

Hochschule
München
University of
Applied Sciences

Fakultät 03
Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik

Labor für Schwingungstechnik und Maschinendynamik

Kaffeemaschinen Montag

Präsentation der Projekt- und Abschlussarbeiten

08.08.2022



Tagesordnung

Agenda der Präsentationen

10:00 Uhr	Begrüßung	Felix Kistler
10:15 Uhr	Vorstellung der Innovation	Armin Rohnen
10:45 Uhr	Glasboilermaschine	Felix Kistler
11:00 Uhr	Verspanndeckel, Dampf- und Teewasserlanze	Mustafa Inaltekin
11:15 Uhr	Tank(s) und Unterbau	Erik Reitsam
11:30 Uhr	Freitragende Brühgruppe	Luca Kurbjuweit, Felix Kistler
12:00 Uhr	Inbetriebnahme labortechnische Espressomaschine	Jan Budnik
12:30 Uhr	Forschungsmaster	Patricia Viebke
12:45 Uhr	RoadMap für das Projekt	Felix Kistler
13:00 Uhr	Verabschiedung	Felix Kistler und Armin Rohnen

Hochschule
München
University of
Applied Sciences

FK03
Labor für Schwingungstechnik
und Maschinendynamik

Innovation

Kaffeemaschinen Montag

08.08.2022 Dipl.-Ing. Armin Rohnen LbA



Technische Beeinflussbarkeit der Geschmacksache Kaffee

Hintergrund und Auslöser

- Neben dem Auftrag zur Lehre besteht der Auftrag zur Forschung
- Projektarbeit im WiSe 2016/17 am Kaffeeröster der Kaffeewerkstatt München
- Auf Teilwissen basierende Diskussionen (auch in sog. Fachkreisen)
- Historisch vorbelastete Konstruktionen
- 2016 wenig Innovation, wenig Industrie 4.0
- Stand 2022 mehr Industrie 4.0
- i.d.R. Nichteinhaltung EU Energiesparrichtlinie
- > 150 Liter Kaffee pro Kopf und Jahr
- > 15 Mrd. € Kaffee-Umsatz im Jahr
- Stetig steigender Informationsbedarf
- Starke emotionale Verknüpfungen
- Kaffee hat zwei Nachteile (lt. Dr. Schwarz, Coffee Consulate)
 - Psychoaktive und wasserlösliche Substanz Coffein
 - Bis zum letzten Prozessschritt kann es noch schlechter Kaffee werden



Forschungsprojekt „Technische Beeinflussbarkeit der Geschmacksache Kaffee“

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmacksache Kaffee

Relevante Kaffeebezugparameter

Konkret

- Heißes Wasser
 - stabile und reproduzierbare Temperatur des Kaffeebezugswassers
 - als Festwert oder Verlauf über die Zeit (Profil)
- Volumenstrom
 - stabile und reproduzierbarer Volumenstrom des Kaffeebezugswassers, 1 ml/s bzw. 1 g/s
 - als Festwert oder Verlauf über die Zeit (Profil)
- Druck
 - Achille Gaggia, 1938 Patent Kolbenmaschine, 9 bar

- Abhängigkeit von Volumenstrom und Druck

$$- P_{Pumpe} = p \cdot \dot{V} = \left[p_{statisch} + \frac{\rho}{2} \cdot \dot{V}^2 + \sum \Delta p + \zeta_{Kaffeepuck} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \dot{V}^2 \right] \cdot \dot{V}$$

- Bezugsmenge

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Zielsetzung

- Siebträger-Espressomaschine die in der Lage ist, alle auf dem Markt befindlichen Siebträger-Espressomaschinen abzubilden
- Veränderung der Einstellungen von einem Kaffeebezug zum anderen
- Hohe Energieeffizienz und schnelles Aufheizverhalten
- Einhaltung der Energiesparrichtlinie, Verordnung (EU) 801/2013 - „Standby-Modus“

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

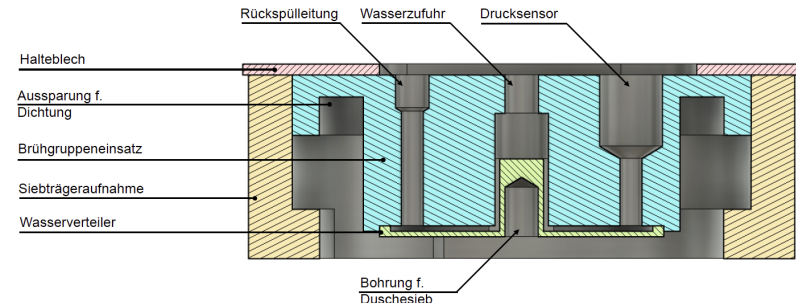
Erfindung der Kaffeemaschine

- 22.06.2018, World of Coffee, Amsterdam (Notizbucheintrag)
- kalte (eigentlich ungeheizte) Brühgruppe - WOC18 Brühgruppe
- kalter (eigentlich ungewärmter) Siebträger
- Wassermischsystem
- Massiv isolierter Stahlboiler (25 mm Armaflex) oder Borosilikatglasboiler
- 2019 Erfindungsmeldung an Freistaat Bayern / Hochschule München
- Rückgabe der Erfindung
- Seit 2022 technische Umsetzung mit Gebrauchsmusterschutz

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

WOC18 Brühgruppe

- Wärmekapazität üblicher Brühgruppen ca. 130 kWs (90 bis 100 s volle Heizleistung)
- Wärmekapazitätsbedarf für zwei Tassen je 25 cm³ Espresso ca. 17 kWs
- Heizleistung für 15 Tassen je 25 cm³ Espresso
- Verbesserung der Temperaturstabilität nur unter Einbeziehung der Brühgruppe möglich
- Veränderliche Kaffeewasserbezugstemperaturen (Temperaturprofile), Veränderung von einem Espresso bezug zum Anderen, nicht möglich



WOC18 Brühgruppe, Konstruktionsstand Juli 2022, Felix Kistler

- Lösung: Verwendung von Kunststoff und Volumenverringernung

Wärmekapazität:	Edelstahl 500, Messing 380, PVDF 1,2 $\frac{Ws}{kg \cdot K}$
Wärmeleitfähigkeit:	Edelstahl 15, Messing 120, PVDF 0,2 $\frac{W}{m \cdot K}$

➔ Faktor 4000 geringere Wärmekapazität, Faktor 600 langsames Aufheizverhalten

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee Kalter (eigentlich ungeheizter) Siebträger

- Konstruktion, Musterbauteil, Versuche
- Ergebnis: Funktionalität mit jedem Siebträger gegeben
- Siebträgerereinsatz (Sieb) mit sehr kleiner Kontaktstelle zum Siebträger und wird nicht direkt beheizt und kühlt, u.a. aufgrund der geringen Masse, sehr schnell ab
- relevante Kontaktzeit sehr gering, da üblich der relevante Prozessschritt sehr schnell abgearbeitet wird
- Heißes Wasser wird durch „kaltes“ Kaffeemehl gedrückt
 - danach kommt das Heißgetränk mit dem Siebträger in Berührung
 - danach muss das Heißgetränk abkühlen um genießbar zu werden
 - auch vorgeheizte Tassen sind wahrscheinlich nicht zwingend erforderlich
 - medizinisch unbedenklich erst ab $< 64 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Dr. Steffen Schwarz)

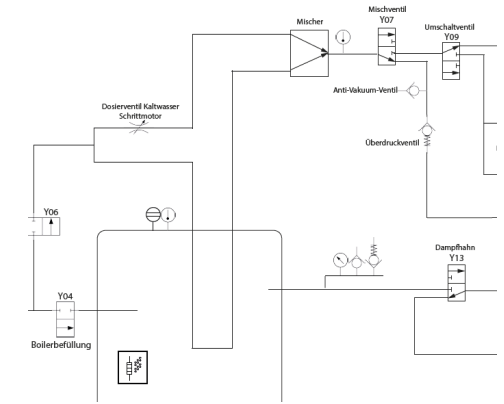


kalter Siebträger, Konstruktionsstand Juni 2020, Lukas Ankner

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Wassermischsystem, Wasserleitungen, Magnetventile

- Zweikreis-Siebträger-Espressomaschine
- Boiler mit 2/3 Wasserbefüllung und PD-Regelkreis für den Boilerdruck (angestrebt)
Sollwert einstellbar 1000 bis 1500 mbar,
Auslegung auf 1300 mbar
- Heißwassererzeugung durch Wärmetauscher (Wasserwendel) im Boiler
- Kaffeebezugswasser / Teewassererzeugung durch PID geregeltes Wassermischsystem
- Jedes Regelungssystem benötigt eine Einschwingzeit, während dieser Zeit wird das undefiniert heiße Wasser abgeleitet
- Komponenten mit Einfluss auf die Regelstrecke
 - Mischer
 - schnelle Temperatursensoren
 - schnelles Dosierventil
 - PFA Wasserrohre
 - Magnetventile mit geringer Wärmekapazität



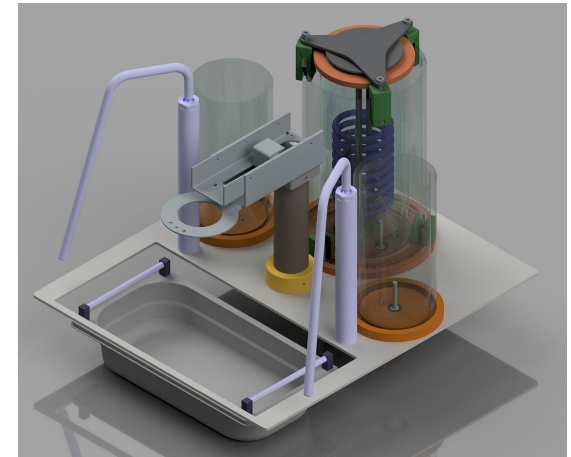
Ausschnitt Hydraulikplan, Stand Juli 2022, Armin Rohnen

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Glasboilermaschine

- Warum?
- Warum (Borosilikat)Glas?
 - ... weil es eine technische Herausforderung ist
 - ... weil es gut aussieht
 - ... weil sichtbar kochendes Wasser eine eigene Magie innewohnt
 - hoher Schmelzpunkt, niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient
 - sehr gute Hitzebeständigkeit
 - Temperaturschocks werden sehr gut verkraftet
 - heißer Glasboiler platzt nicht bei Frischwasserbefüllung
 - keinerlei Chemikalien, absolut geschmacksneutral
 - bestens geeignet für Lebensmittelaufbewahrung
 - lediglich 7% der Boileroberfläche ist metallisch

➔ **weil wir es können**



Konstruktionsstand Glasboilermaschine,
Stand Juli 2022, Erik Reitsam

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee Glasboilermaschine

Entwicklungsprozess

- mechanische Komponenten
- elektromechanische Komponenten
- elektronische Komponenten
- Software

- mechanische Konstruktion
- elektrotechnische Konstruktion
- Programmierung
- Design

- Personalressource - Verknüpfung zum Auftrag der Lehre
 - Studierende FK03 (Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik)
 - Studierende FK04 (Elektrotechnik und Informationstechnik)
 - Studierende im Studiengang MAPR/RSM (Forschungsmaster)
 - Studierende in Masterstudiengängen
 - Studierende in Bachelorstudiengängen
 - Abschlussarbeiten
 - Projektarbeiten

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee Glasboilermaschine

Entwicklungsprozess

- Entwicklungsprozess wird durch die Personalressource beeinflusst
 - hohe Fluktuation des Personals
 - Semestertaktung
 - 2x jährlich Unterbrechung und (neue) Einarbeitungsphase
 - Ableitung kleinerer Projektumfänge
 - für Projektgruppen
 - für Abschlussarbeiten
 - für Forschungsmaster (MAPR/RSM)
 - Vorausplanung über mehrere Semester erforderlich
 - wenig Flexibilität, wenig Änderungsmöglichkeiten für Aufgabeninhalte während eines Semesters
 - chronische Defizite (FK03): Elektrotechnik, Messtechnik, Programmierung
 - schnell mal was messen
 - MATLAB meets MicroPython
 - Programmierung schult strukturiertes Arbeiten!
 - Konstanz lediglich durch MAPR-Studierende und Betreuer
 - Wenige Personen mit Gesamtüberblick, Projekthistorie, Zusammenhänge, ...
- 75 Personen mit mehr als insg. 17.000 Stunden, ohne Projekte für TURNUS Espresso

Eine (Signal)Analyse ist zu einem Zeitpunkt
nicht möglich.

Manfred Zollner, OTH Regensburg

Für jedes Problem gibt es eine einfache, aber
völlig falsche Lösung.

Harald Lesch, LMU

Hochschule
München
University of
Applied Sciences

Fakultät 03
Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik

Projektpräsentation

Entwicklung einer Siebträger- Espressomaschine mit Borosilikat-Glasboiler

08.08.2022 / Felix Kistler



Idee und Angebot

Problemdefinition

Ausgangssituation

- Stahl ist als Material für den Boiler industrietypischer Standard
- Parametrierbarkeit bei Maschinen namhafter Hersteller selten und nur begrenzt möglich
- Ausnahmen: High-End-Maschinen mit mehreren Brühgruppen für den Gastrobereich im hohen vier- bis niedrigen fünfstelligem Preissegment

Projektfokus



Entwicklung einer innovativen, maximal energieeffizienten Siebträger-Espressomaschine mit vollständiger Parametrierbarkeit und einem Boiler aus Borosilikat-Glas

