

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN **MÜNCHEN**

Hochschule München
Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik

Projektarbeiten

Sommersemester 2020

Weiterführung der Konstruktion einer Siebträger-Espressomaschine

Entwicklung einer labortechnischen Espressomaschine

Erstellt von:

Tobias Blädel	FAB7	55527016	blaedel@hm.edu
Til Ahlgrim	MBB5	01569017	til.ahlgrim@hm.edu
Lukas Ankner	MBB6	17981317	ankner@hm.edu
Yasin Bolat	FAB6	01302917	ybolat@hm.edu
Fabian Weber	MBB7	01564617	weber1@hm.edu
Florian Michal	MBB7	00592417	f.michal1@hm.edu

Betreuer:

Dipl. -Ing. Armin Rohnen

Abgabedatum:

22.09.2020

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit wird erklärt, dass die Arbeit mit obigem Thema selbstständig verfasst und noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt wurde. Weiterhin sind keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel verwendet und wörtliche sowie sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet worden.



Tobias Blädel



Til Ahlgrim



Lukas Ankner



Yasin Bolat



Fabian Weber



Florian Michal

Kurzfassung / Abstract

Verfasst von Lukas Ankner

Ziel dieser Projektarbeit ist es verschiedene Siebträger Espressomaschinen zu entwickeln, wobei vorangegangene Projekt- und Bachelorarbeiten als Grundlage dienen. Wesentliche Ziele dieser Arbeit sind die Boilerauslegung für verschieden große Stahlboiler und einen Boiler aus Borosilikatglas, die Konstruktion der Grundrahmen der unterschiedlichen Modelle, sowie die Auslegung und Konstruktion der Brühgruppe zusammen mit dem Siebträger.

The aim of this project is to develop different sieve carriers espresso machines. Previous project and bachelor theses serve as a basis. The main objectives of this work are the boiler design for different steel boilers and a borosilicate glass boiler, the construction of the basic frames of the different models, as well as the design and construction of the brewing group together with the sieve carrier.

Abkürzungsverzeichnis

PTFE	Polytetrafluorethylen
NTC	Negative Temperature Coefficient Thermistor
CAD	computer-aided design
FDA	Food and Drug Administration
PA12 GF30	Polyamid mit 30% Glasfaseranteil
3-D	Dreidimensional
PVDF	Polyvinylidenfluorid

Nomenklatur

Symbol	Name	Einheit
P_{Heiz}	Gesamtleistung des Heizelements	W
$P_{Heiz,A}$	Oberflächenbelastung des Heizelements	W/m
d_{heiz}	Durchmesser des Heizelements	m
l_{Heiz}	Länge des Heizelements	m
r_{Biege}	minimaler Biegeradius des Heizelements	m
h_{heiz}	Höhe des Heizelements im eingebauten Zustand	m
x_{boden}	Abstand der mittleren Biegung des Heizelements vom Boilerboden	m
V_w	Volumenstrom in der Wasserwendel	m/s
T_{Ein}	Eintrittstemperatur in Wasserwendel	K
T_{Aus}	Austrittstemperatur aus Wasserwendel	K
T_{Boiler}	Temperatur Boiler-Wasser	K
$T_{Wand,ein}$	Wandtemperatur am Eingang der Wasserwendel	K
$T_{Wand,aus}$	Wandtemperatur am Ausgang der Wasserwendel	K
T_{log}	logarithmische Temperaturdifferenz	K
α_a	Wärmeübergangskoeffizient Wendel – Boiler-Wasser	W/m ² K
α_i	Wärmeübergangskoeffizient Wasser in Wendel	W/m ² K
λ_{V2A}	Wärmeleitfähigkeit Edelstahl	W/mK
λ_w	Wärmeleitfähigkeit Wasser	W/mK
$c_{p,w}$	Wärmekapazität Wasser	J/kgK
ρ_w	Dichte Wasser	kg/m ³
Pr_w	Prandtlzahl Wasser	-
Pr_{wand}	Prandtlzahl Wasser an Wand	-
D	mittlerer Krümmungsdurchmesser der Wasserwendel	m
D_{Wendel}	mittlerer Durchmesser der Wasserwendel	m
h_{wendel}	Steigungshöhe der Wasserwendel	m
d_{wendel}	Innendurchmesser der Wasserwendel	m
$d_{wendel,aussen}$	Außendurchmesser der Wasserwendel	m
l_{wendel}	Länge der Wasserwendel	m
Re_{krit}	kritische Reynoldszahl bei durchströmter Wendel	-
Re	Reynoldszahl	-
ν_w	kinematische Viskosität Wasser	-
v_w	Strömungsgeschwindigkeit Wasser durch Wendel	m/s
Nu	Nußeltzahl	-
Q_w	Wärmestrom Wasser	W
m_w	Massenstrom Wasser	-
ζ	Druckverlustbeiwert Rohrwendel	-
Δp	Druckverlust der Rohrwendel	N/m ²
V	Boilervolumen	m ³
L	Boilerlänge	m
r	Boilerradius	m
h	Wasserstand	m
p_B	Druck bei dem Bruch stattfindet	bar
p_{bl}	Druck bei dem mit bleibende Dehnung zu rechnen ist	bar
s_v	Mindestwandstärke	mm

Inhaltsverzeichnis

Eigenständigkeitserklärung	II
Kurzfassung / Abstract	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
Nomenklatur	V
Inhaltsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Konstruktion und Auslegung der Boilervarianten	2
2.1 Borosilikatglasboiler	2
2.1.1 Grundlegende Funktionsweise	3
2.1.2 Grundaufbau, Abdichtung und Verspannung	4
2.1.3 Durchführungen und Sensorik	5
2.1.4 Festigkeitsrechnungen und Berechnung der Verspannung	6
2.2 Edelstahlboiler	7
2.2.1 Isolierung	10
2.2.2 1,8l Boiler	11
2.2.3 3,6l Boiler	12
2.2.4 7,2l Boiler	17
2.3 Heizelemente	20
2.4 Wasserwendeln	21
2.4.1 Thermische Auslegung	21
2.4.2 Berechnung des Druckverlusts	24
2.4.3 Vergrößerung durch Innendruck	25
2.5 Lessons Learned	25
2.6 Ausblick und weitere Aufgaben	26
3 Konstruktion des kalten Siebträgers	27
3.1 Konstruktion des Auslaufs als 3-Teile-Prinzip	27
3.1.1 Innenring	27
3.1.2 Außenring	27
3.1.3 Auslauf	28
3.1.4 Auslauf Alternativ	28
3.2 Modelle für den 3D-Druck	29
3.2.1 Innenring, Außenring, Auslauf – kombiniert	29
3.2.2 Siebträger mit Auslauf	29

3.2.3	Festigkeitsnachweis der Schwachstelle am 3D-Modell.....	31
4	Konstruktion der Brühgruppe	32
4.1	Brühgruppeneinsatz	32
4.2	Siebträgeraufnahme.....	33
4.3	Trägerblech.....	34
4.4	Brühgruppe aus PA12	34
4.5	Festigkeitsberechnung kalte Brühgruppe	36
4.6	Ausblick und weitere Aufgaben.....	46
5	Konstruktion der Grundrahmen.....	47
5.1	Variante Labor und Home	47
5.1.1	Funktioneller Aufbau.....	47
5.1.2	Konstruktion des Grundrahmens	58
5.2	Variante Style	66
	Abbildungsverzeichnis.....	69
	Tabellenverzeichnis	71
	Literaturverzeichnis.....	71

1 Einleitung

Verfasst von Lukas Ankner

Durch die immer besser werdenden Technologien heutzutage, werden auch die Anforderungen an elektrische Maschinen immer höher. Somit ist es wichtig, dass sich eine Maschine auf dem Markt gegenüber zahlreicher Konkurrenz durchsetzen kann. Dies gelingt allerdings nur, wenn die dahinterstehende Entwicklung ein Erfolg war. Dazu gehören sowohl die Abstimmung aller Komponenten zueinander, als auch die Entwicklung bzw. Verbesserung von bestehenden Technologien und Innovationen.

Damit alle Komponenten einen Platz einnehmen können, an dem sie einen aufgeräumten Eindruck erwecken, ist der Bau eines Grundrahmens von hoher Wichtigkeit. Zudem ist dieser für die Stabilität und die Größe der gesamten Maschine zuständig. Zu klein darf dieser demnach nicht werden, um keine Stabilität zu verlieren und zu groß wäre die Maschine unhandlich.

Es sollen die Grundrahmen für die Variante „Labor“, „Home“ und „Style“ entwickelt werden, wobei möglichst viele Gleichteile verwendet werden sollen. Der Platzbedarf orientiert sich an der „Dalla corte mina“, welche bereits auf dem Markt ist.

Das Herzstück einer jeden Espressomaschine ist der Boiler, welcher für die Warmwasserversorgung und zur Heißdampfentnahme dient. Die Boiler müssen deshalb genau ausgelegt werden, um mit den Anforderungen der Konkurrenz mithalten zu können. Es werden ein 1,8 l, 3,6 l und 7,2 l Stahlboiler sowie ein Borosilikatglasboiler mit einem Volumen von 1,99 l ausgelegt und konstruiert, sodass jeweils ein Prototyp daraus gebaut werden kann.

