y09 geschlossen und der Reiniger kann über öffnen von Y10 (öffnen ist nicht gleich ansteuern, da invertiert) das Gesamtsystem verlassen.

Das Abpumpen des Boilers geschieht auf Nullniveau (analog zu UF 1) um anschließend eine möglichst effiziente Spülung zu ermöglichen.

Sobald die Flüssigkeit aus dem Boiler über die Brühgruppe abgepumpt wurde folgt die letzte (6. UF) Unterfunktion – das Spülen des Boilers. Damit die Spülung produktiv abläuft muss hier der Leitfähigkeitssensor BLF aktiv tracken. Weiter auf die UF 6 wird nicht näher eingegangen, da die Schleife des Boilerspülens nur bereits (in UF 1 – UF 5) definierte Funktionsweisen beinhaltet.

Zusammenfassend noch einmal die zur „halbautomatischen Entkalkung“ benötigten **aktiven** Komponenten:

- Magnetventile Y[01, 02, 03, 04, 06, 07, 08, 09, 10] (angesteuert über SSR)
- Durchflusssensor BDF
- Temperatursensor (10 k Ω NTC-Widerstand)
- Füllstandssensor BFS
- Leitfähigkeitssensor BT
- Pumpe M
- Heizelement H
- Boiler B
- Blindsieb BLS
- Kaltwasser Ventil
- Warmwasserdüse
- (PS: Regler werden im folgenden Punkt 4.2.3 aufgelistet)

Um Vollständigkeit zu gewährleisten, wird folglich noch auf die **passiven** (von der Funktion nicht benötigte, jedoch passierte) Komponente eingegangen.

Wie bereits in der Unterfunktion Abpumpen über Brühgruppe erwähnt worden, durchläuft die Reinigungsflüssigkeit den Mischer inklusive seiner vorgeschalteten Komponenten (Kaltwasserventil und Warmwasser Düse) aktiv zum Reinigen, jedoch wird die Komponente Mischer nicht angesteuert und daher folgend als passiv angesehen.

Zur Veranschaulichung hier noch einmal die **passive** Komponente:

- Mischer

Somit sind nun alle relevanten Bauteile und Leitungen erreicht worden. Ob die Dampfleitungen vernachlässigt werden können, sollte von einem Experten überprüft werden, da durch das Verdampfen der Kalkgehalt im Wasserdampf sich zwar verringern müsste, jedoch meine Kompetenz zur Einschätzung der Entwicklung bei der Kondensation (und dessen Folgen) nicht ausreicht.

4.2.3 Steuerungselektronik und -software

Prinzipiell läuft die Steuerung wie folgt ab: Ein programmierfähiger Computer/Microcontroller (in unserem Fall der Raspberry Pi oder PIC) steuert aufgrund von hinterlegten Kennlinien/Formeln verschiedene Basis- und Messplatinen an, die wiederum sämtliche Bauteile und Regler ansteuern/auslesen können (umgekehrte Kommunikation analog). Das Konzept der Aufteilung in Basis- und Messplatinen wurde vom Kollegen D. Krzavic in seiner erst kürzlich (im Moodle Kurs einsehbar,) veröffentlichten Arbeit bzgl. der Steuerungstechnik thematisiert.

Hierbei erläutert er, dass die Basisplatine für sämtliche Grundfunktionen zuständig ist, währenddessen zwei Messplatinen die aus Modularisierungsgründen für die:

- Temperaturmessung (Fa. AVS Römer)
 - Druckmessung (Fa. AVS Römer)
 - Leitfähigkeitsmessung (Fa. AVS Römer)
- entwickelt werden soll.

Die Konzeptionierung der Basisplatine beinhaltet, wie bereits angesprochen, folgende Grundfunktionen:

- Füllstandsmessung (Eigenkonzept)
- Durchflussmessung (Flowmeter Nano Brass, Fa. DIGMESA AG)
- Schaltung der Pumpensteuerung (Motorsteuerung, Eigenkonzept)
- Beschalten der Solid-State-Relais (Relais', welche als Schalter für die MVs fungieren)

Übersicht der Elektronik (inkl. Sensoren und Regler):

Anzahl	Basisplatine	NTC-Spannungsteiler (3 NTC)	Spannungsm.-Platine (2 Druck, 1 Leitfkt.)	SSR-Insel (5 SSR)	NTC	Druck	Leitfähigkeit	Dosierventil	Durchfluss	Füllstand	Heizelemente	SSR	Display	Touch Panel	Motortreiber
Labor und Röster															
Eine Brühgruppe	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	1	10	1	0	1
Bar und Barista															
Linke Brühgruppe	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	1	9	1	1	1
Rechte Brühgruppe	1	1	1	1	2	1	0	1	1	0	1	5	1	1	

Abbildung 1: Übersicht Elektronik (Quelle: "Dokumentation zu den einzelnen Arbeitspaketen für die Entwicklung einer Systemsteuerung einer Espressomaschine" von D. Krzavic)

Der Übersichtstabelle (aus der Arbeit von D. Krzavic) ist zu entnehmen, wie die Konzeptionierung der Steuerung angebracht ist.