Idee und Angebot

Produkt

Konzeptbeschreibung

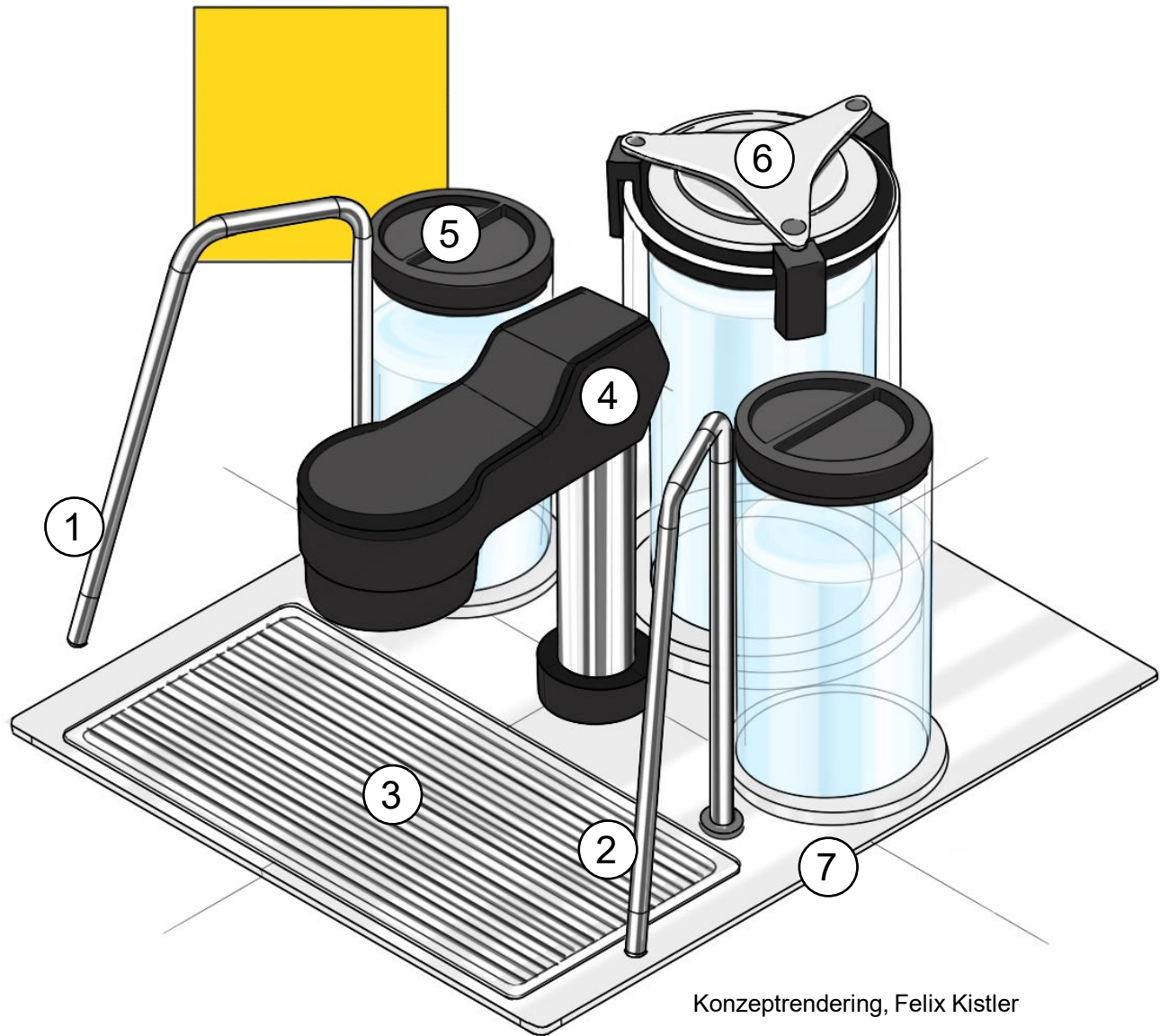
- Verfügbar in zwei verschiedenen Varianten:
 - Auftischvariante („On Table“)
 - In die Arbeitsfläche eingelassen („Under Table“)
- Optik: Retro-Design
- Inspiration: Hochwertige Röhrenverstärker
- Technologie: Regeltechnische Parametrierung, unbeheizte Brühgruppe



Idee und Angebot Produkt

Konzeptbeschreibung

- ① Dampfzange
- ② Teelanze
- ③ Abtropfblech
- ④ Brühgruppe
- ⑤ Wassertank
- ⑥ Glasboiler
- ⑦ Bodenplatte



Konzeptrendering, Felix Kistler

Strategie

Abgrenzung zu Mitbewerbern

Unique Selling Points (USPs)

1. Ästhetik durch Borosilikat-Glasboiler

- Weckt Emotionen beim Nutzer

2. Hohe Energieeffizienz

- Geringer Wärmeverlust durch doppelwandigen Glasboiler



Kürzere Aufheizzeiten und deutlich niedrigerer Energiebedarf



Erfüllung gesetzlicher Vorgaben zur Energieeinsparung im Stand-By-Modus von Küchengeräten

3. Vollständige Parametrierbarkeit

- Gewährleistung der Variierbarkeit aller relevanten Kaffeebezugsgrößen



Simulation jeder handelsüblichen Espressomaschine möglich

Hochschule
München
University of
Applied Sciences

Fakultät/Abteilung/
Einrichtung

Glasboiler Maschine

Dampf-/ Teewasserlanze und Verspanndeckel

08.08.2022 / Mustafa Inaltekin

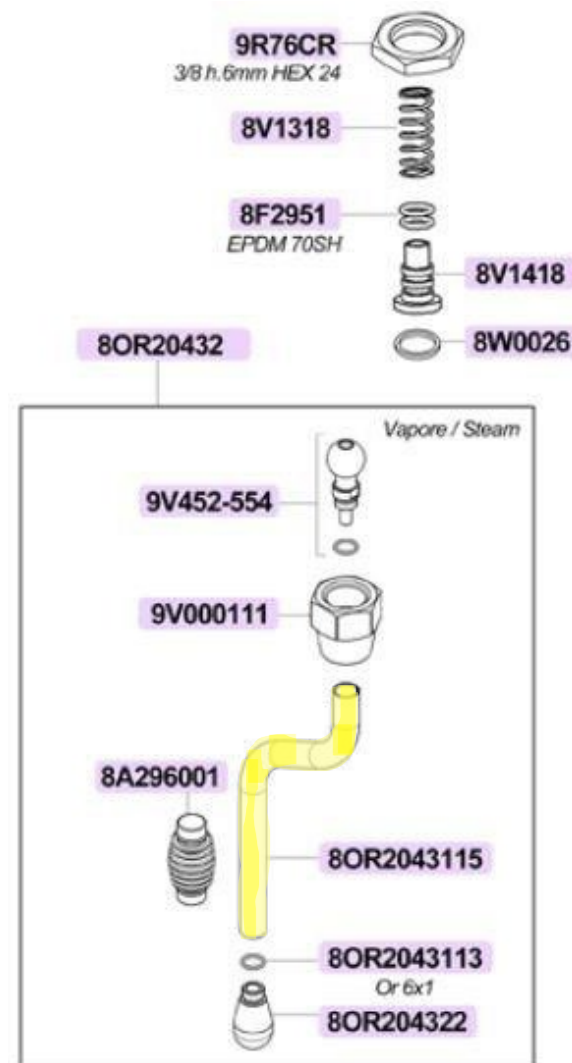


Glasboiler Maschine

Dampf- und Teewasserlanze

Vorgehen

- Randbedingungen
 - U-Form
 - Cold-Touch Funktion
- Konzeptideen
 - Komplett als Kaufteil (wenig Angebote)
 - Eigenkonstruktion des Rohres (teuer)
 - Lanzen als Kaufteil mit Distanzstück



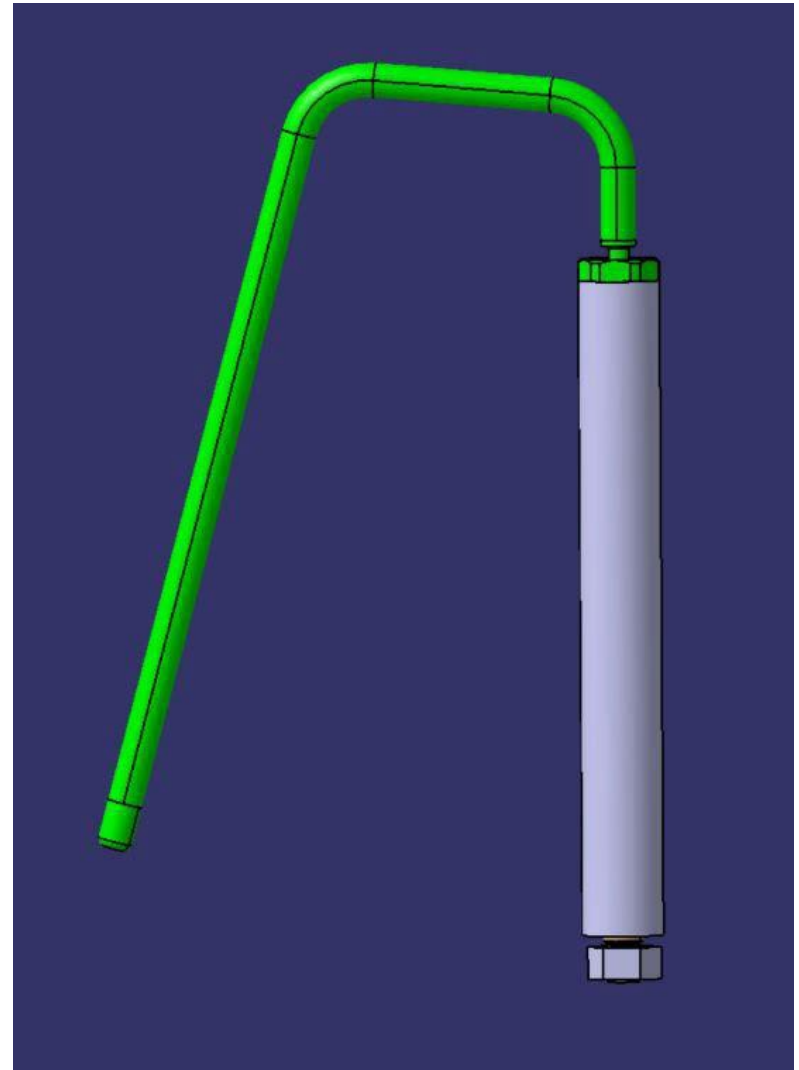
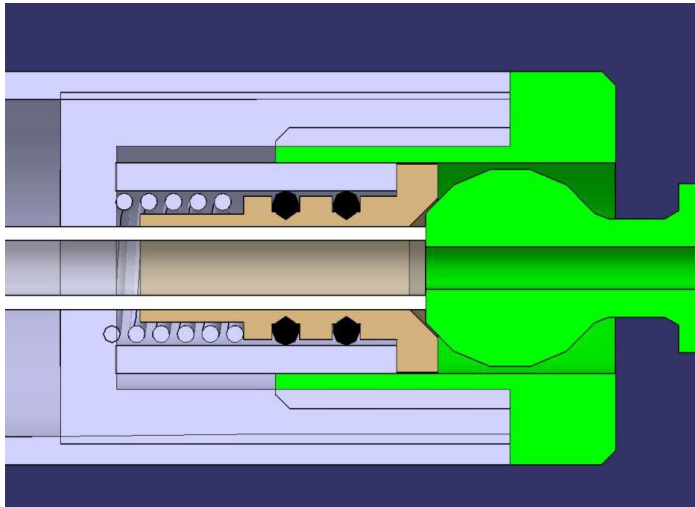
Quelle: DVG OR03

Glasboiler Maschine

Dampf- und Teewasserlanze

Italcoppie-Lanzen

- Grün = italcoppie Lanzen
- Höhe von Distanzrohr abhängig vom idealen Aufschäumpunkt



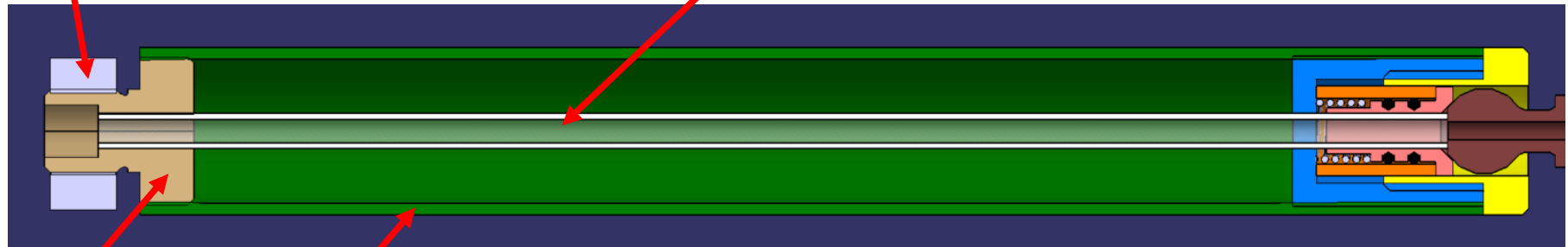
Glasboiler Maschine

Dampf- und Teewasserlanze

Italcoppie-Lanzen - Übersicht

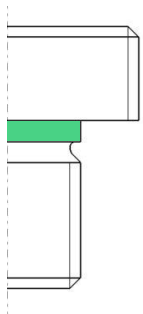
1. Sechskantmutter
ISO 4035 – M14 – A2

3. PFA-Schlauch



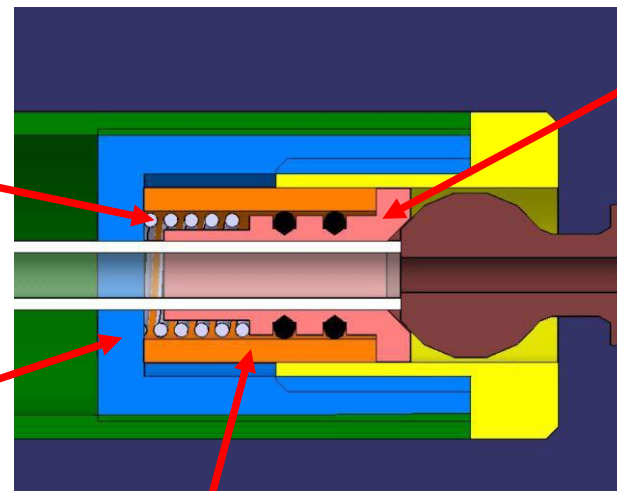
2. Adapterstück

4. Distanzrohr



6. Druckfeder
Ø10,8x30

5. Distanzstück



8. Messingbuchse
für Kugel

7. Presshülse

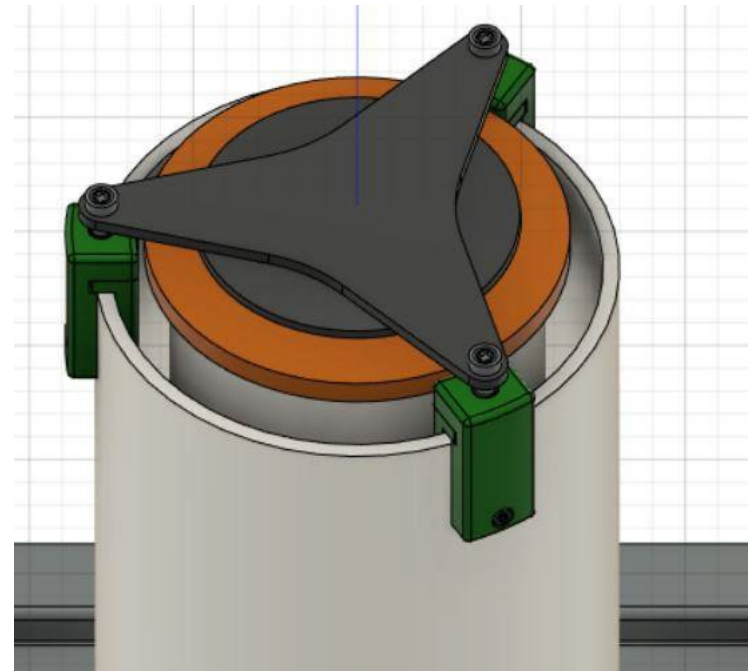
Glasboiler Maschine

Verspanndeckel

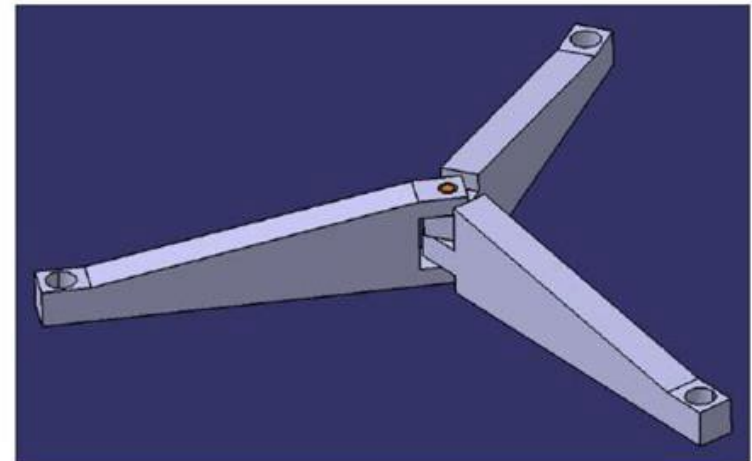
Aktueller Stand

- Ausgangszustand
 - Verspanndeckel gibt nach
 - Aluminium
 - 5 mm Dicke
 - Aus einem Blech

- Ziel
 - Funktion muss gegeben sein = Vorspannkraft
 - Tellerfeder 2500 N
 - FEM-Analyse
 - Design?