Um die Maschinen perfekt auf sich abzustimmen wird zusätzlich noch eine Brühgruppe auskonstruiert. Auch verschiedene Modelle eines wärmeisolierenden Siebträgers werden entworfen. Diese werden ebenfalls so konzipiert, dass Prototypen daraus angerfertigt werden können.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der oben genannten Ausarbeitungen dokumentiert und erläutert.

2 Konstruktion und Auslegung der Boilervarianten

Verfasst von Tobias Blädel und Til Ahlgrim

Für die Siebträger-Espressomaschinen der Modelle Barista, Home und Style sowie für die labortechnische Espressomaschine wurden vier verschiedene Boiler Varianten konstruiert und ausgelegt. Dabei handelt es sich, für die labortechnische Espressomaschine sowie für die Varianten Home und Barista, um Boiler aus Edelstahl in den Volumina 1,8 l, 3,6 l und 7,2 l. Für die Espressomaschine „Style“ handelt es sich um einen Boiler aus Borosilikatglas mit einem Volumen von 1,95 l.

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der Projektarbeit [1] „Konstruktion von vier Siebträger-Espressomaschinen“ als Ausgangspunkt dieses Arbeitspaketes verwendet. Als Grundlage für den Borosilikatglasboiler dienten die Bachelorarbeit „Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine“ [2] sowie die Projektarbeit „Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung an einem Borosilikatglasboiler“ [3].

Die in [1] bereits ausgelegten Druckbehälter aus Edelstahl für Volumina von 1,8 l und 3,6 l wurden in dieser Projektarbeit weitgehend übernommen. Neu entwickelt wurde dabei ein Heizelement und eine Wasserwendel, welche in allen Boilervarianten verwendet werden können. Ebenso neu entwickelt wurde ein 7,2 l Boiler, der auf dem 3,6l Boiler basiert. Um Kosten und Entwicklungsaufwand zu sparen, wurde auch hier auf möglichst viele modellübergreifende Teile geachtet.

Der Borosilikatglasboiler wurde ebenfalls neu konstruiert und ausgelegt, da kein Modell mit dem gewünschten Volumen vorlag. Dabei wurde im Vergleich zum Vorgängermodell ein Zweikreismodell mit einer Wasserwendel für den Bezug von Kaffeewasser entwickelt. Ebenso wurde eine neue Variante der Abdichtung entwickelt sowie ein neues Konzept für Durchführungen. Außerdem wurde Sensorik zur Temperaturmessung und Füllstandmessung in den Boiler integriert.

2.1 Borosilikatglasboiler

Verfasst und bearbeitet von Tobias Blädel

Abbildung 1 auf der rechten Seite zeigt eine gerenderte Bildschirmaufnahme des fertigen CAD-Modells. Wie deutlich zu erkennen ist, erhält man durch zwei Glaszyliner einen Einblick in das Innenleben des Boilers. Eigentlich verborgene Vorgänge, wie beispielsweise das Aufheizen, werden durch das Aufsteigen von Bläschen am Heizelement sichtbar. Ein weiteres optisches Alleinstellungsmerkmal des Boilers ist das Zusammenspiel aus Glas und dem Boden sowie Deckel aus Messing, wodurch die Optik eines Röhrenverstärkers erweckt wird. So lässt sich eine Espressomaschine in Retrooptik realisieren. Der Boiler wird so vom rein funktionalen Bauteil zu einem optischen Highlight aufgewertet.



Abbildung 1: gerendertes CAD-Modell des Borosilikatglasboilers

2.1.1 Grundlegende Funktionsweise

Verfasst und bearbeitet von Tobias Blädel

Abbildung 2 zeigt das Innenleben des Boilers. Ausgeblendet wurden dabei die Verspannung, der Deckel, sowie die Glaszyliner.

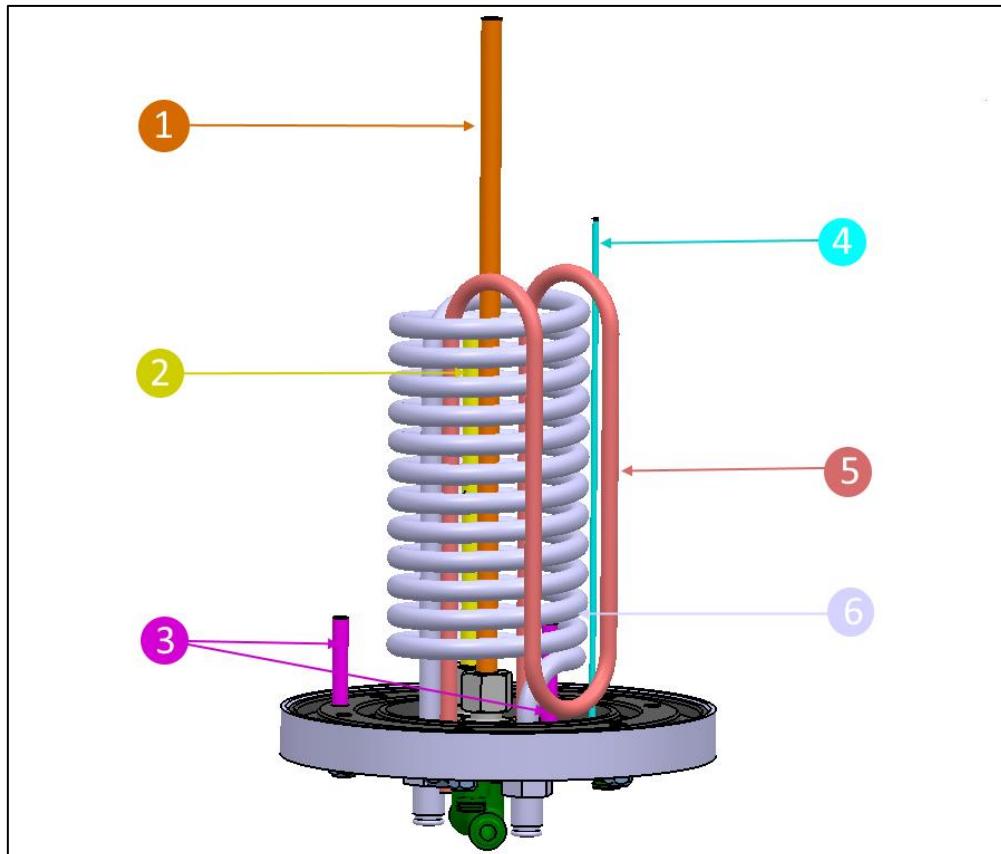


Abbildung 2: Innenleben des Borosilikatglasboilers: 1: Druckrohr (orange), 2: Steigrohr (gelb), 3: Temperatursensoren (lila), 4: Füllstandsonde (türkis), 5: Heizelement (rot), 6: Wasserwendel (grau)

Wie im Hydraulikplan der Variante „Style“ [4] ersichtlich gelangt das Wasser über Das Steigrohr (2) in den Boiler. Dort wird es durch das Heizelement (5) aufgeheizt. Da es sich um einen geschlossenen Behälter handelt, bildet sich oben eine Phase mit Dampf. Diese kann über das Druckrohr (1) abgeführt und beispielsweise für das Aufschäumen von Milch verwendet werden. Wie bei einem Zwei-Kreis-Boiler üblich wird das Wasser für den Kaffeebezug nicht direkt aus dem Boiler entnommen, sondern über einen zweiten Wasserkreislauf. Dieser beinhaltet die Wasserwendel (6), welche durch das umgebende Wasser aufgeheizt wird. Um einer Überhitzung vorzubeugen wird der Druck in der Dampfleitung gemessen. Bei 1,3 bar Überdruck hat das Wasser seine finale Temperatur von 130°C erreicht und das Heizelement wird nicht weiter bestromt [5]. Zusätzlich sind zwei Temperatursensoren (3) verbaut. Einer wird für die Messung der Wassertemperatur verwendet und einer für die Messung der Lufttemperatur zwischen den beiden Glaszylinern. So kann eine Temperaturdifferenz ermittelt werden und notfalls langsamer geheizt werden, um unzulässig hohe Spannungen im Glas zu vermeiden. Außerdem ist ein Anschluss für die Entwässerung im Boilerboden integriert. So kann das Wasser umgewälzt werden, um eine Schichtung zu verhindern wie in [6] dargestellt. Auf die Konstruktion und Funktionsweise der einzelnen Bauteile wird in den folgenden Kapiteln genauer eingegangen.

2.1.2 Grundaufbau, Abdichtung und Verspannung

Verfasst und bearbeitet von Tobias Blädel

Das Volumen des Boilers wurde auf 1,95 l festgelegt. So ist sichergestellt, dass ein Volumen von 2 l auch bei hohen Toleranzen unterschritten wird. Hintergrund hierfür ist, dass ab einem Volumen von 2 l strengere Auslegungsvorschriften gelten. Dies ist festgelegt in der Richtlinie 2014/68/U des europäischen Parlamentes und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt [7]. Der Außendurchmesser des inneren Glaszyinders wurde bei auf 105 mm festgelegt, der äußere Glaszyylinder hat einen Außendurchmesser von 150 mm. Die Wandstärke beträgt bei beiden Zylindern 5mm. Da der Boiler zu 2/3 mit Wasser gefüllt wird, ergibt sich ein Wasserstand von 183 mm.