Es ist, wie eingangs im Kapitel erläutert, ein Zusammenspiel von Basisplatine, 2 Messplatinen (NTC; Spannung) und 1-2 (je nach Variante) SSR-Inseln.

Da dadurch die Kommunikation zwischen Mikrocontroller → Platine → Regler/Komponente (und umgekehrt) erläutert wurde und nicht näher auf die Elektrotechnik eingegangen wird, folgt nun abschließend noch die Einbeziehung der Software.

Damit die Steuerung der Komponenten und Regler auch das bewirkt, was es soll, ist eine entsprechende Programmierung (z.B. MATLAB Skript) für folgende Punkte erfolgt/hinterlegt:

- Füllstandsregler (~~zusammen mit Durchflussmessung steuert Pumpenregler~~)
- Pumpenregler (~~steuert Pumpe~~)
- Temperaturregler (~~steuert Heizung~~)
- Serviceprogramm „Entkalkung“ (~~Schreiben des gesamten Programms als Befehl~~)
- Benutzeroberfläche (zur Kommunikation)

Dadurch kann erfolgen, dass die Pumpe so viel leistet, wie den Unterfunktionen (1;2) geschuldet ist (Boiler abpumpen auf 0/überbefüllen auf 95%) oder das Heizelement soweit erhitzt, dass die (in Unterfunktion 3 definierte) Reinigungstemperatur erbracht wird. Ebenso muss in der Software die Einwirkzeit (UF 4) definiert und gezählt werden (z.B. mit Hilfe eines integrierten Timers) und die Schleife für das „Boiler spülen“ (UF 6) mitberücksichtigt werden. Unterm Strich muss für jedes Programm/Hauptfunktion/Unterfunktion etc. ein Skript hinterlegt sein, damit die Kommunikation Mikrocontroller → Platine → Regler/Komponente zielführend ist. Damit der Anwender mit der Maschine kommunizieren kann wird die Bedienung in Form eines Touch-Displays mit einer integrierten Benutzeroberfläche realisiert.

5. Fazit

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Funktion „halbautomatische Entkalkung“ steuer-/regelungstechnisch automatisiert realisiert werden kann. Lediglich das Programm und die Reinigungsflüssigkeit müssen vom Bediener manuell ausgewählt bzw. hineingegeben werden.

Die Komplexität der Funktion besteht hauptsächlich in der Elektrotechnik und Programmierung, die etwas simplere praktische Funktionsweise und das technische Verständnis sollen durch diesen Bericht aufgezeigt werden.

Auch sind noch zu definierende/offene Punkte aufgekommen wie die Möglichkeit der Abweichung verschiedener Reiniger (Problempunkte: Säure → Dichtungsschäden; Viskosität → unterschiedliche Pump-/Heizleistungen benötigt) und das fehlende Durchlaufen der Flüssigkeit durch die Dampfleitungen an dem Ventil Y05 und der Dampfzange (Problempunkt: Kalkgehalt in Wasserdampf → Expertenmeinung benötigt).

Literaturverzeichnis:

1. Armin Rohnen, Status der Entwicklung einer Siebträger-Espressomaschine und labor-technischen Espressomaschine, 03/2020
2. 20200417_Hydraulikplan_Labor_u_Home.pdf, 04/2020
3. Marc Arendt, Neukonstruktion einer Kaffeemaschinenbrühgruppe, Bachelorarbeit, 12/2018
4. Rawad Alshilch, Frank Hadwiger, Sieber Timo, Inbetriebnahme der Labor-Espressomaschine, Projektarbeit, 03/2018
5. Tobias Tritschler, Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine, Bachelorarbeit, 05/2019
6. Fabian Dieser, Felix Müller, Stefan Sellmaier, Johannes Amann, Inbetriebnahme und Vorbereitung zur Erprobung der kalten Brühgruppe für eine labortechnische Espressomaschine, Projektarbeit, 10/2019
7. Melissa Schütz, Moritz Albrecht, Vladyslav Sosnytskyi, Konstruktion von vier Siebträger-Espressomaschinen, Projektarbeit, 03/2020
8. Kilian Stach, Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine, Bachelorarbeit, 02/2020
9. Dino Krzavic, Dokumentation zu den einzelnen Arbeitspaketen für die „Entwicklung einer Systemsteuerung einer Espressomaschine“, Bachelorarbeit, 04/2020
10. Johanna Wechselberger, Espressomaschinen richtig bedienen, Braumüller-Verlag, 2016
11. Wolfgang Tegethoff, Calciumcarbonat: Von der Kreidezeit ins 21. Jhd., Birkhäuser-Verlag, 2000
12. Klaus Wüst, Mikroprozessortechnik: Grundlagen, Architekturen und Programmierung von Mikroprozessoren, Mikrocontrollern und Signalprozessoren, Vieweg und Teubner Verlag, 2008

Tabellen-/Abbildungsverzeichnis:

1. Tabelle 1: Hauptfunktion, Unterfunktion, Elementarfunktion
2. Abbildung 2: Übersicht Elektronik (Quelle: "Dokumentation zu den einzelnen Arbeitspaketen für die 'Entwicklung einer Systemsteuerung einer Espressomaschine'" von D. Krzavic