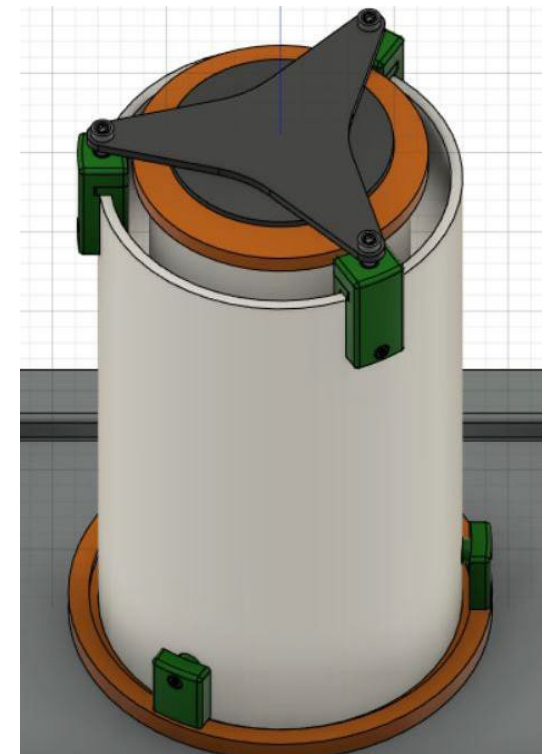
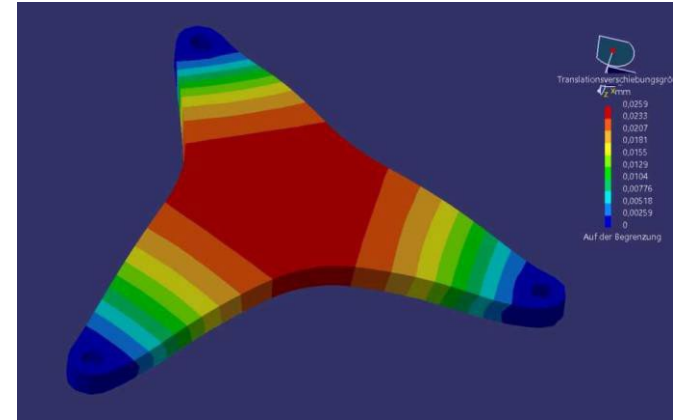
Quelle: [44]



Glasboiler Maschine

Verspanndeckel

- Design
- Altes Design ist optisch am besten
- Statt Aluminium wird Edelstahl verwendet
- Blechdicken 8 mm und 10 mm wird mittels FEM analysiert und hand- schriftlich nachgerechnet
- Genauigkeit von 0,004 mm zwischen Rechnung und FEM
- 10 mm Variante mit Edelstahl
- Mindesthöhe Hülse

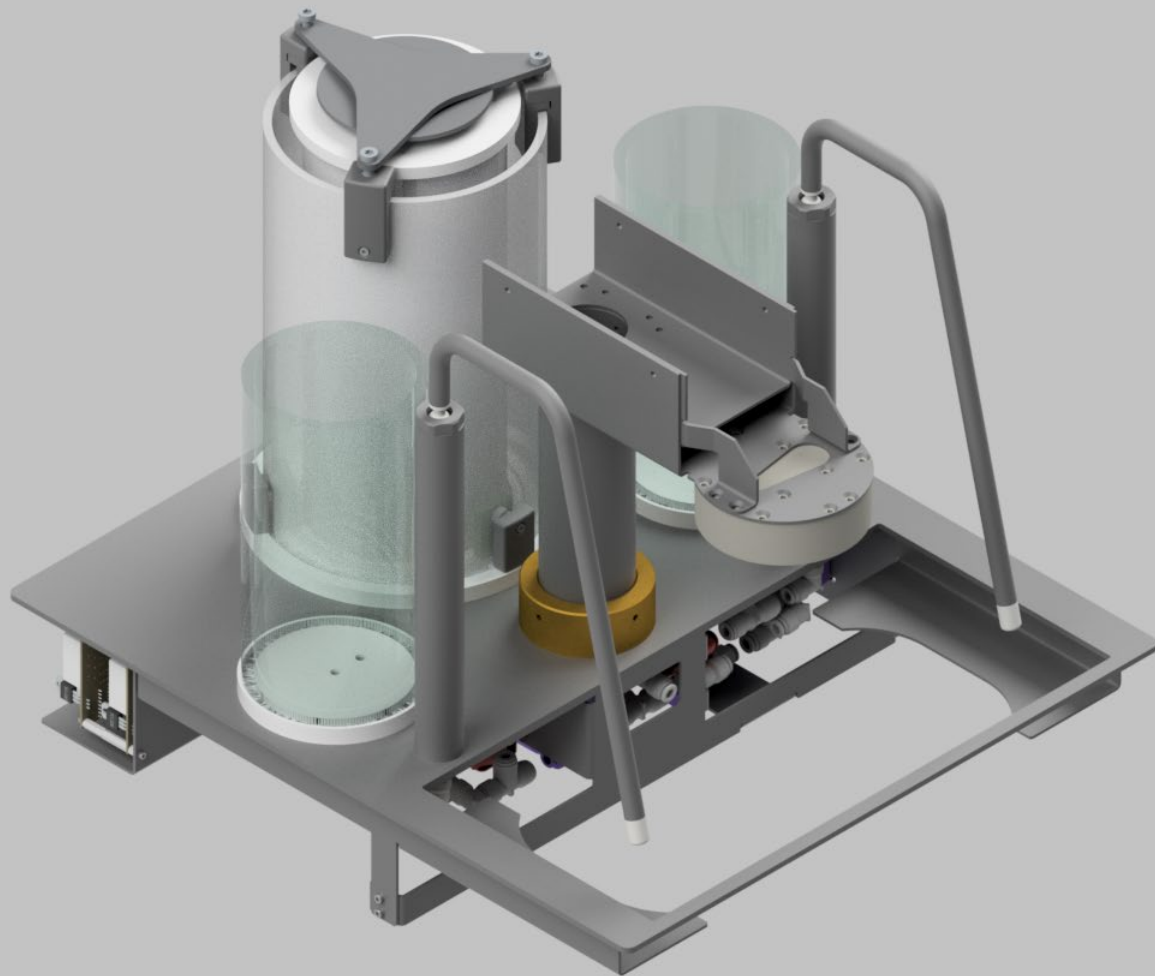


Quelle: [44]

Konstruktion von Komponenten der Glasboiler- Espressomaschine

Tank, Bodenplatte und
Unterbau

08.08.2022 / Erik Reitsam



Tank

Komponenten

- Borosilikatglas-Rohr
- Tankboden mit Gewindeeinsätzen
- Deckel (noch nicht konstruiert)

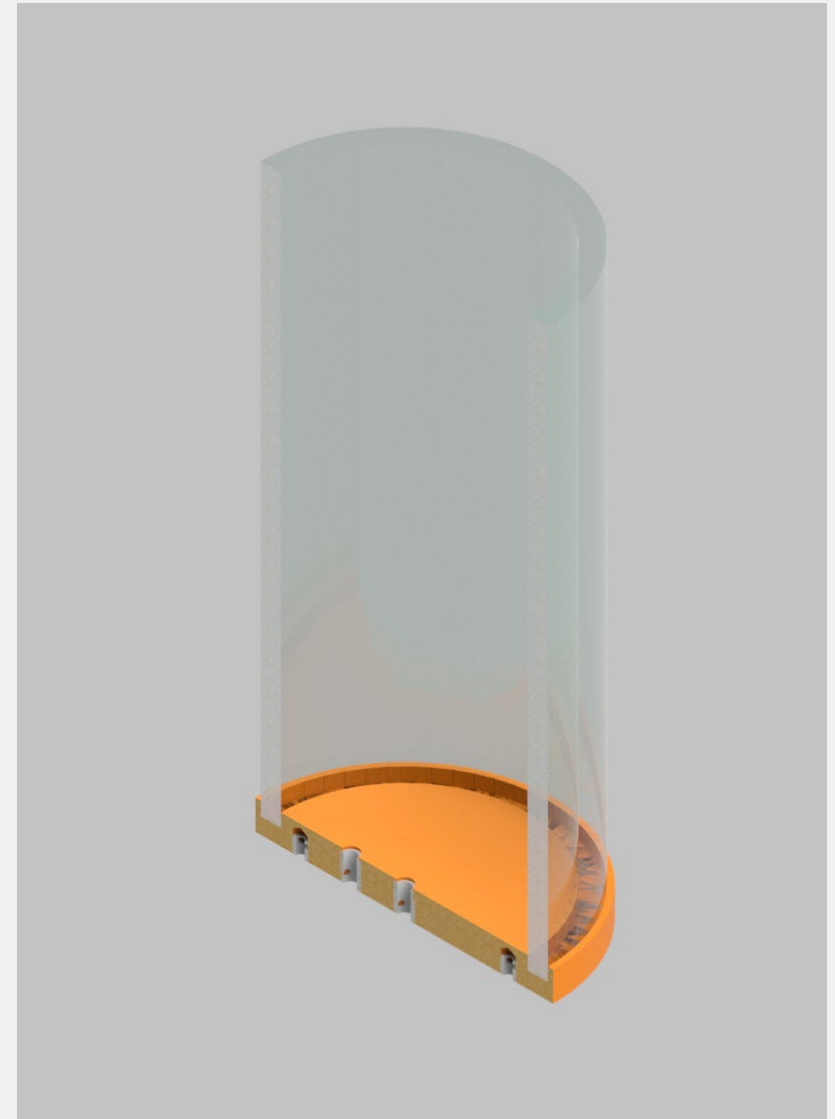
Borosilikatglas-Rohr

- Große Fertigungstoleranzen
- Wird mit Tankboden stirnseitig verklebt

Tankboden

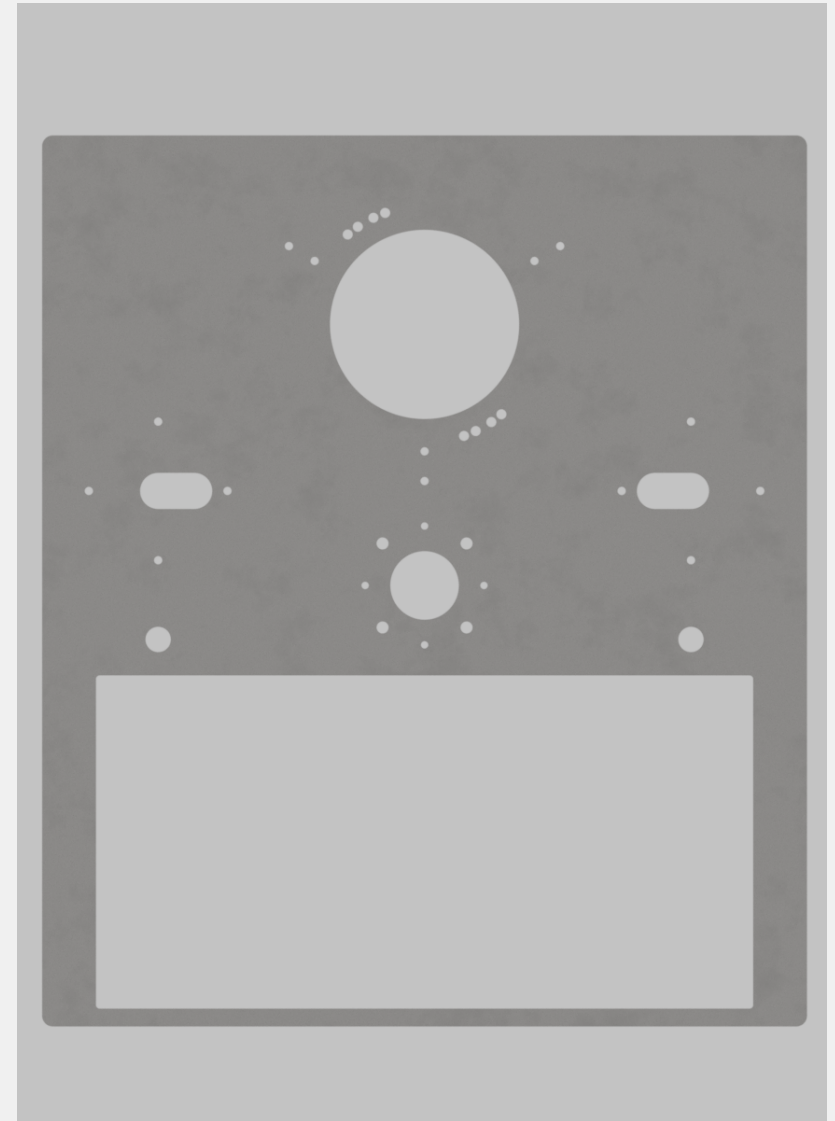
- Ausschnitt für Glasrohr
- Vier M4 Gewindeeinsätze in Sacklochbohrungen auf der Unterseite zur Befestigung des Tanks
- Zwei Gewindeeinsätze in Durchgangsbohrungen für Füllstandssensor und Einschraub-Steckverbinder

Füllvolumen: 1,3 Liter



Bodenplatte

- 4 mm dickes Edelstahlblech mit Ausschnitten und Bohrungen
- Abmaße
 - Länge: 485 mm
 - Breite: 428 mm
- verbindet die sichtbaren Komponenten (Tanks, Boiler, Brühurm, Lanzen) mit den nicht sichtbaren Komponenten (Unterbau mit Elektronik, Verrohrung und Stützenden Bauteilen)
- Liegt bei Untertischvariante auf der Tischplatte auf
- Bildet bei der Auftischvariante die Oberseite des Gehäuses