Im Gegensatz zu [3] erfolgen die Durchführungen durch den Boilerboden nicht mittels Buchsen, sondern sie werden direkt in den Messingboden geschraubt. Durch die hohe Anzahl der benötigten Gewinde und Bohrungen ist die isolierende Wirkung der bisher verwendeten PTFE Einlage vernachlässigbar klein. Stattdessen wird nun ein Ring aus PTFE benutzt, der Nuten für die beiden Glaszyylinder enthält. Er hat die Aufgabe die Glaszyylinder zu führen und zu zentrieren sowie einen Kontakt zum Messing zu verhindern. Dabei wurde beachtet, dass die Nuten aufgrund der hohen Glastoleranzen deutlich breiter als die Glasstärke ausfallen müssen. Der Ring enthält außerdem zwei Nuten für Dichtringe und Bohrungen um Stäbe für die Verspannung sowie den Temperatursensor durchführen zu können.

Abbildung 3 zeigt die Verspannung und Abdichtung des Boilers. Die Abdichtung zwischen PTFE Einlage und Messingboden erfolgt mittels eines O-Rings. Die Abdichtung gegenüber dem inneren Glaszyylinder erfolgt ebenfalls mit dem baugleichen O-Ring. Der in [3] verwendete X-Dichtring wurde verworfen, da dieser nicht in der gewünschten Größe verfügbar war. Die für den O-Ring vorgesehenen Nuten wurden nach den Vorgaben eines Datenblattes des Herstellers „Parker“ durchgeführt [8]. Dabei wurde beachtet, dass die Abdichtung von innen mit Druck beaufschlagt wird und deshalb ein 1% kleinerer Nutaußendurchmesser im Vergleich zum O-Ring Außendurchmesser nötig ist. Die Abdichtung durch einen O-Ring bringt den entscheidenden Vorteil mit sich, dass die Dichtwirkung bei steigendem Druck verstärkt wird. Die Abdichtung zwischen der PTFE-Einlage im Deckel und dem Glaszyylinder wird ebenfalls durch den oben genannten O-Ring gewährleistet. Bei der Auswahl wurde berücksichtigt, dass eine FDA Zertifizierung vorhanden sein muss. Als Bezugsquelle wurde dabei der Hersteller „Dichtelemente arcus GmbH“ festgelegt. Das Datenblatt des verwendeten O-Rings mit einem Nenndurchmesser von 98 mm und einer Schnurrstärke von 2,5 mm findet sich unter [9].

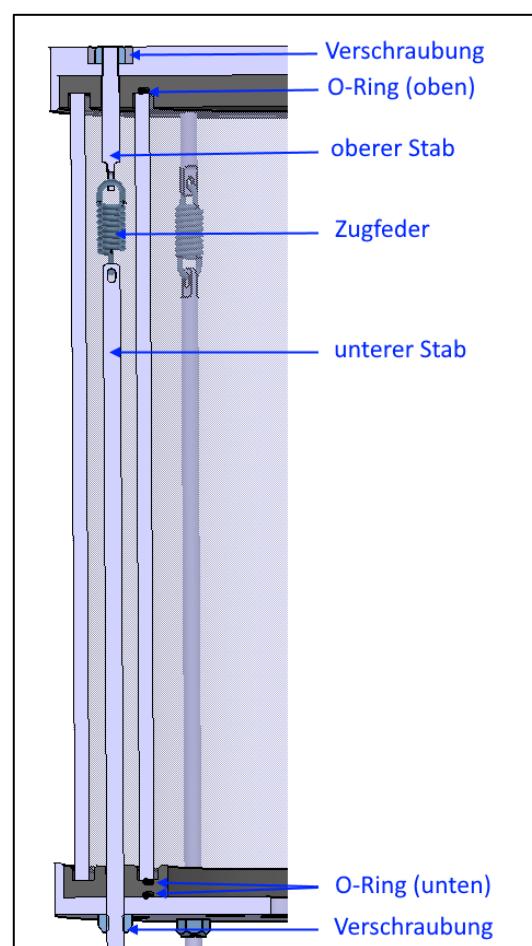


Abbildung 3: Verspannung und Abdichtung
Borosilikatglasboiler

Die Verspannung des Boilers mittels zwei Stäben und Federn wurde aus [3] übernommen. Dafür wurden die Länge der Stäbe angepasst sowie die Stabenden am Ende abgeflacht, um eine leichtere Montage der Federn gewährleisten zu können. Im Messingdeckel ist ein Innengewinde vorhanden, in das der obere Stab eingedreht wird. Mit einer selbstsichernden Mutter, welche im Messingdeckel eingelassen ist, kann anschließend dessen Position fixiert werden. Danach können die Federn eingehängt werden und die unteren Stäbe daran befestigt werden. Diese werden anschließend durch Bohrungen im Boden geführt. Dort werden sie mit selbstsichernden Muttern befestigt. Mithilfe eines Drehmomentschlüssels kann die benötigte Federvorspannung eingestellt werden. Eine Einstellung der Vorspannkraft durch die Federlänge hat sich laut [3] aufgrund von hohen Toleranzen nicht als geeignet erwiesen. Auf die Berechnung der Verspannung wird im Kapitel 2.1.4 genauer eingegangen.

2.1.3 Durchführungen und Sensorik

Verfasst und bearbeitet von Tobias Blädel

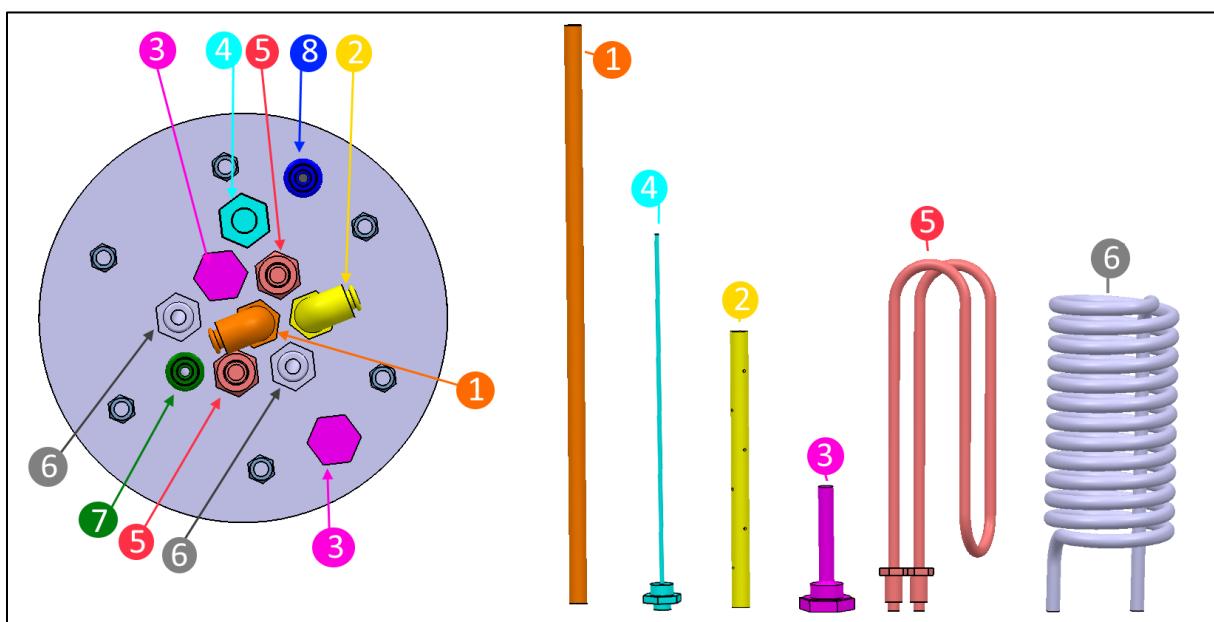


Abbildung 4: Ansicht des Boiler-Bodens und der Durchführungen des Borosilikatglasboilers: 1: Druckrohr (orange), 2: Steigrohr (gelb), 3: Temperatursensoren (lila), 4: Füllstandsonde (türkis), 5: Heizelement (rot), 6: Wasserwendl (grau), 7: Entwässerung (grün), 8: Entlüftung (blau)

Abbildung 4 zeigt noch einmal die Durchführungen durch den Boiler. Links ist dabei der Messingboden dargestellt, rechts die einzelnen Bauteile.

Bei dem Füllstandsensor handelt es sich um eine Niveauelektrode. Die Fühlerlänge beträgt 195 mm, wobei 185 mm isoliert sind. Er wird mit einem G ¼ Zoll Gewinde im Messingboden verschraubt. Das Messprinzip beruht auf der elektrischen Leitfähigkeit von nicht destilliertem Wasser. Wenn der Wasserstand den isolierten Bereich übersteigt, fließt ein Strom, welcher gemessen werden kann. Es ist deshalb nur möglich eine Aussage zu treffen, ob der Wasserstand hoch genug ist. Eine quantitative Aussage über die exakte Höhe des Wasserstandes ist nicht möglich.

Bei den Temperatursensoren handelt es sich um Einschraubtemperaturfühler, welche mit G ¼ Gewinde am Boilerboden befestigt werden. Die Länge der Sensoren beträgt 50 mm. Als Leitungsmaterial wird Silikon gewählt, da dieses temperaturbeständig gegenüber der Boiler Temperatur ist. Es handelt sich dabei um NTC-Sensoren, sogenannte Heißleiter. Das bedeutet, dass der Widerstand der Sensoren mit steigender Temperatur sinkt [10]. Es wird einmal die

Wassertemperatur gemessen und einmal die Temperatur der Luft zwischen den Glaszyllindern. So kann die Temperaturdifferenz zwischen beiden ermittelt werden. Dadurch ist es möglich sicherzustellen, dass die temperaturbedingten Spannungen im Glas nicht zu hoch werden, wie in sie in [2] ermittelt wurden.

Bei dem Steigrohr handelt es sich um ein M8x1 Rohr mit einer Länge von 140 mm. An dem Rohr sind Bohrungen angebracht, welche alternierend um 90° verschoben angeordnet sind. So wird sichergestellt, dass keine Temperaturschichtung im Wasser auftritt. Aus Kostengründen wird das Rohr oben verklemmt. Die Befestigung erfolgt mithilfe einer Schneidringverschraubung, welche mit einem AVS-Römer Anschluss gekontert wird. Darin wird die Wasserzuleitung befestigt.

Bei dem Druckrohr handelt es sich ebenfalls um ein M8x1 Rohr. Dieses ist nach oben hin geöffnet. Die Befestigung erfolgt ebenso mit einer Schneidringverschraubung, welche mit einem AVS-Römer Anschluss gekontert wird. Aus optischen Gründen ist das Druckrohr mittig in der Wasserwendlage angeordnet und reicht bis knapp unter den Deckel. Dort wird der Wasserdampf entnommen.

Weiterhin befindet sich im Boilerboden ein AVS-Römeranschluss, der in ein $\frac{1}{4}$ Zoll Gewinde geschraubt wird. Über diesen Anschluss kann der Boiler entwässert werden. Außerdem ist so eine Wasserumwälzung möglich. Zwischen den zwei Glaszyllindern befindet sich der gleiche Anschluss noch einmal. So wird ein Druckausgleich zwischen den Glaszyllindern gewährleistet. Außerdem ist es möglich das Wasser abzulassen, falls der erste Zylinder bricht oder eine Undichtigkeit auftritt.

Da es sich bei der Wasserwendlage und dem Heizelement um Gleichteile handelt, welche in allen Boilervarianten verwendet werden, wird auf diese in den Kapiteln 2.2 und 2.3 näher eingegangen.

2.1.4 Festigkeitsrechnungen und Berechnung der Verspannung

Verfasst und bearbeitet von Lukas Ankner

Um den Borosilikatglasboiler unter einem gegebenen, maximalen Prüfdruck von ca. 1,7 bar dicht zu halten, muss der Deckel mit dem Boden über sechs Stangen mit Federelementen verspannt werden. Die Federn werden hierbei vorgespannt und dabei ist darauf zu achten, dass das Borosilikatglas dadurch keine Beschädigungen annimmt. Die Maximale Spannung im Borosilikatglas darf hierbei einen Wert von Grenzwert von 7 N/mm² [3] nicht überschreiten. Die folgenden Berechnungen wurden auf Basis der Projektarbeit [3] erstellt und erweitert.

Zunächst wurde die Kraft berechnet, welche nötig ist, um den Deckel des Boilers unter gegebenen Prüfdruck auf dem Boiler zu halten. Anschließend wurden die beiden Längenausdehnungen Δl des Glases durch den Innendruck

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad (1)$$

und durch die Wärmeaufnahme durch Aufheizen des Boilers

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (2)$$

berechnet.

Anschließend wurden die Längenausdehnungen der Stäbe ermittelt, welche sich zum einen ebenfalls erwärmen und zum anderen durch die Zugspannung der Federn in Längsrichtung ausdehnen. Nach den daraus resultierenden Gesamtausdehnungen wurden zwei verschiedene Fälle unterschieden.

Fall 1: Das Borosilikatglas ist warm, die Stäbe sind noch kalt

Fall 2: Das Borosilikatglas ist warm, die Stäbe sind warm

Da sich durch die Erwärmung der Stäbe und die dadurch resultierende Längenausdehnung die Vorspannkraft der Federn verringert, ist Fall 2 für die weiteren Berechnungen der relevantere Fall.

Es wird die durch die Erwärmung abnehmende Federkraft F_{ab} mit der Federrate R ermittelt.

$$F_{ab} = R \cdot \Delta l \quad (3)$$

Anschließend kann nun mit der gleichen Formel der benötigte Vorspannweg der Federn berechnet werden und dann die dadurch entstehenden Spannungen im Borosilikatglas. Diese werden mit den Spannungen des Innendrucks bei Prüfdruck addiert und mit dem zulässigen Wert von 7 N/mm² verglichen.

2.2 Edelstahlboiler

Verfasst und bearbeitet von Til Ahlgrim

Als Ausgang für den 1,8l und 3,6l Boiler wurde die Projektarbeit „Konstruktion von vier Siebträger-Espressomaschinen“ [1] verwendet.

Im Gegensatz zum Borosilikatglasboiler besitzt der Edelstahlboiler mehr Heizelemente. So werden um schnellere Aufheizzeiten zu gewährleisten in die 1,8 und 3,6l Boiler 2 Heizelemente und in den 7,2l Boiler 4 Heizelemente verbaut. Die Funktionsweise bleibt trotzdem die gleiche. Die Heizelemente wird das Wasser im Boiler erhitzt, dadurch entsteht Dampf der mit der Dampfleitung abgeführt werden kann. Dass zum Kaffeebrühen verwendete Wasser wird durch die im erhitzten Wasser gelegende Wasserwendel gepumpt und so aufgeheizt. Um einer Schichtung des Wassers aufgrund des Temperaturunterschiedes entgegenzuwirken, wird beim aufheizen das Wasser aus dem unteren kälteren Bereich angesaugt und oben in den wärmeren Bereich wieder zugeführt. Der Temperatursensor ist in der unteren Hälfte des Wassers positioniert, damit dieser die kälteste Temperatur misst, damit die mindestens die gewünschte Temperatur erreicht wird.

Der Grundlegende Aufbau eines jeden Edelstahlboilers besteht somit aus Heizelementen, Wasserwendel, Füllstandssensor, Temperatursensor, Druckrohr, Wassereinlass und Wasserauslass.

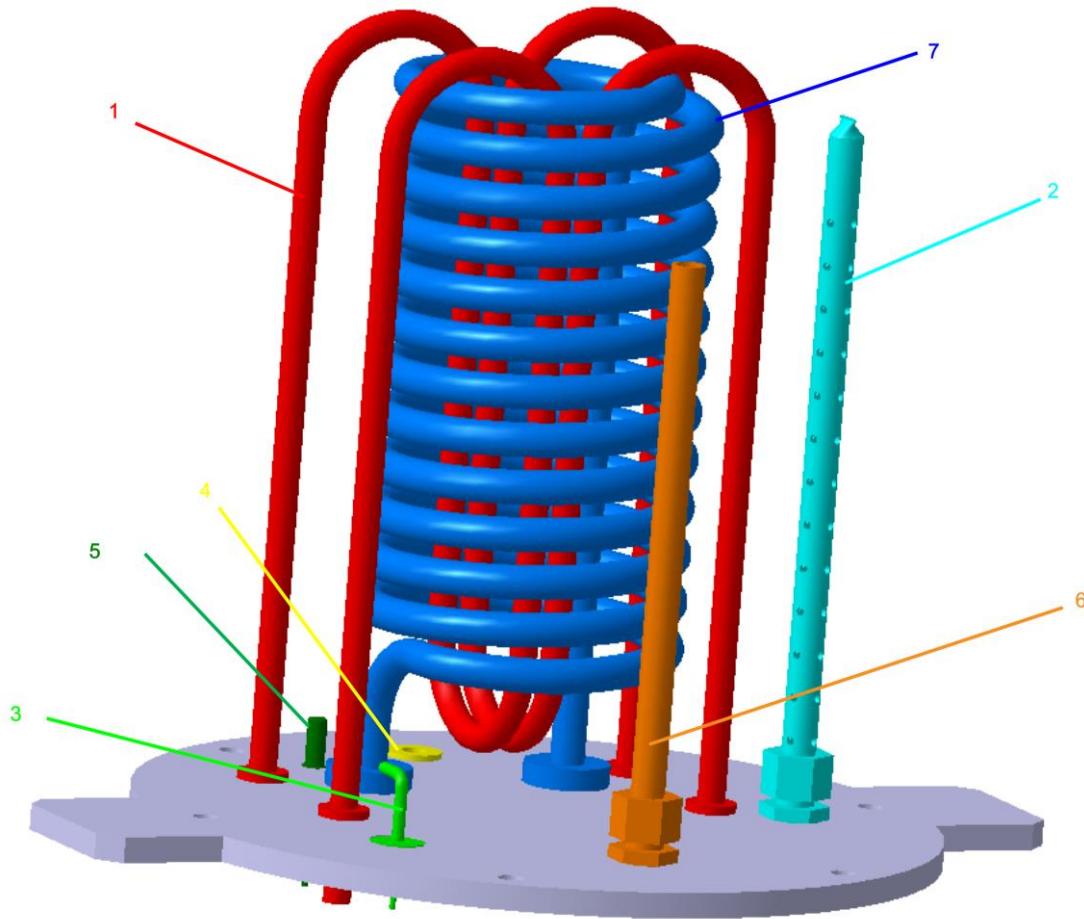


Abbildung 5: Innenleben der Edelstahlboiler: 1: Heizelement 2: Einfüllrohr 3: Füllstandssensor 4: Wasserauslass 5: Temperatursensor 6: Dampfanz 7: Wasserwendel

Im Gegensatz zum Borosilikatglasboiler wird der Boiler aber horizontal montiert.