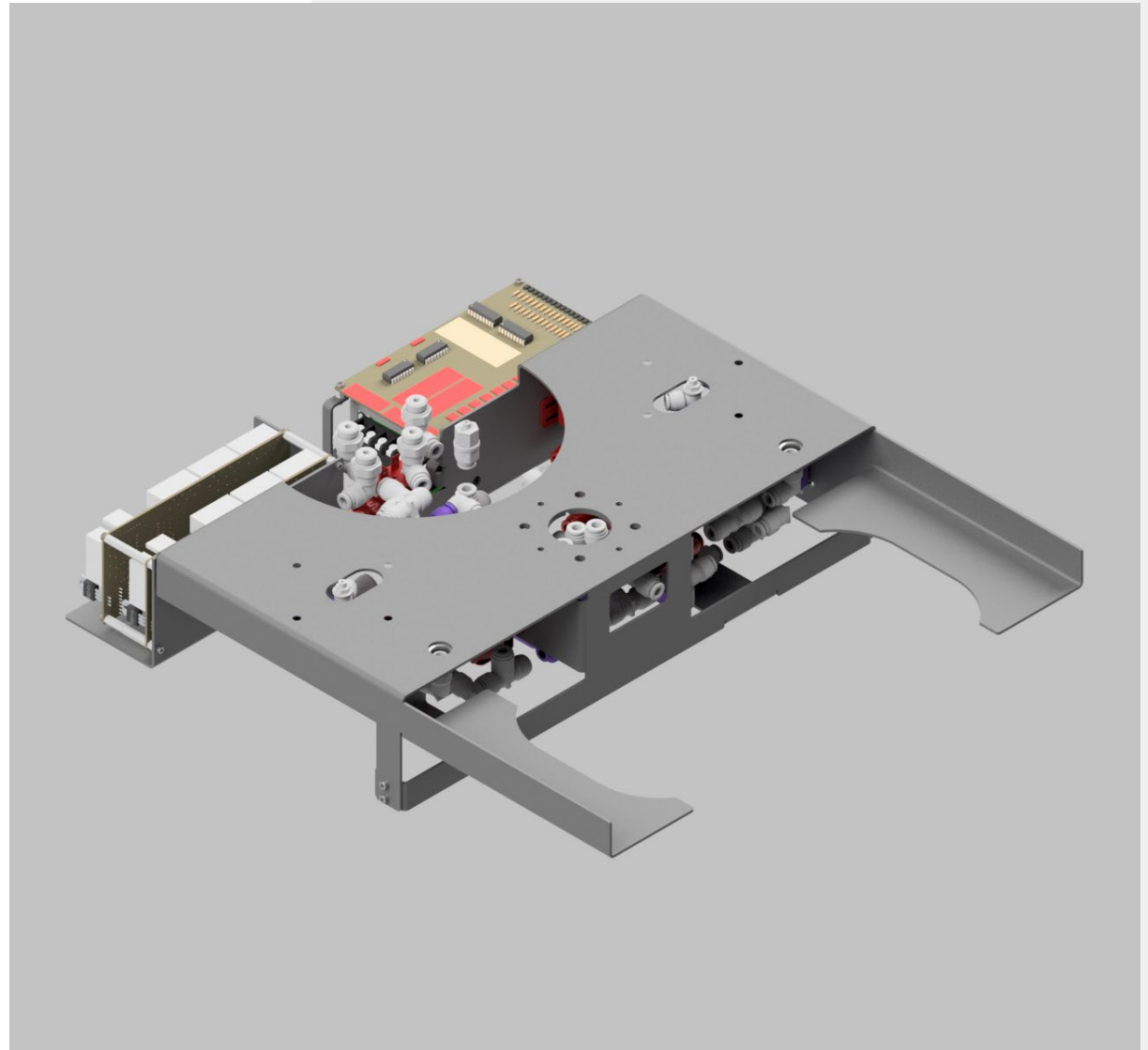


Bodenplatte - Draufsicht
[Eigene Darstellung]

Unterbau

Beinhaltet

- Anbindungsrahmen
- Versteifungsblech
- SSR-Insel
- Mess- und Basisplatine
- Netzteil
- Magnetventile
- Pumpe
- Sensoren und Ventile
- Verrohrung



Platzierung der Komponenten im Unterbau

Anforderung:

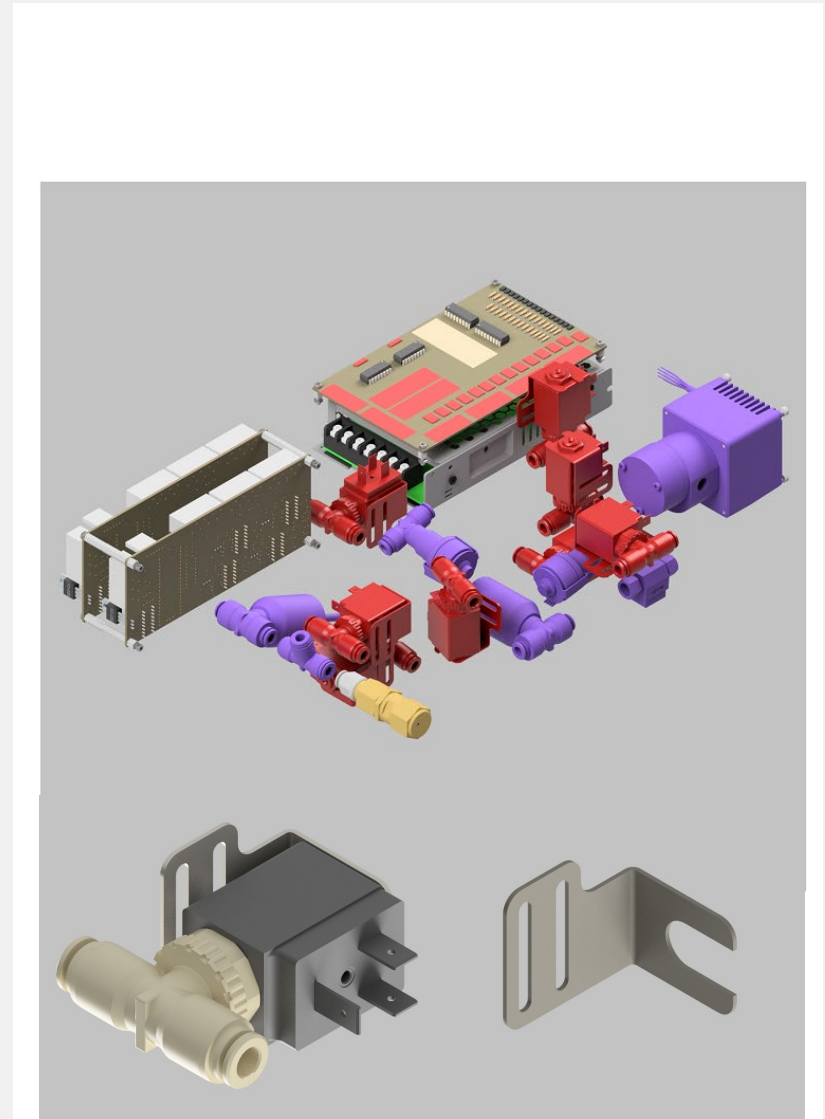
Alle Komponenten müssen sinnvoll und auf relativ geringem Bauraum platziert werden, sodass Montage und Verrohrung möglich sind.

Folgende Aspekte haben den Entwicklungsprozess der Platzierung beeinflusst:

- Dimensionen der Platinen
- Platzierung der sichtbaren Komponenten
- Dimensionen der sichtbaren Komponenten
- Maximale Dimensionen der Maschine
- Änderungen im Hydraulikplan
- Bauform/Anschluss der Magnetventile

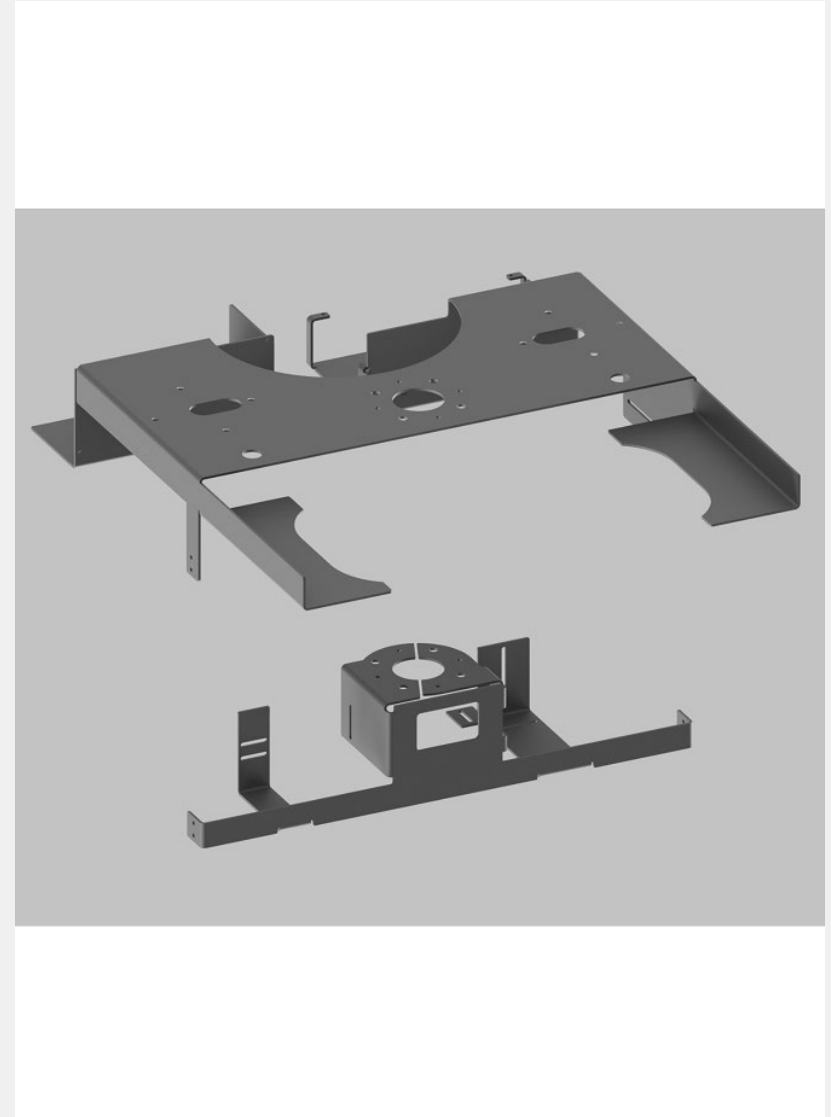
Aufgrund wesentlicher Änderungen wurden drei verschiedene Platzierungen ausgearbeitet

Auf Basis der aktuellen Platzierung wurden Anbindungsrahmen und Versteifungsblech entworfen



Anbindungsrahmen und Versteifungsblech

- Anbindungsrahmen: Bleichteil, das an der Unterseite der Bodenplatte montiert wird
- Abmaße:
 - Breite: 400 mm
 - Länge: 470 mm
 - Höhe: 85 mm
- Dient der Befestigung von Pumpe, Netzteil, SSR-Insel, Mess- und Basisplatine und Magnetventile und als Auflagefläche für die Abtropfwanne
- Zur Reparatur wird die Maschine aus der Tischplatte/Gehäuse herausgenommen und auf einem Drehteller abgestellt. Dabei steht die Maschine dann auf dem Anbindungsrahmen.
- Der Anbindungsrahmen sorgt zusammen mit dem Versteifungsblech für die notwendige Steifigkeit der Maschine



Isometrische Ansicht des Anbindungsrahmens
[Eigene Darstellung]

Hochschule
München
University of
Applied Sciences

Fakultät 03
Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik

Projektpräsentation

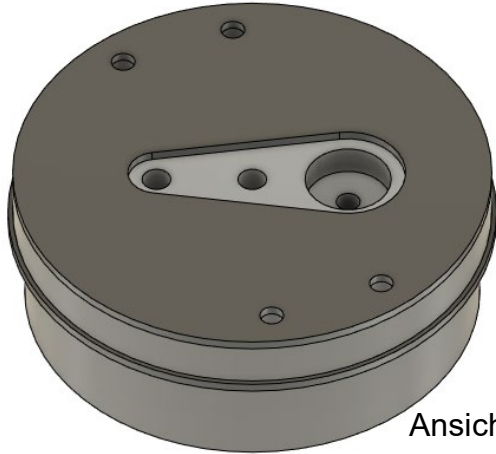
Freitragende Brühgruppe

Felix Kistler, Luca Kurbjuweit
08.08.22

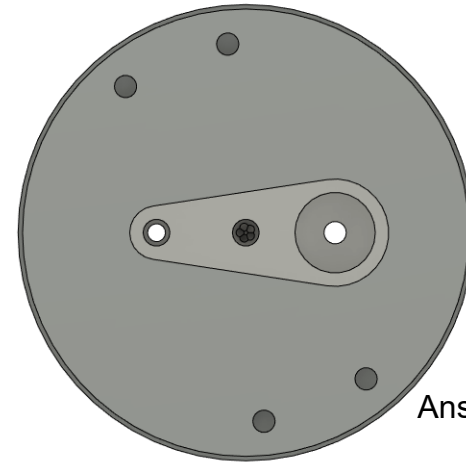


Ausgangssituation

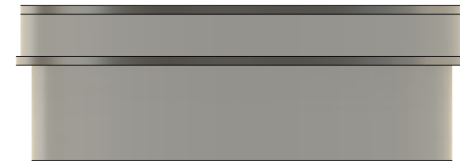
Ansichten der bisherigen Brühgruppe



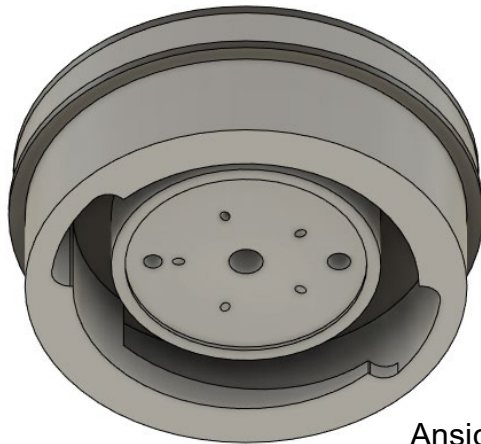
Ansicht schräg oben



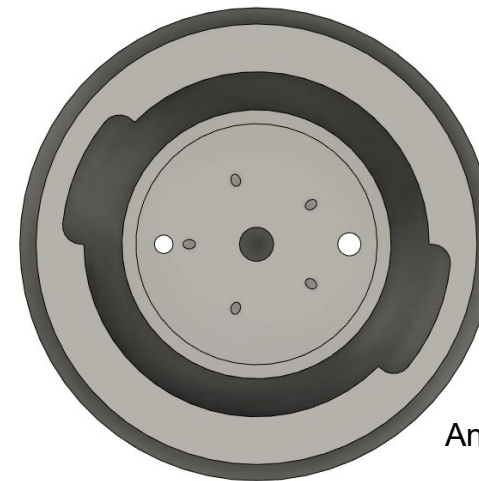
Ansicht oben



Ansicht rechts



Ansicht schräg unten



Ansicht unten

Ausgangssituation

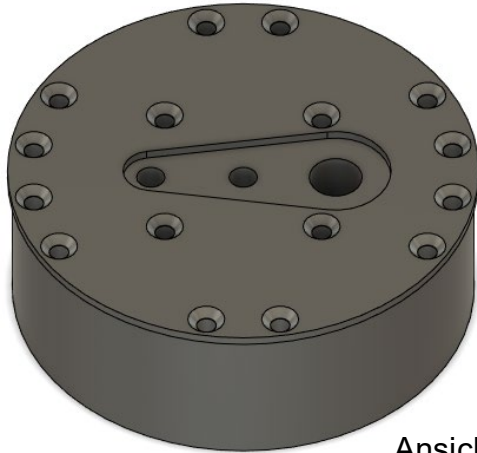
Problemstellung

Erforderliche Anpassungen der Brühgruppe

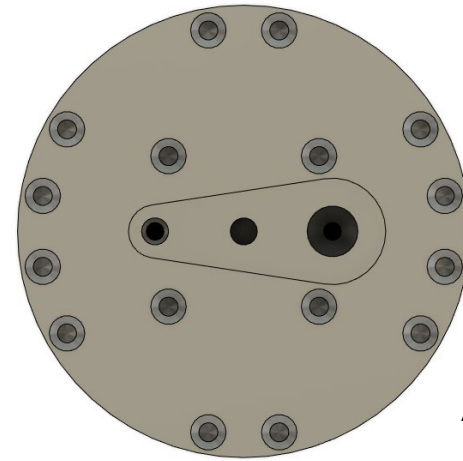
- Implementierung eines alternativen Drucksensors
 - ➔ Jetziger Drucksensor von B+B wird eingeklebt, was ein Qualitätsrisiko darstellt
- Implementierung einer Dichtungsnut
 - ➔ Dichtung muss abgestützt werden, um Wegkippen und damit einhergehende Undichtigkeiten im Betrieb zu vermeiden
- Optimierung der erforderlichen Eintauchtiefe des Brühgruppeneinsatzes in den Siebträger
 - ➔ Eintauchtiefe hat Einfluss auf entstehenden Druck auf den Kaffeepuck sowie auf die Durchflussmenge und Extraktionsdauer, was die Kaffequalität beeinflusst
- Positionsänderung der Anschlüsse für Wasserzulauf und -ablauf sowie des Drucksensors