Bei einem angestrebten $\frac{2}{3}$ Wasservolumen ist dies nicht auf $\frac{2}{3}$ der Höhe erreicht, sondern muss nach der Formel:

$$V = L \cdot \left(r^2 \cdot \arccos\left(l - \frac{h}{r}\right) - (r - h) \cdot \sqrt{2r \cdot h - h^2} \right) \quad (4)$$

ermittelt werden. So wird bei um die 63% der Füllhöhe $\frac{2}{3}$ des Volumens erreicht.

Die Durchmesser 77mm; 88,9mm; 101,6mm; 114,3mm; 154mm und 168,3mm sind durch den Zulieferer vorbestimmt.

Die Länge des Boilers ergibt sich aus:

$$L = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \quad (5)$$

1,8l Boiler						
Durchmesser in cm	7,73	8,89	10,16	11,43	15,4	16,83
Länge in cm	38,35	28,99	22,2	17,54	9,66	8,09
Wasserstand in cm	4,89	5,62	6,42	7,23	9,75	10,65
Wasserstand/Durchmesser	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Volumen in ccm	1799	1799	1799	1799	1799	1799

3,6l Boiler						
Durchmesser in cm	7,73	8,89	10,16	11,43	15,4	16,83
Länge in cm	76,71	57,99	44,4	35,08	19,32	16,18
Wasserstand in cm	4,89	5,62	6,42	7,23	9,75	10,65
Wasserstand/Durchmesser	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Volumen in ccm	3599	3599	3599	3599	3599	3599

7,2l Boiler						
Durchmesser in cm	7,73	8,89	10,16	11,43	15,4	16,83
Länge in cm	153,42	115,99	88,8	70,16	38,65	32.36
Wasserstand in cm	4,89	5,62	6,42	7,23	9,75	10,65
Wasserstand/Durchmesser	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Volumen in ccm	7199	7199	7199	7199	7199	7199

Die grundlegende Bestrebung in der Konstruktion der Boiler war es, möglichst viele Gleichteile zu verwenden, sodass größere Bestellmengen erreicht werden können und somit der Einzelteilepreis sinkt.

2.2.1 Isolierung

Im Gegensatz zum Borosilikatglasboiler, bei dem das Boiler Material selber stark thermisch isolierend ist, muss beim Edelstahlboiler nachgeholfen werden.

Um den Boiler möglichst effizient, also mit geringer Abwärme, betreiben zu können, ist eine Vollumschließende Isolierung von Nöten.

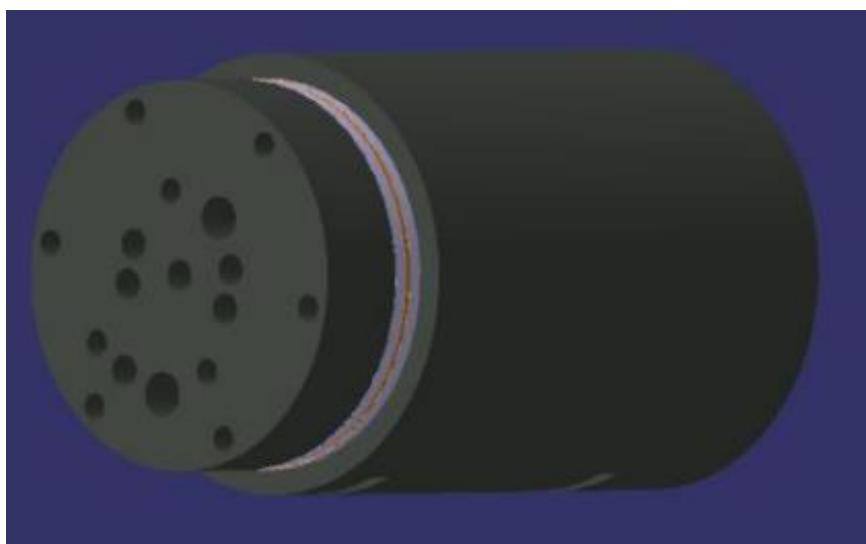


Abbildung 6: Isolierung 3,6l Boiler Vorderseite

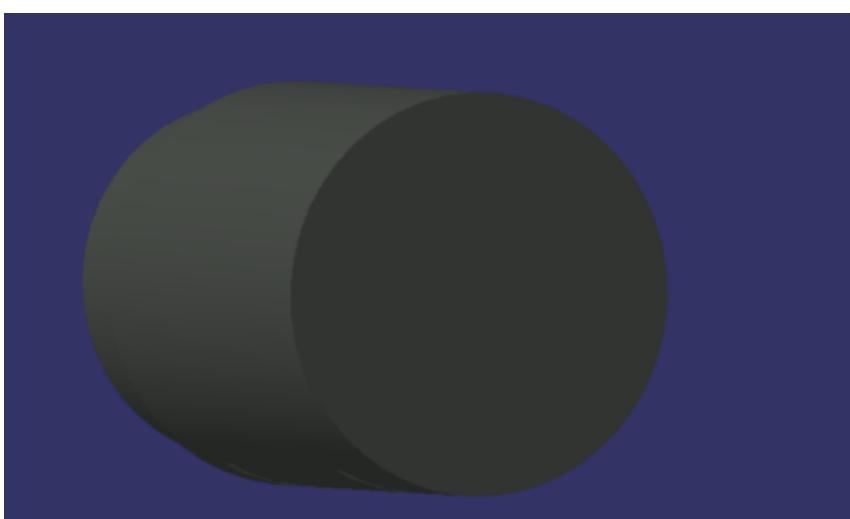


Abbildung 7: Isolierung 3,6l Boiler Rückseite

Für die Auslegung der Isolierung hat [1] mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,045 \frac{W}{mK}$ gerechnet und daraus eine mindest Isolierungsdicke von 20mm berechnet.

Von der Firma Armacell wurde aus Kulanz je eine Rolle a 4m² vom Material XG-25-99/EA und HT-25-99/E zur Verfügung gestellt.

Das XG-25-99/EA hat eine Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \frac{W}{mK}$ ist allerdings nur bis 110°C anwendbar. Für den 7,2l Boiler könnte diese trotzdem nutzbar sein, da dieser mit seiner hohen Wassermasse thermisch sehr stabil ist somit hohe Temperaturschwankungen unwahrscheinlich sind.

Das HT-25-99/E ist ein Hochtemperaturisolierstoff und bis 150°C einsatzbar und hat eine Wärmeleitfähigkeit von $0,045 \frac{W}{mK}$.

Beide Isolierungen haben eine Dicke von 25mm. Diese sind somit ideal für den Einsatz als Boilerisloierung geeignet.

Um die Isolierung dauerhaft fest am Boiler zu befestigen wird dieser augeklebt und zusätzlich mit Schellen befestigt.

Die Isolierungen liegen bei LbA. Rohen im Labor in der Hochschule München.

Um sicherzustellen, dass die Isolierung auch noch nach längerer Zeit noch gest am Boiler sitz, wird diese zusätzlich zum Kleben mit Manschetten fixiert werden (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8: Manschetten

2.2.2 1,8l Boiler

Der 1,8l Boiler wird in der Variante „Home“ zum Einsatz kommen. Für ihn wurde von [1] der Außendurchmesser von 114,3mm gewählt. Mit der gewählten Wandstärke von 1,6mm ergibt sich ein Innendurchmesser von 111,1mm und daraus eine Wasserhöhe von 70,3mm.

Aufgrund des Innendurchmessers von 111,1mm und dem Biegeradius der Heizelemente von 18mm, müssen die Heizelemente ineinander verschränkt werden. Dies macht die Montage und die Wartungsarbeiten zwar aufwendiger ist aber die einzige Möglichkeit auf die gewünschte Heizleistung bei boilerübergreifenden Gleichteilen zu kommen.

Die Festigkeitsauslegung für den 1,8l Boiler wurde in [1] gemacht.

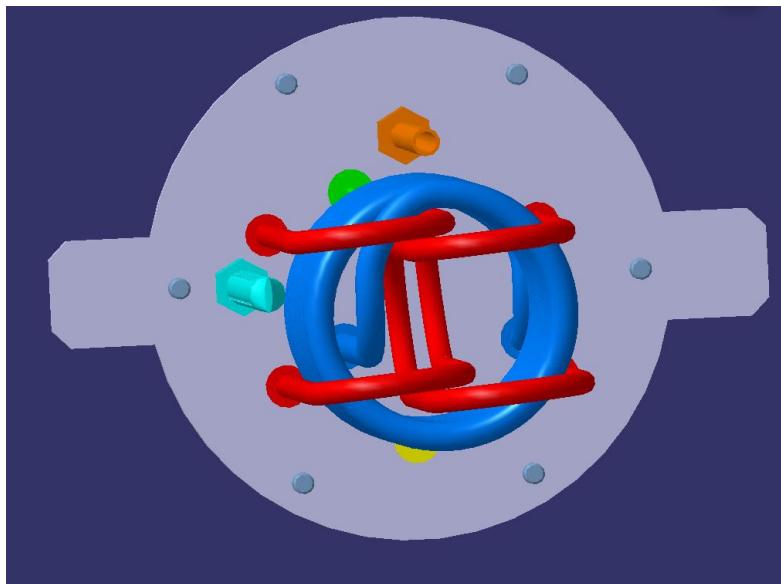


Abbildung 9: Innenleben 1,8l Boiler

2.2.3 3,6l Boiler

Für ihn wurde von [1] der Außendurchmesser von 154mm gewählt. Mit der gewählten Wandstärke von 1,6mm ergibt sich ein Innendurchmesser von 150,8mm und daraus eine Wasserhöhe von 95,2mm.

Da die Heizelemente die gleichen wie im 1,8l Boiler und ebenfalls zwei Stück verbaut werden, enzerrt dies das Innenleben des Boilers.

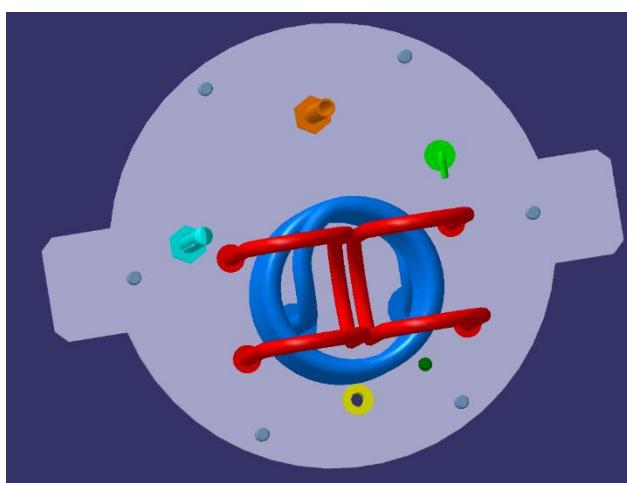


Abbildung 10: 3,6l Boiler Innenleben

Da die Anzahl und Zweck der Bohrungen in den Deckeln für alle Boiler gleich sind, werden diese nur für den 3,6l Boiler erklärt.

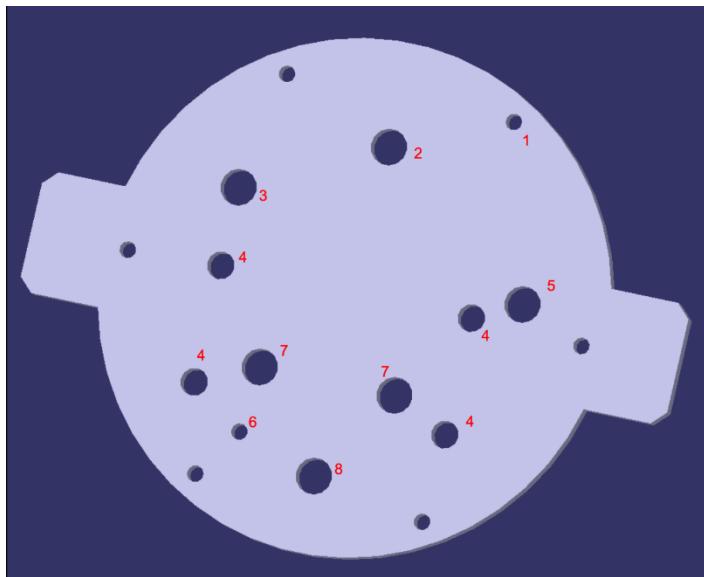


Abbildung 11: Deckel 3,6l Boiler

Um die Montage sowie die Wartung der Boiler möglichst einfach zu machen, werden alle Bauteile in den Deckel montiert, welcher wiederum mit 6 M6 Innen Sechskantschrauben mit dem Boiler verschraubt werden.

Insgesamt werden 17 Bohrungen in den Deckel gemacht. 6 davon für die Schrauben, 4 für die zwei Heizelemente, 2 für die Wasserwendel, 1 für den Füllstandssensor, 1 für den Temperatursensor, 1 für die Dampfwanze und jeweils 1 für den Wasserein und Wasserauslass.

Die Bohrungen 1 sind für die Verschraubung des Deckels mit dem Boiler.

Bohrung 2 ist für die Dampfwanze. Diese kann mit einer Schneidringverschraubung in den Deckel geschraubt werden.

Bohrung 3 ist für den Füllstandssensor. Dabei handelt es sich um ein um 90° geknickter Sensor, der 10mm über dem Soll-Stand montiert wird.

Die Bohrungen 4 sind für die Heizelemente. Da seit der letzten Projektarbeit die Heizleistung von 10 W/cm² auf 7 W/cm² gesenkt wurde, musste das Heizelement neu designet werden. Dieses wird in einem späteren Kapitel genau dargestellt.

Die Bohrung 5 ist für den Wassereinlass. Dieser wird ebenfalls über ein Schneidringverschluss im Boiler befestigt. Das Einlassrohr ist im oberen drittel des Boilerwassers positioniert, damit beim Aufheizen einer Temperaturschichtung des Wassers entgegengewirkt werden kann. Bei dem Einfüllrohr handelt es sich um ein gelochtes 8x1 Rohr, dass am Ende gequetscht wird.

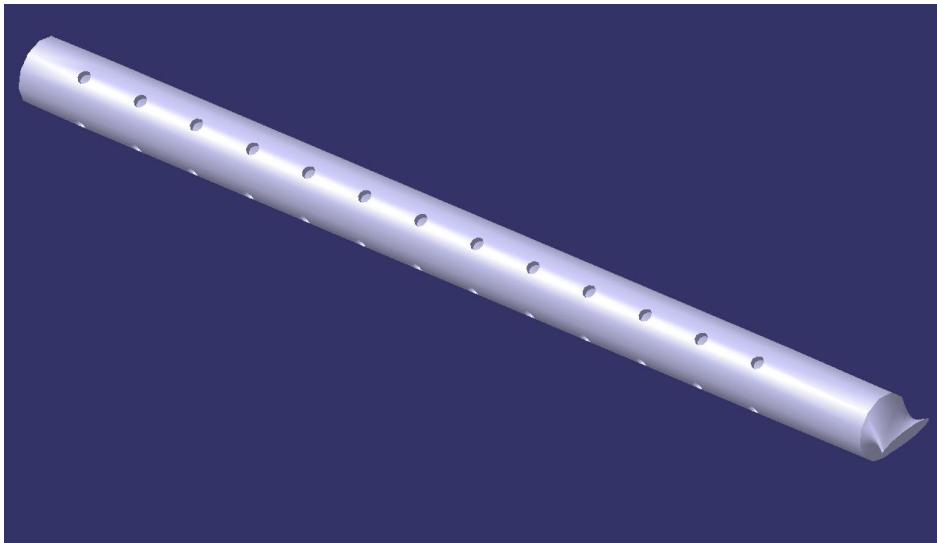


Abbildung 12: Einfüllrohr

Bohrung 6 ist für den Temperatursensor da und im unteren Drittel des Wassers positioniert ist. Sodass dieser bei einer Temperaturschichtung im kälteren Bereich liegen würde und somit der gemessene Wert nie höher als die Durchschnittstemperatur ist.

Die Bohrungen 7 sind für die Wasserwendl. Diese wird durch einen angelöteten Nippel und einer Dichtscheibe an das Gehäuse geschraubt und mit einem Anschluss von AVS Römer gekontert.