Aktueller Konstruktionsstand

Ansichten der angepassten Brühgruppe



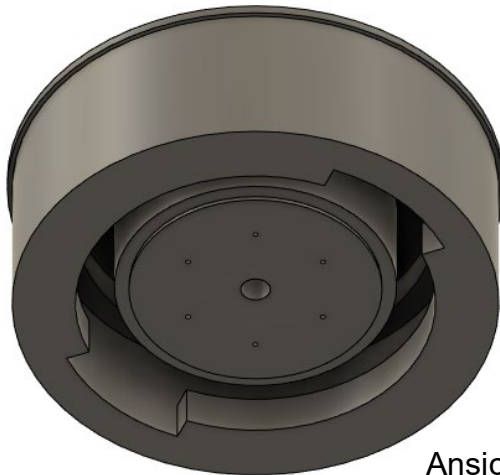
Ansicht schräg oben



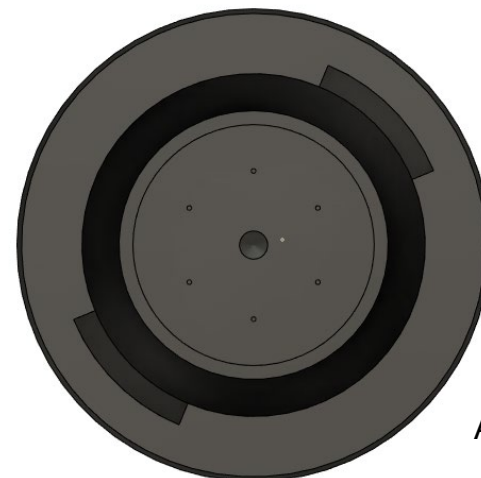
Ansicht oben



Ansicht rechts



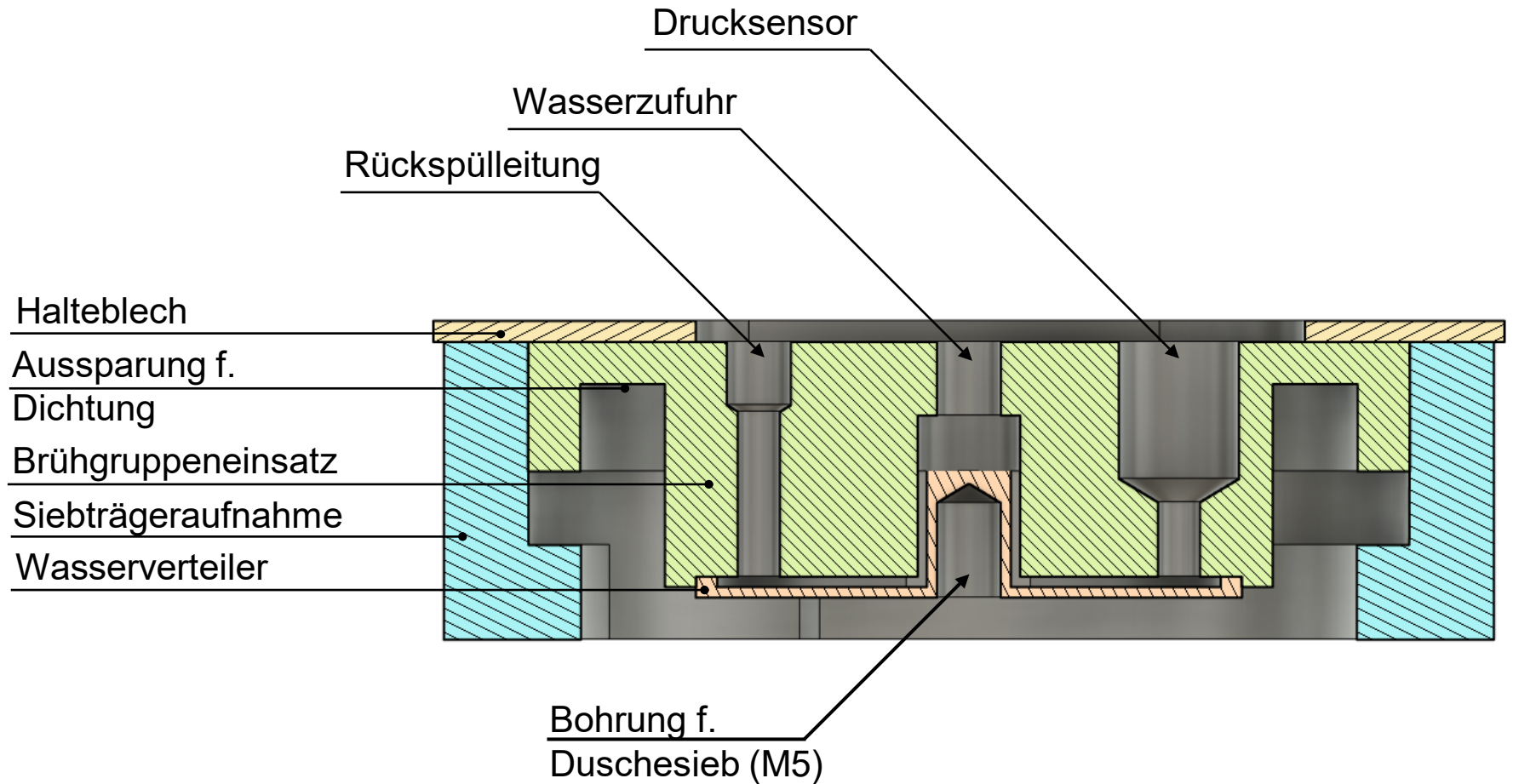
Ansicht schräg unten



Ansicht unten

Aktueller Konstruktionsstand

Schnittansicht der angepassten Brühgruppe



Ausgangssituation und Anforderungen

Freitragende Brühgruppe

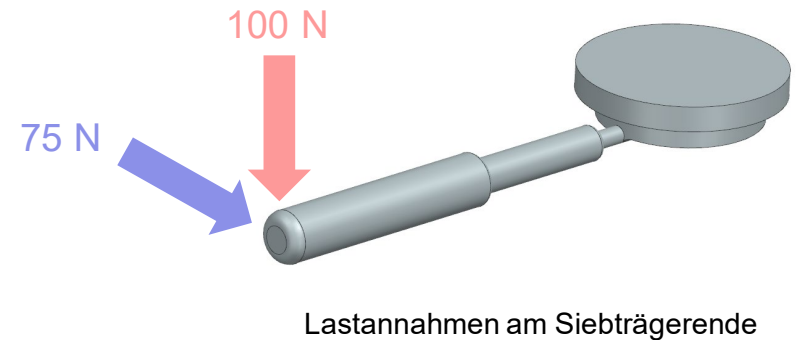
Grundanforderungen

- Befestigung der Brühgruppe
- Aufnahme der Verrohrung und Magnetventile
- Integration in das Gesamtkonzept der Maschine

Mechanische Anforderungen

- Ausreichende Versteifung der Struktur

➔ Ziel: Auslenkung des Siebträgers unter Kräfteinfluss minimieren

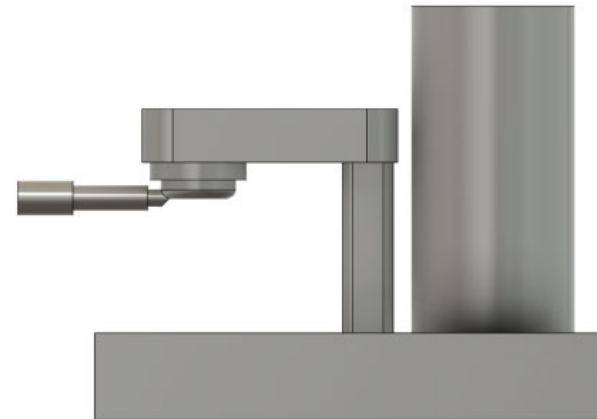
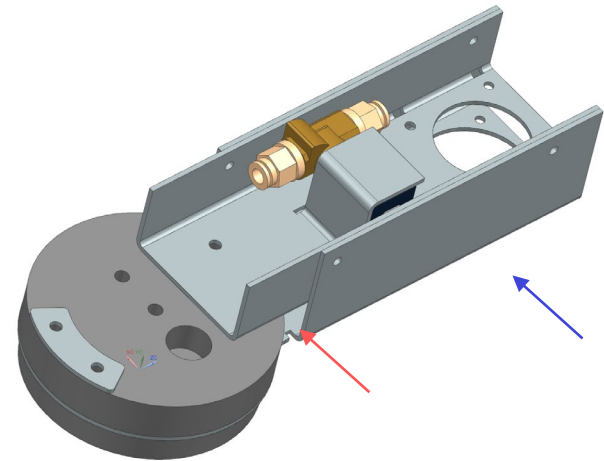


Erstes Konzept

Freitragende Brühgruppe

Blechkonstruktion

- Halte- und Versteifungsblech als U-Profil
- Vernietung der Bleche miteinander
- Unterbringung eines Magnetventils
- Halteblech sitzt zwischen Siebträgerhalter und Brühgruppeneinsatz



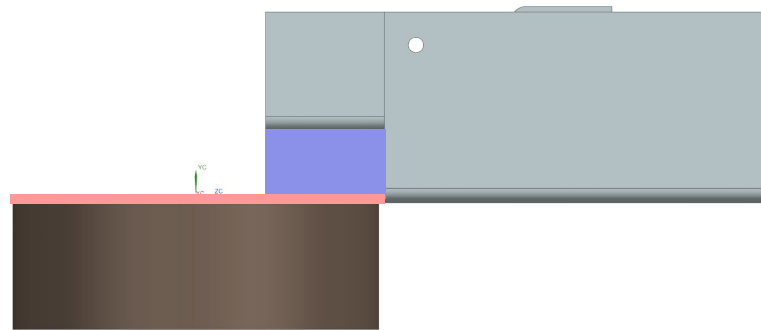
Designkonzept Glasboiler
Quelle: Felix Kistler

Änderungen durch Neukonstruktion der Brühgruppe

Freitragende Brühgruppe

Neue Schnittstellendefinition

- Anschrauben an **Unterseite** des Halblechs
- Ausgleichen des entstandenen **Freiraums** erforderlich

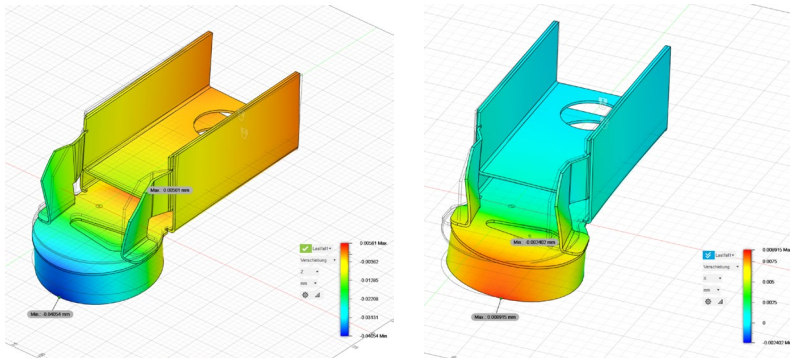
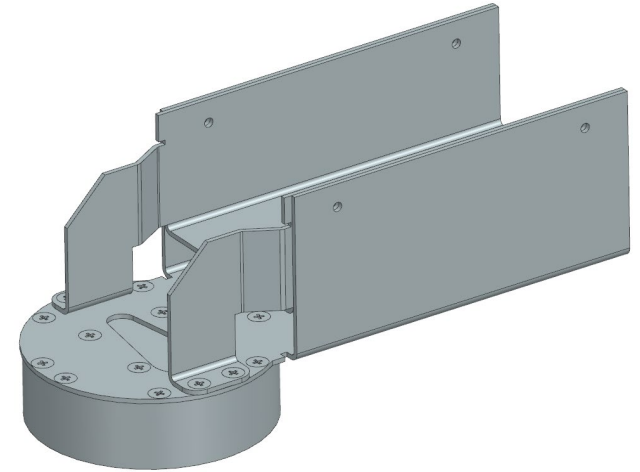


Konzeptionelle Änderungen an der freitragenden Brühgruppe

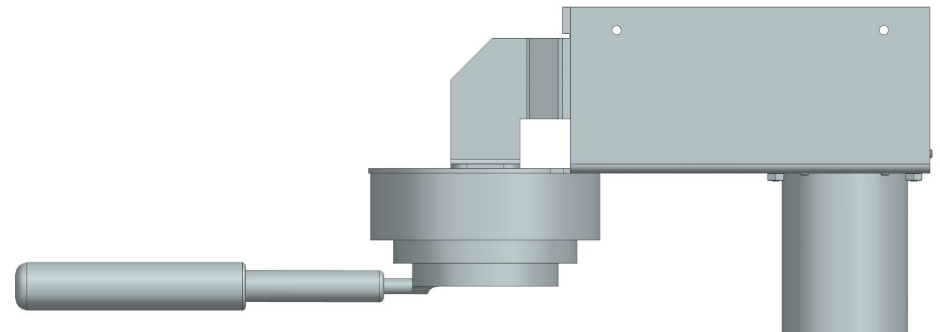
Finale Konstruktion

Freitragende Brühgruppe

- Grundkonzept wurde beibehalten
- Verlängerung des Versteifungsblechs über Brühgruppenmitte
- Versteifungsblech wird direkt mit Brühgruppe verschraubt
- Strukturvalidierung über FEM-Analyse



FEM-Strukturvalidierung



Finale Konstruktion der freitragenden Brühgruppe

Unterbringung der Magnetventile

Freitragende Brühgruppe

Ziel: Konzeptuntersuchung zur Unterbringung von 3 Magnetventilen in der freitragenden Brühgruppe

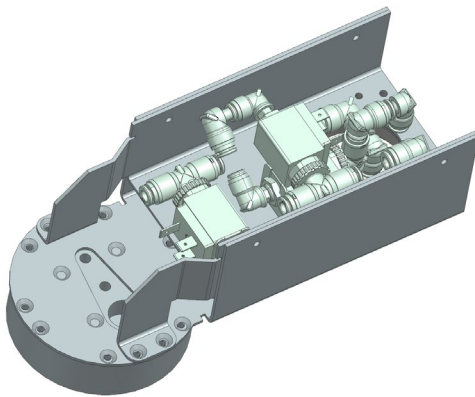
Vorteile:

- Minimierung von **Temperaturverlust**
- Dynamischere Regelung der **Wassertemperatur**

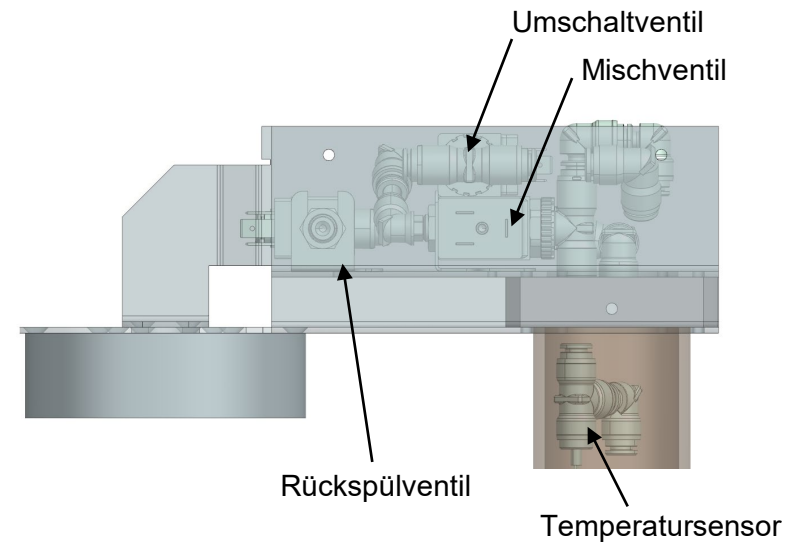
Ergebnis:

- Leitungsführung **zu verwinkelt**
- Höhe der Blechkonstruktion steigt

➔ 2 Ventile zurück in Unterbau verlegen



Anordnung der Magnetventile



Inbetriebnahme labortechnische Espressomaschine

Software und Hardware

08.08.2022 / Jan Budnick



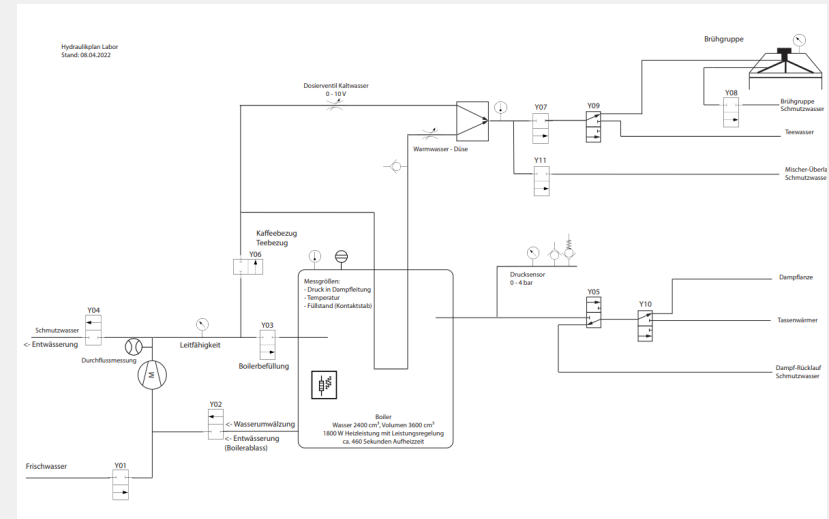
Hydraulischer und elektronischer Aufbau

• Hydraulikplan

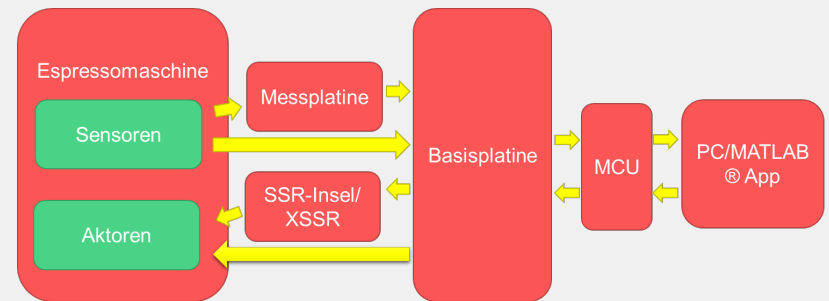
- Zentraler Dampfkessel
- Wärmetauscher für heißes Wasser
- Warmwasser wird durch Mischung erzeugt
- Dosierventil zum Dosieren des zuzumischenden Kaltwasser
- Getriebepumpe mit Drehzahlregler für Durchfluss
- Nach dem Wärmetauscher werden 2/2-Wegenventile gebraucht um Dampfbildung zu unterbinden
- Dies ist nicht ideal, deswegen wird in Zukunft ein 3/2-Wegeventil mit Überdruckventil verwendet

• Elektronischer Aufbau

- PC mit MATLAB® App zum Anzeigen und Bedienen
- Regler und Programme
- MCU steuert Aktoren an und liest Sensoren aus (in MicroPython)
- Basisplatine, Messplatinen und SSRs erweitern die Funktionalität der MCU



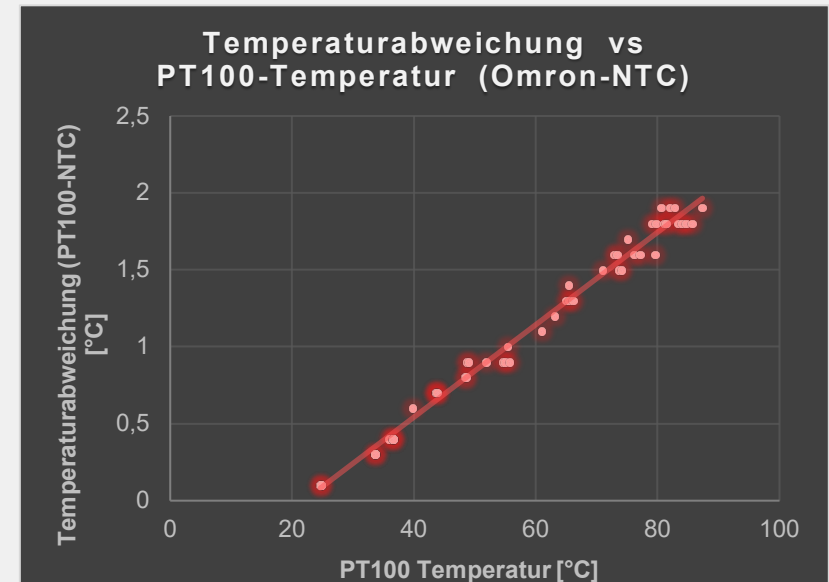
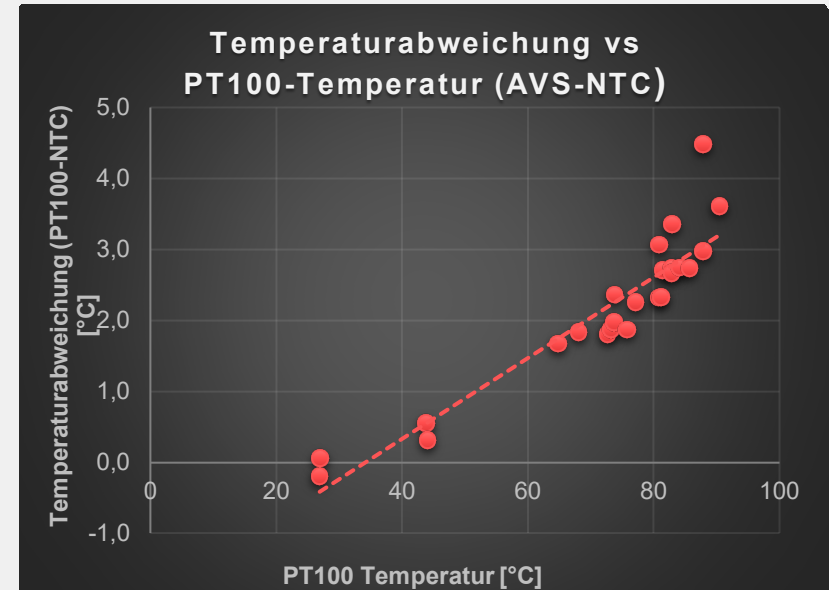
Hydraulischer Aufbau Espressoemaschine [64]



Elektronischer Aufbau Espressoemaschine [Eigene Darstellung]

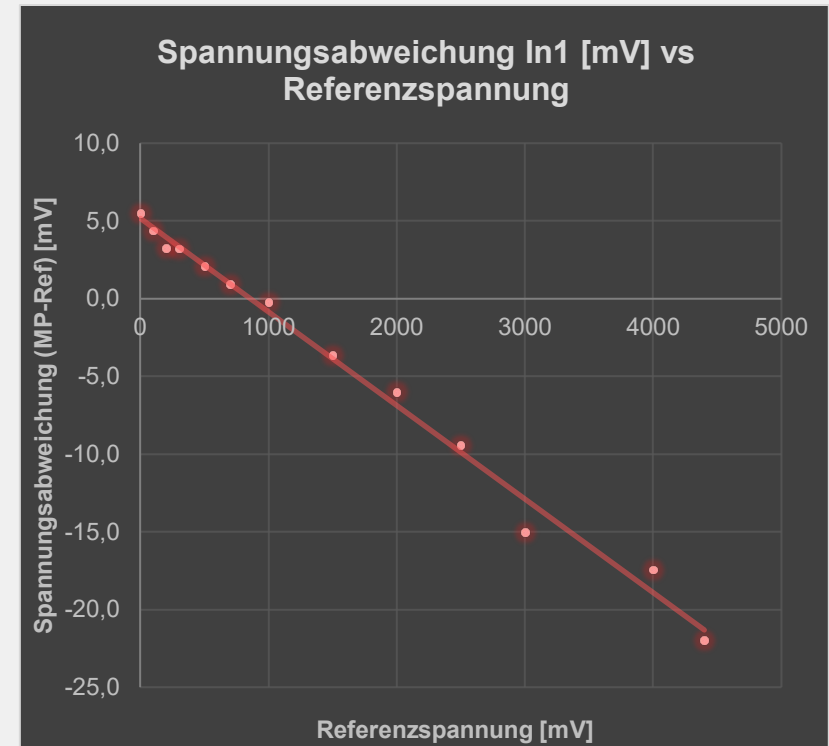
Sensorkalibrierung NTC

- Hintergrund
 - Die meisten verbauten Temperatursensoren sind NTCs
 - Temperatur/Widerstandskennlinie benötigt
 - Kann grob berechnet werden
- Kalibrierung
 - Zur Feinkalibrierung wird die berechnete Kennlinie verwendet und mit einem Referenzsensor verglichen (z.B. PT100)
 - PT100 wurde über eine NI-Messkarte in MATLAB® eingelesen
 - Beide wurden in ein Gefäß mit abkühlendem Wasser platziert (welches konstant gerührt wurde)
- Ergebnis:
 - Maximal 2 °C bzw. 4 °C Abweichung
 - Besonders das AVS-NTC hat eine hohe Wiederholungsungenauigkeit
 - Im Betrieb wurden starke Abweichungen zu einem anderen Sensor entdeckt (Kalibrierung verworfen)



Sensorkalibrierung Spannung

- Hintergrund
 - Die anderen Sensoren werden intern verarbeitet zu einer Spannung
 - Die Sensoren können Spannungen bis 5 V der MCU ADC nur bis 3,3 V
 - Spannungsmessplatine wirkt als Spannungsteiler und Filter.
Fertigungsbedingte Abweichungen müssen vermessen und kalibriert werden
- Kalibrierung
 - Ein Referenzspannungsgerät wird an die Eingänge der Spannungsmessplatine angeschlossen
 - Spannung wird stufenweise erhöht und mit der gemessenen Spannung verglichen
- Ergebnis:
 - Größte Abweichung +5 mV bis -22 mV bei 0-4400 mV Referenz
 - Da die meisten Messwerte aufgrund Nullpunktverschiebung <500 mV sind, ist der Fehler vernachlässigbar (~0,5 %)

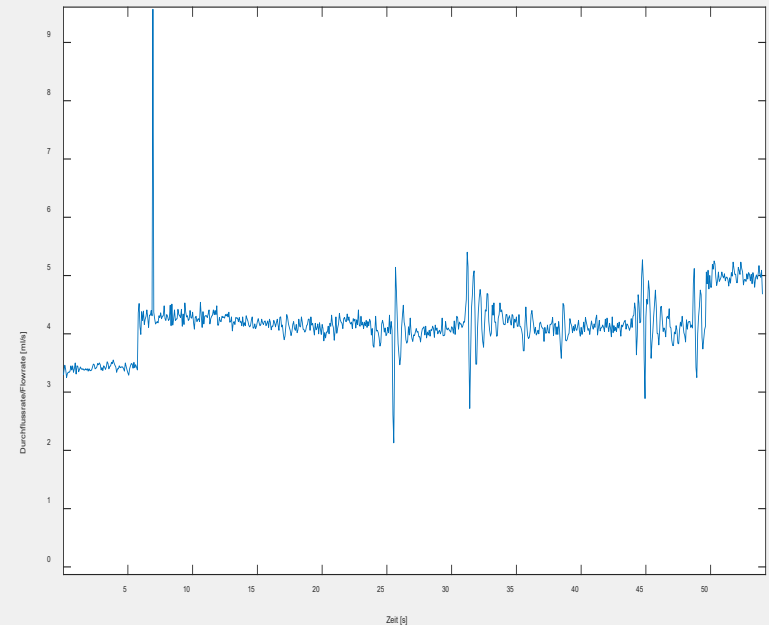


[Eigene Darstellung]

Pumpe und Flowmeter

- Pumpe (Fluid-O-Tech FG300/4)
 - Getriebe/Zahnradpumpe (0,3 ml/U)
 - Ansteuerspannung 300-5000 mV
 - 1 mV=1 U/min (Drehzahlregelung)
- Flowmeter (Digimesa Nano Brass 1 mm)
 - 39,9 Impulse pro ml
 - Impulse lösen einen MCU-Interrupt aus, in dem dann die Flowrate berechnet wird
 - Voruntersuchungen durch J. Naumann haben ergeben, dass es etwa eine 10% Abweichung zwischen Messwert und Istwert gibt
- Weitere Beobachtungen:
 - Die Pumpe pulsiert und bei schnellen Druckänderungen fängt der Drehzahlregler der Pumpe an zu schwingen
 - Die Flowrate driftet über der Zeit etwas und ab und an gibt es starke Messspitzen (womöglich durch die MCU verursacht)