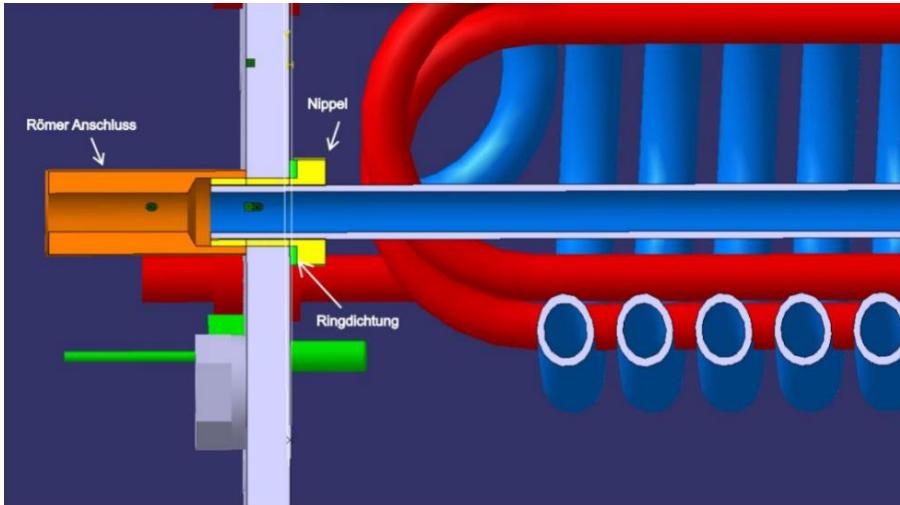


Abbildung 13: Anschluss Wasserwendl

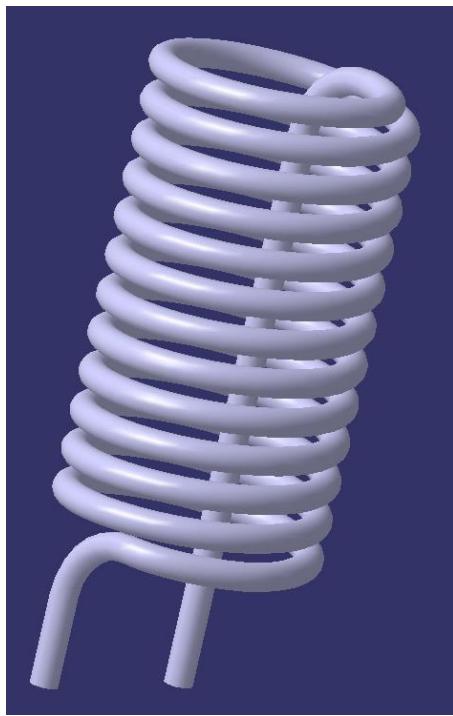


Abbildung 14: Wasserwender

Gerade Aufschraub-Verschraubung									
Produkt Gruppe	13	PN 20	T _{min} 0 °C	T _{max} +120 °C	Gewinde zylindrisch			NSF	Edelstahl AISI 316L
für Schlauch D	G	i	L1	D1	S	Gewicht in [g]	Typ	Bestellnummer	Preis
4	G 1/8	8	24	10	13	10,8	946X4-4FF-1/8	380706	a. A.
6	G 1/8	8	25	12	13	12,5	946X4-6FF-1/8	380712	a. A.
6	G 1/4	10,5	27,5	12	17	20,5	946X4-6FF-1/4	380713	a. A.
8	G 1/8	8	27	14	14	16,2	946X4-8FF-1/8	380716	a. A.
8	G 1/4	10,5	29,5	14	17	22,3	946X4-8FF-1/4	380717	a. A.
8	G 3/8	11,5	30,5	14	19	23,3	946X4-8FF-3/8	380718	a. A.
10	G1/2	15	36,5	16,5	24	45,7	946X4-10FF-1/2	380719	a. A.

Abbildung

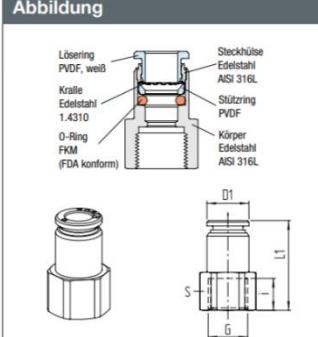


Abbildung 15: Beispiel Anschluss AVS Römer 1 [11]

Winkel-Aufschraub-Verschraubung, drehbar													
Produkt Gruppe	15	Zul. PB bei Umg.-Temp. T _{min} 0 °C, T _{max} +60 °C	Gewinde zylindrisch	für rotative o. oszill. Beweg. nicht geeignet			NSF	Kunststoff PPSU					
für Schlauch D	G	Zul. PB [bar] bei Mediumtemp.		i	L2	L3	D1	S	Gewicht in [g]	Typ	Bestellnummer	Preis	
		20 °C	100 °C	140 °C									
4	G 1/8	20	16	10	6,5	19	24,5	12	13	15,9	979P3-4FF-1/8	366762	a. A.
4	G 1/4	20	16	10	9	19	27,5	12	17	24,3	979P3-4FF-1/4	366763	a. A.
6	G 1/8	20	16	10	6,5	19,5	24,5	14	13	16,4	979P3-6FF-1/8	366764	a. A.
6	G 1/4	20	16	10	9	19,5	27,5	14	17	24,8	979P3-6FF-1/4	366765	a. A.
8	G 1/8	16	12	6	6,5	22,5	25,5	17	17	26,4	979P3-8FF-1/8	366766	a. A.
8	G 1/4	16	12	6	9	22,5	30,5	17	17	30,3	979P3-8FF-1/4	366767	a. A.

Abbildung

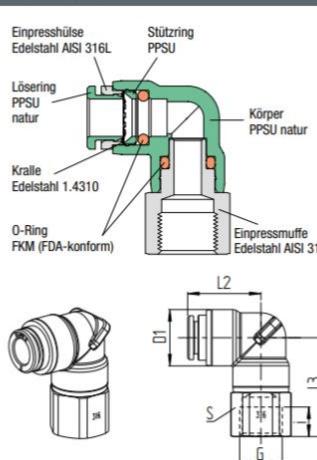


Abbildung 16: Beispiel Anschluss AVS Römer 2 [11]

Um den Boiler sicher im Gehäuse plazieren zu können, werden die Flügel am Boiler Deckel genutzt (siehe Abbildung 11). Diese werden in eine Aufhängung im Gehäuse eingesetzt. Am anderen Ende des Boilers werden drei, am Boden fest gelötete, Bolzen (siehe Abbildung 17) mit einer Aufhängung verschraubt (siehe Abbildung 18).

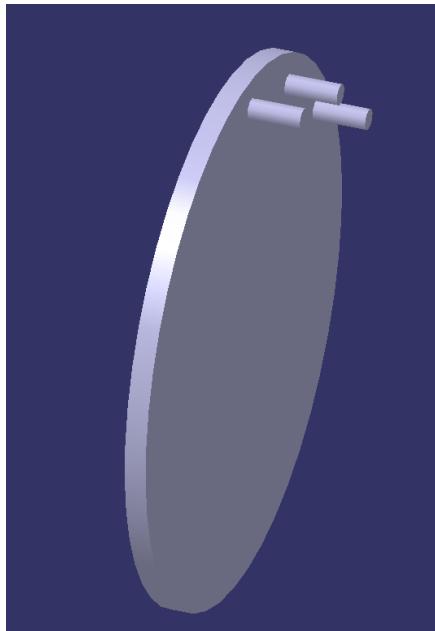


Abbildung 17: Boden Boiler 3,6l

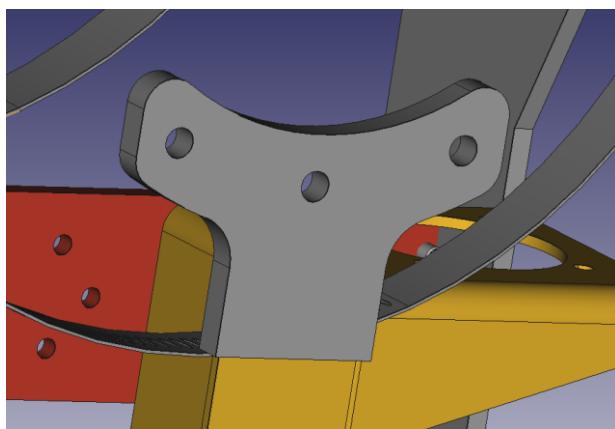


Abbildung 18: Aufhängung Boiler Boden

Die grundlegenden Abmessungen der Boiler kann aus den technischen Zeichnungen entnommen werden.

Die Festigkeitsauslegung für den 3,6 Boiler wurde in [1] gemacht.

2.2.4 7,2l Boiler

Der 7,2l Boiler ist im Prinzip ein doppelter 3,6l Boiler und wird in der Modellvariante „Barista“ zum Einsatz kommen.