Durchflussschwankungen bei Bezug von Wasser aus dem Festwasseranschluss ohne Glättung



Darstellung Durchflussschwankungen bei statischer Pumpenansteuerspannung
[Eigene Darstellung]

Dosierventil, Drosseln und Pumpenbypass

- Hintergrund
 - Pumpe erzeugt min. 1,5 ml/s
 - Hohe Leistungsreserve
 - Starker Druckanstieg bei Drosselung
 - Festwasseranschluss erzeugt Durchfluss
- Bypass und direkte Drosselung
 - Ein Teil des Durchflusses kann durch eine Drossel wieder vor die Pumpe gebracht werden, zur Reduktion des starken Druckanstieges
 - Keinen Einfluss auf den max. Durchfluss und Druck aufgrund der Leistungsreserve
 - Drossel direkt nach der Pumpe würde den maximalen Fluss und Druck begrenzen
 - Ein verstellbares Dosierventil könnte den Durchfluss bis 0 ml/s regeln
- Vorhandenes Dosierventils (AVS EFC-11):
 - Verzögerung kleine Verstellung: ~0.5 s
 - Verzögerung große Verstellung: ~ 1 s
 - Eigenentwicklung + Alternative in Planung

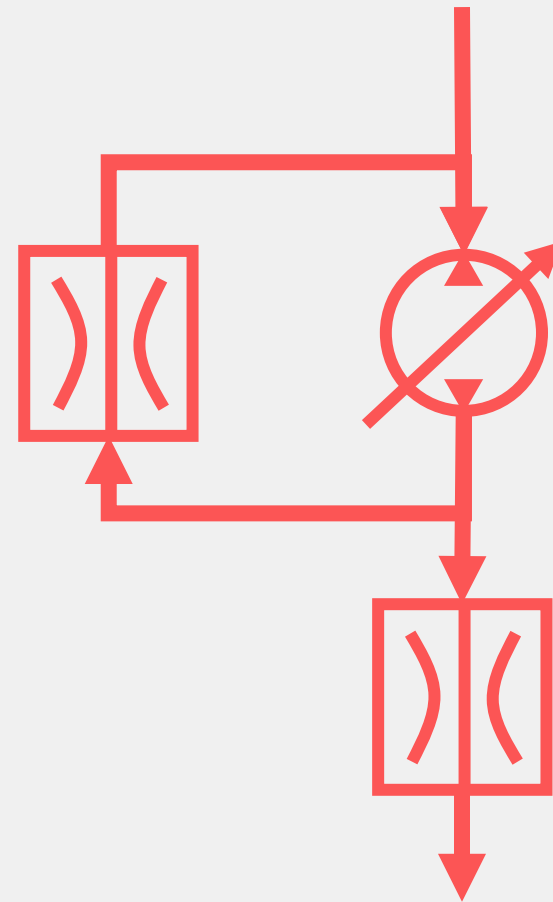


Abbildung Pumpenbypass und Drosselung
[Eigene Darstellung]

MCU Code

Messwertglättung, -übertragung und Befehlsausführung

Auf der MCU befinden sich verschiedene Funktionen zum Auslesen, Glätten und Übertragen der Messwerte. Dies ist notwendig, da Flowrate und Mischwassertemperatur stark schwanken. Zudem kommt die Befehlsausführung in einer Zeile. Die Befehle werden der MCU durch die REPL (Interaktive Kommandozeile) übertragen, welche diese live auswertet und das Ergebnis zurücksendet

- „act“-Funktion

- Ermöglicht das Stellen aller Aktoren in einer Kommunikationszeile
- Spart Kommunikationszeit
- Erlaubt bei Fehlkommunikation (abgeschnittene Befehle) alle Aktoren in einen definierten Zustand zu bringen. Diese entsteht wahrscheinlich durch Unterbrechung
- Erlaubt die Überprüfung der Sensorwerte bevor die Aktoren gestellt werden (z.B. Pumpe aus bei 12 bar Brühgruppendruck)

- Timerfunktion

- Messwerte werden im Timertakt eingelesen und in ein Schieberegister platziert
- Mittelwerte werden im Timertakt/Prescaler gebildet und mit den anderen Messwerten an die App übertragen
- Druck wird geprüft um ein Überdruck bei Kommunikationsverlust zu verhindern

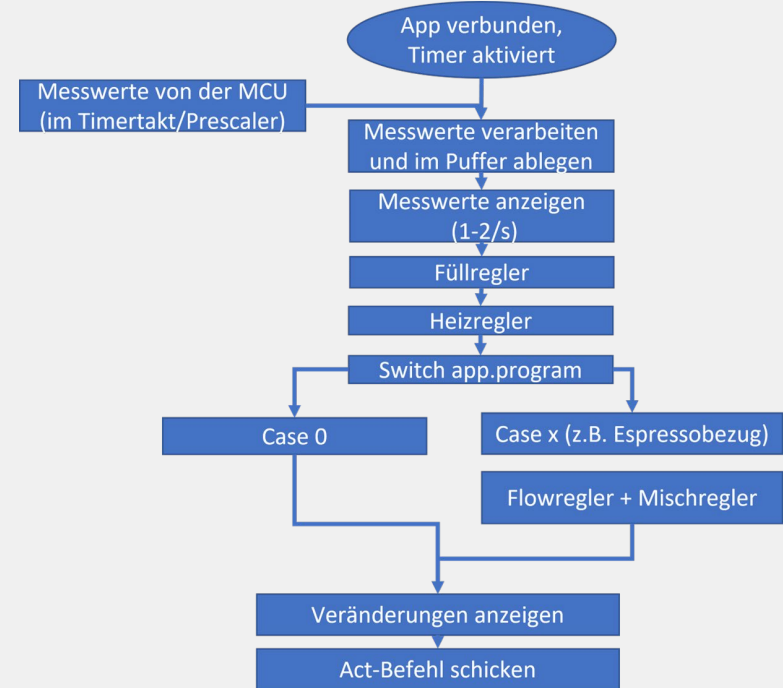
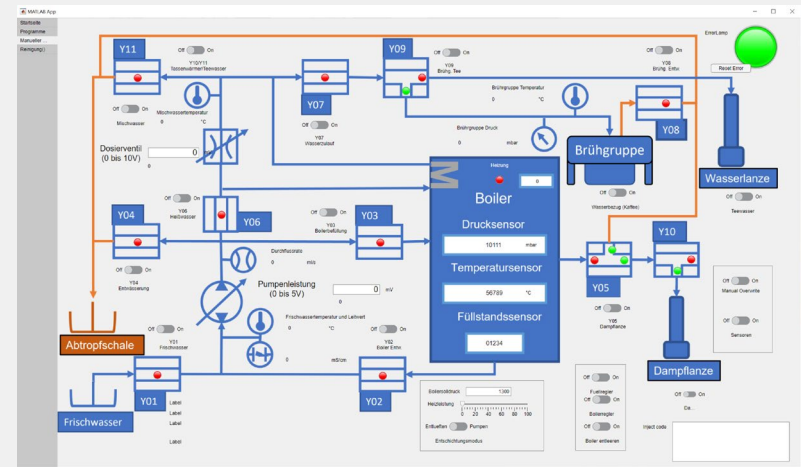
- Flowmeter Impuls-Callback

- Jeder Impuls führt zu einem Aufruf
- Flowrate wird aus der Zeit zwischen Aufrufen berechnet
- Wird mit dem Mittelwert verglichen (relative und absoluten Toleranz)
- Bei Überschreiten der Toleranz wird der Messwert verworfen, ansonsten wird der Messwert in ein Schieberegister eingetragen (20 Messwerte, 1 ml/s → 0,5 s Verzögerung)
- Der Mittelwert wird im Callback berechnet da die Timerfunktion nur Int-Rechnung kann

Aufbau App

App ist callbackgetriebener Zustandsautomat mit übergeordneten Reglern

- Callback durch MCU-Kommunikation
 - Nachricht wird analysiert
 - Befehlsecho und Fehler werden angezeigt und in Registern abgespeichert
 - Bei Fehlerdetektion werden Aktoren erneut gestellt
 - Bei Messwertdetektion wird das Hauptprogramm (Anzeigen, Regler und Programme) einmal abgearbeitet
 - Regler werden zuerst ausgeführt, da sie Sicherheitsrelevant sind
 - Der Zustandsautomat ist als switch(case) angelegt, jedes Case ist ein Zustand
 - Veränderungen werden vorgemerkt und erst am Ende durchgeführt (Aktoren)
- Callback durch GUI-Interaktion
 - Zustand der Maschine wird geprüft
 - Bei sicherem Zustand wird der Zustand gewechselt



Füllregler, Heizregler und Entschichten

Um den gewünschten Kesseldruck zu erreichen und sicherzustellen, dass dabei die Wasserwendel und Heizspirale immer benetzt sind, werden ein Füllregler und ein Heizregler benötigt. Beim Aufheizen bilden sich Temperaturschichten welche aufgebrochen werden müssen. Beide sind durch eine Reihe von If-Abfragen implementiert

- Füllregler

- Füllstand: Ein Peilstab mit Kurzschlussdetektion
- Es wird überfüllt um Falschmessung aufgrund Vibration zu verhindern und Dampfbezug zu ermöglichen
- Beim Heizen ist die Messung Fehleranfällig → Füllregler unterdrückt
- Programme würden durch Füllen unterbrochen werden → Füllregler unterdrückt

- Heizregler (2-Punktregler)

- Heizen ist nur erlaubt wenn der Füllstandsregler an ist, dieser nicht nachfüllt und in den letzten 5 Messwerten der Füllstand mindestens einmal voll war
- Geheizt wird bei $\text{Druck} < (\text{Solldruck} - 50 \text{ mbar})$ bis zum Erreichen des Solldrucks
- Beim ersten Einschalten wird zum gewählten Entschichtungsprogramm gewechselt, bis der Siedepunkt erreicht ist (Ausführung als Programm unterbindet andere Programme)
- Nach Erreichen des Siedepunktes wird der Kessel kurz weiter entlüftet und die Wasserwendel durchgespült

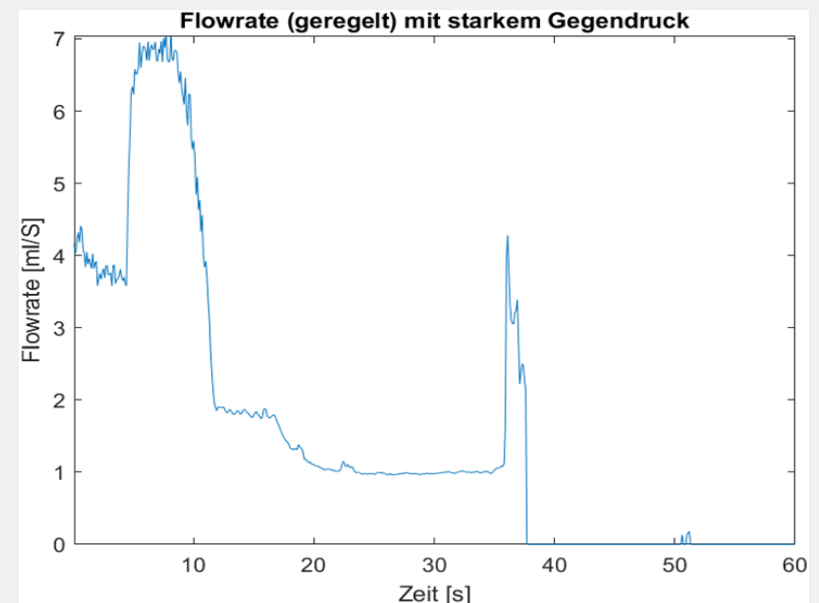
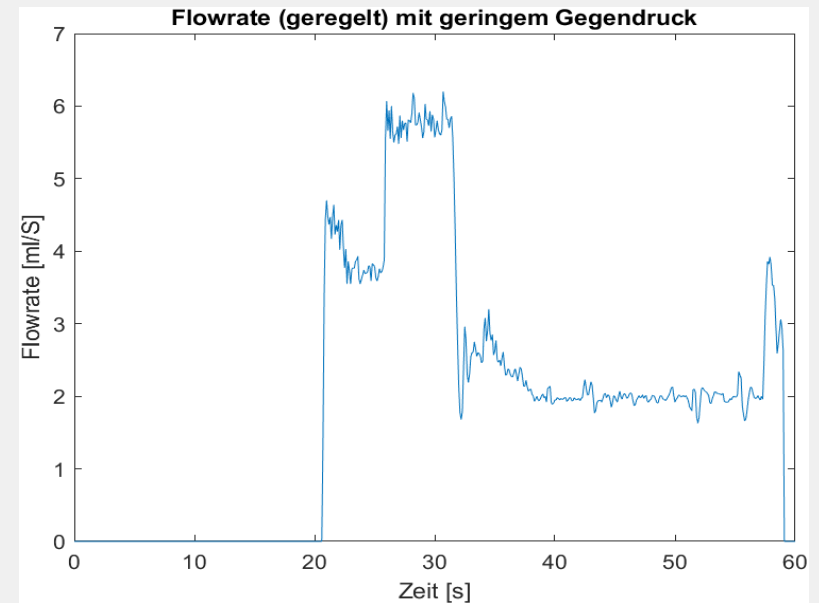
- Entschichten

- Entweder umpumpen und entlüften um Luft aus dem Kessel zu lassen oder nur entlüften
- Beide unterscheiden sich nicht signifikant in Aufheizzeit (12,5 min bis 1300 mbar) oder der erreichten Endtemperatur (unten gemessen)

Flowregler

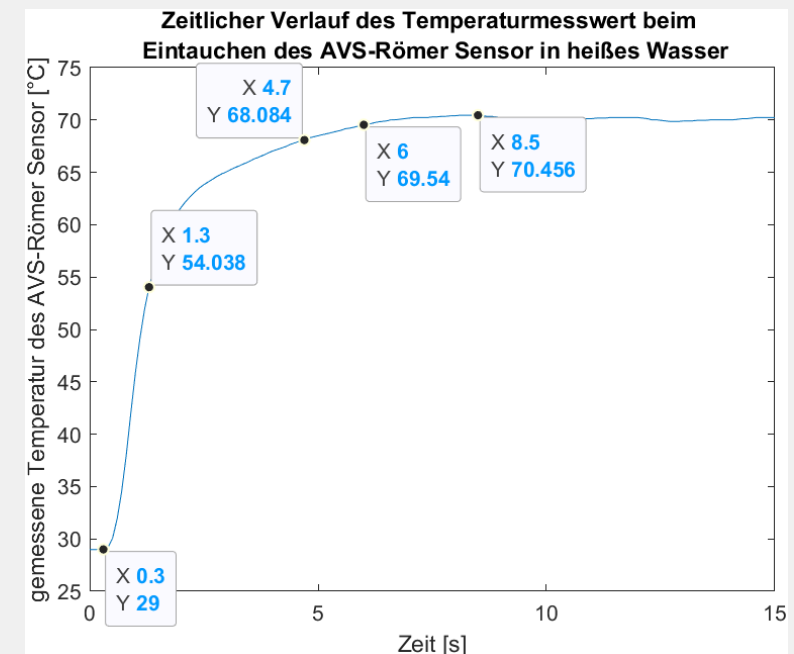
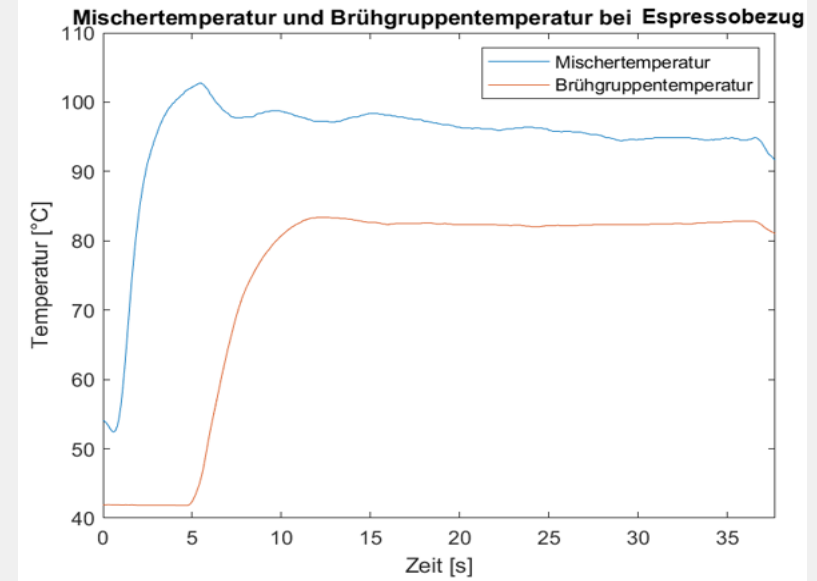
Besonders für den Espresso bezug werden Flowrate und Wassertemperatur geregelt. Dafür werden PID-Regler verwendet. Beide sind als aufrufbare Funktion implementiert.

- Flowregler:
 - Input: Sollwert, Reglerverstärkungen (zz. aus Editfields der GUI) und Pumpenlimit
 - Output: Pumpenansteuerspannung
 - Neigt zu Stop-and-Go
 - P-Anteil verstärkt Schwingungsneigung der Pumpendrehzahlregelung
 - D-Anteil (Keine Verbesserung)
 - Ungenau ohne Gegendruck und langsam
- Verbesserungen:
 - Glättung durch Regressionsansatz
 - Adaptive Mittelwertlänge
- Maximale Flowrate
 - Limitiert durch v.a. Mischdrosseln
 - Hohe Temperatur etwa 10 ml/s
 - Niedrige Temperatur etwa 20 ml/s



Mischwassertemperaturregler

- Generelle Beobachtungen
 - Input: Sollwert, Reglerverstärkungen, Vorsteuerung
 - Output: Dosierventilansteuerspannung
 - D-Anteil (Keine Verbesserung)
 - Dauerhafte Wärmeverluste ($<5^{\circ}\text{C}$)
 - Wärmekapazitäten ($>10^{\circ}\text{C}$)
- Verzögerungen
 - Zu viele Verzögerungen im System -> zu langsam
 - Dosierventil
 - Temperatursensor
 - Strecke (Leitungslänge)
 - Vorsteuerung kompensiert Verzögerungen
- Lösungsvorschläge:
 - Kunststoffmagnetventile
 - Kurze Leitungslängen
 - Möglichst nah an die Brühgruppe
 - Schnellere Sensoren und Aktoren
 - (Kaskadenregelung) mit Brühgruppentempersensor



[Eigene Darstellung]

Hochschule
München
University of
Applied Sciences

Fakultät 03 – Maschinenbau
Labor für Schwingungsanalyse

Forschungsmaster

Vorstellung Forschungsthemen

08.08.2022, Patricia Viebke



Profil

Patricia Viebke

- Geboren in Zagreb / HR
- 26 Jahre alt
- Werkstudentin bei ARRK Engineering (Software/Electronic)

Freizeit

- Sport (Fitness, Tennis)
- Kochen
- Reisen

Akademischer Werdegang

- Biotechnologie (HSWT Weihenstephan)
- Maschinenbau (Hochschule München)

Projektarbeit: Inbetriebnahme Messsystem für E61 Espressomaschinen

Bachelorarbeit: Fortsetzung der Projektarbeit

Projekte

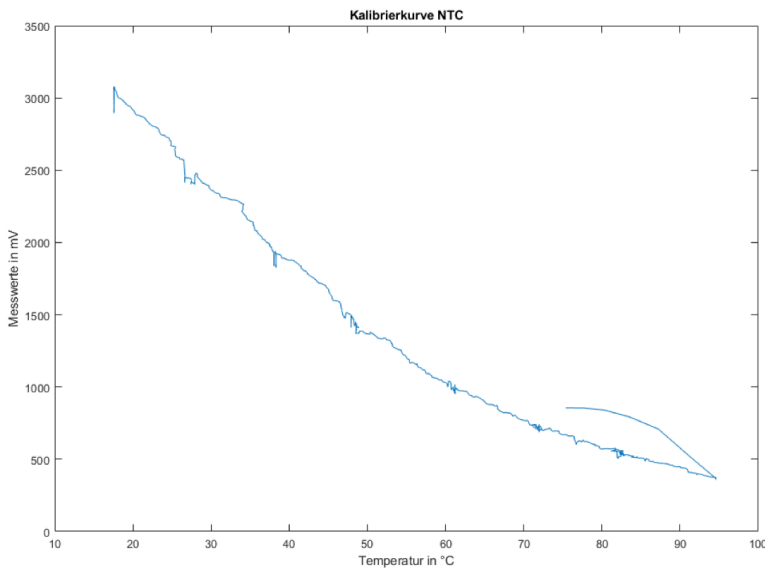
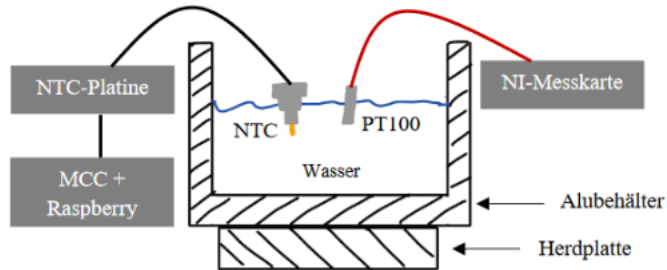
Masterübersicht und Projektarbeit I

Finalisierung der Inbetriebnahme des Pumpenprüfstandes

Aufgaben:

- Brückenschaltungsplatine
- Verrohrung überprüfen
- Inbetriebnahme Software des STM32 Microcontrollers
- Adaption eines Motorcontrollers

Ziel: Kennlinien für Druck- und NTC Sensoren aufnehmen (Kalibrierung)



Projekte

Betreuung von Projektgruppen

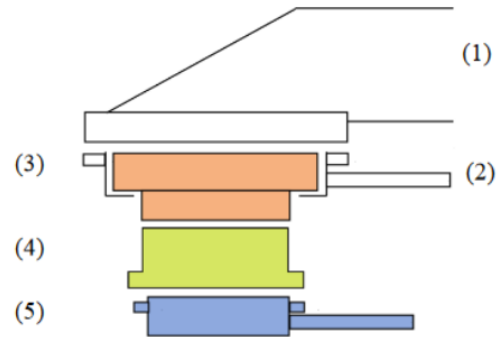
Neukonstruktion eines Wägesystems für Wägezelle Zemic Q47

Aufgaben:

- Konstruktion eines Wägesystems
- Brückenschaltungsplatine
- Aufnahme Kennlinie
- In Programmcode integrieren
- Kaffeebezüge messen

Ziel: zuverlässiges Messen der Menge des Kaffeeausflusses

Adaption des Messsystems an nE61 Espressoemaschinen



Aufgaben:

- Neuentwicklung/Optimierung der Konstruktion
- Drucksensor und NTC einkleben
- an nE61 Kaffeemaschine testen

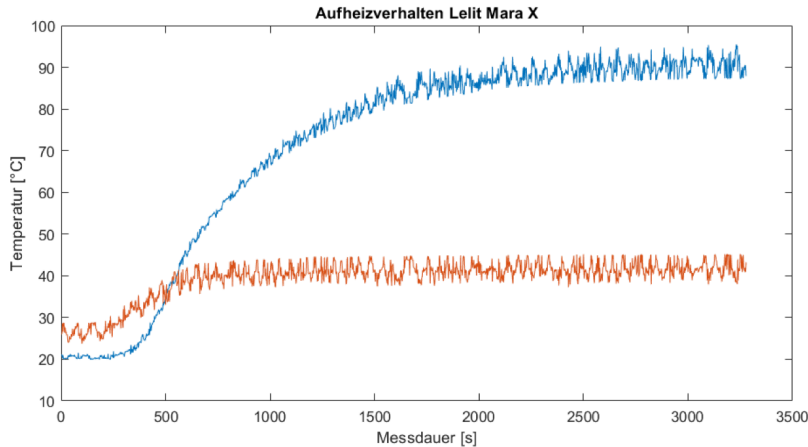
Ziel: Druck und Temperatur vor dem Kaffeepuck bei nE61 Kaffeemaschinen messen

Projekte

Projektarbeit II und Masterarbeit

Finalisierung Inbetriebnahme

Messsystem für E61 Siebträgermaschinen



Aufgaben:

- Elektronikplatine mit Signalaufbereitungen
- Integration neuer Drucksensoren
- Kennlinien in Code einpflegen
- Testen an E61 Maschine

Ziel: korrekte Erfassung von Messwerten

Vermessen von Siebträgermaschinen mit und ohne E61 Brühgruppe

Aufgaben:

- Adaption des Messsystems
- Aufheizverhalten und Kaffeebezüge messen
- Messergebnisse auswerten
- Rückschlüsse auf Verhalten der Maschinen ziehen

Ziel:

Vergleich verschiedener Maschinen anhand gemessener Parameter (Druck, Temperatur, Durchflussrate, Durchflussmenge)

Hochschule
München
University of
Applied Sciences

FK03
Labor für Schwingungstechnik
und Maschinendynamik

Weiterer Projektverlauf

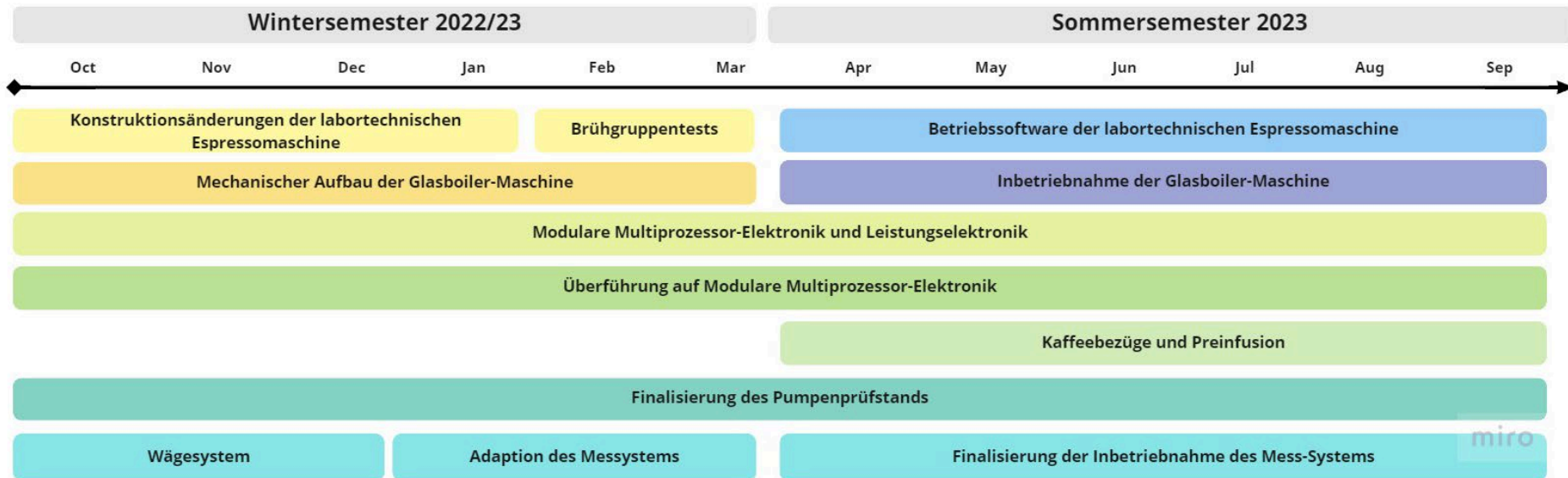
Technische Beeinflussbarkeit der Geschmacksache Kaffee

08.08.2022 Dipl.-Ing. Armin Rohnen LbA, Felix Kistler



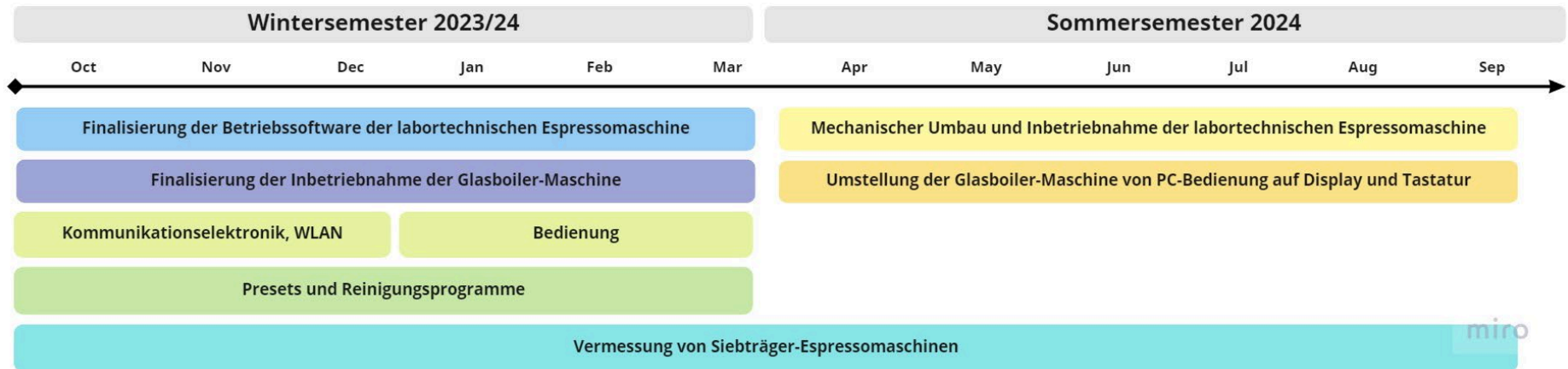
Weiterer Projektverlauf

Roadmap Wintersemester 2022/23 und Sommersemester 2023



Weiterer Projektverlauf

Roadmap Wintersemester 2023/24 und Sommersemester 2024



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!



[Quelle: <https://wall.alphacoders.com/big.php?i=304892>]