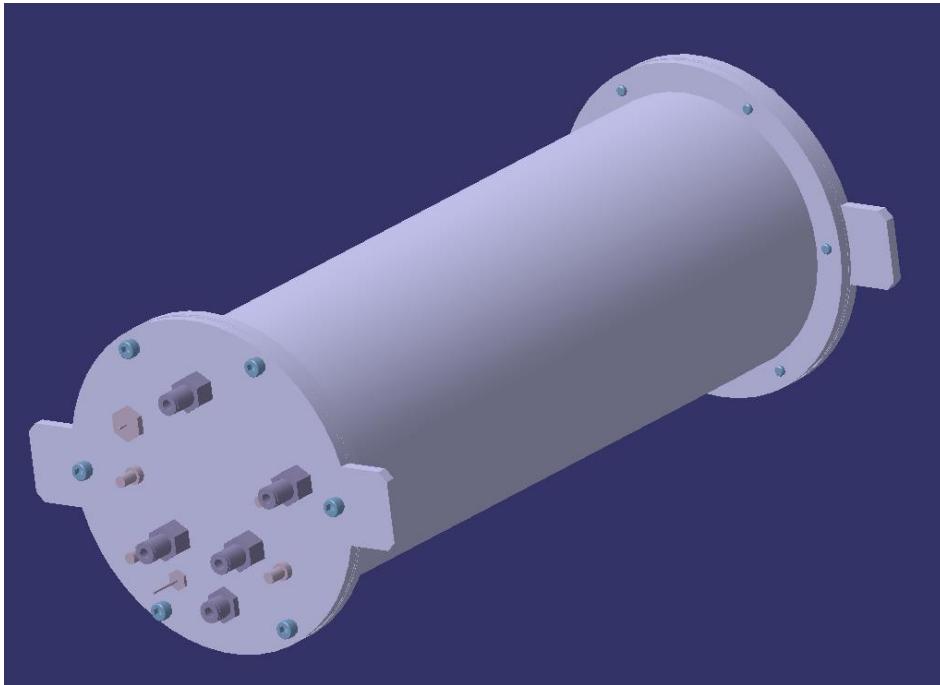


Abbildung 19: 7,2l Boiler

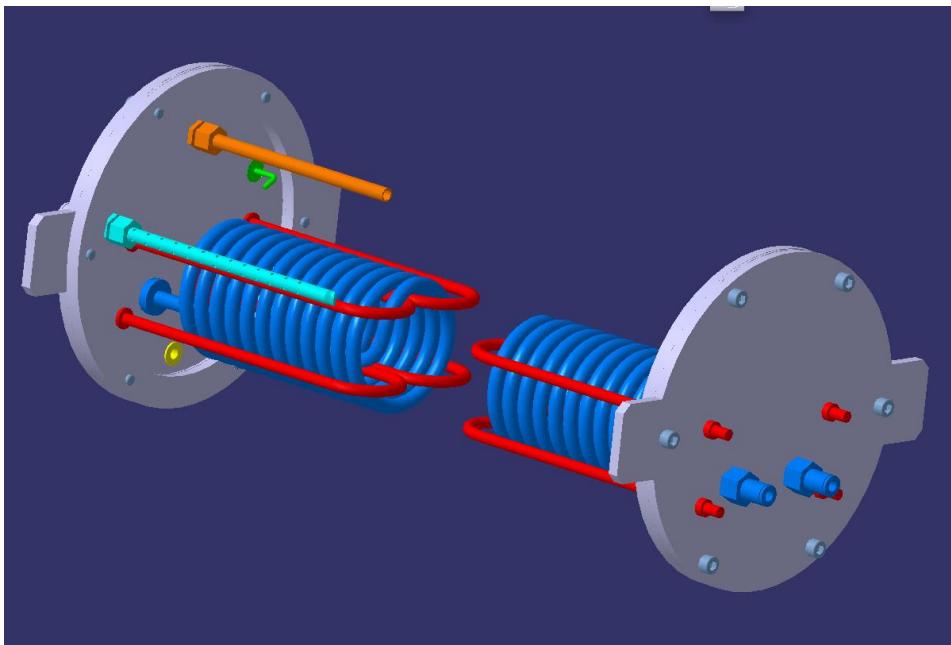


Abbildung 20: Innenleben 7,2l Boiler

Auf der gespiegelten Seite sind nur noch eine weitere Wasserwendel und zwei weitere Heizelemente verbaut, da nur weiterhin nur jeweils ein Temperatursensor, Füllstandssensor, Wassereinlass und Wasserauslass von nötigen ist.

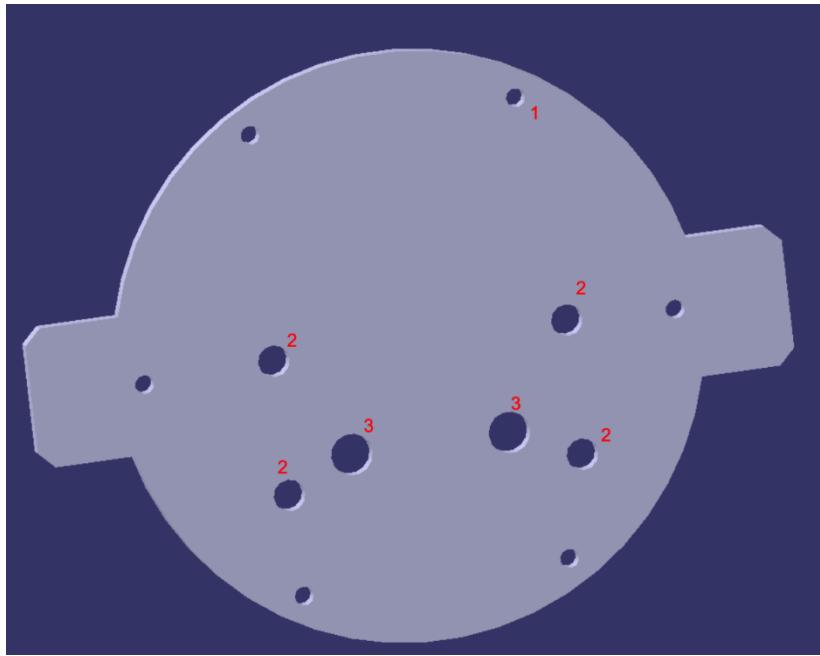


Abbildung 21: Boden 7,2l Boiler

So sind im Boden des 7,2l Boilers nur 12 Bohrungen vorgesehen.

Die 1 ist für die M6 Schrauben um den Boden an den Boiler zu befestigen. Die 2 für die Heizelemente und die 3 für die Wasserwendl.

Ob man bei der Bestellung der Boiler die Böden des 7,2l Boilers extra mit weniger Bohrungen bestellt oder als Deckel bestellt und anschließend die nicht gebrauchten Bohrungen wieder verschließt muss im Gespräch mit dem Zulieferer geklärt werden.

2.2.4.1 Festigkeitsnachweis

Die Berechnung basiert auf [12].

Druck bei dem Bruch stattfindet:

$$p_B = \frac{R_B \cdot 2}{\frac{d_i}{s} + 1} \quad (6)$$

Daraus ergibt sich ein Druck bei dem Bruch stattfindet von 85 bar.

Druck bei dem mit bleibender Dehnung zu rechnen ist:

$$p_{bl} = \frac{R_e \cdot 2}{\frac{d_i}{s} + 1} \quad (7)$$

Bei einem Druck von 28 bar ist mit bleibender Dehnung zu rechnen.

Für die Mindestwandstärke gilt:

$$s_v = \frac{d_a}{\left(2 \cdot \frac{\sigma_{zul}}{p} - 1\right) \cdot v_n + 2} \quad (8)$$

$$s = s_v + C_1 + C_2 \quad (9)$$

Mit:

$$\sigma_{zul} = \frac{K}{s} \quad (10)$$

Ergibt sich eine Mindestwandstärke von 0,197mm. Gewählt wird, bestimmt durch den Zulieferer, 1,6mm.

2.3 Heizelemente

Verfasst von Tobias Blädel, bearbeitet von Tobias Blädel und Til Ahlgrim

Abbildung 23 zeigt die finale Version des Heizelementes. Es handelt sich dabei um einen Rohrheizkörper, wie er üblicherweise in Boilern eingesetzt wird. Das Heizelement wurde als Gleichteil konzipiert, dass in allen Boilervarianten verwendet werden kann. Aufgrund der höheren Stückzahlen können so erheblich niedrigere Einkaufspreise realisiert werden. Im Gegensatz zur vorherigen Projektarbeit [1] wurde die Oberflächenbelastung von 10 W/cm^2 auf 7 W/cm^2 korrigiert. Die ursprüngliche Leistung von 1200 W musste deshalb auf 1000 W abgesenkt werden, da das Heizelement in einigen Boilervarianten sonst nicht komplett mit Wasser bedeckt worden wäre. Der Durchmesser des Heizelements beträgt 6,5 mm, wobei es sich um eine Standartgröße handelt. Es wurde eine zweifach gebogene Ausführung gewählt, da die gewünschte Länge sonst nur mit einer Wendelform erreicht worden wäre. Die Haltbarkeit eines wendelförmigen Heizelementes ist aber laut Herstellerangaben eingeschränkt. Die gewählte Form bietet zudem den Vorteil, dass ein Umschließen der Wasserwendel möglich ist, wodurch Bauraum gewonnen wird. Die Befestigung erfolgt mithilfe von Nippeln mit einem M 10 Gewinde, die vom Hersteller am Heizelement angelötet werden. Als Dichtelemente sind sogenannte „Bonded Seals“ vorgesehen. Herstellungsbedingt ist ein unbeheizter Bereich erforderlich der 30 mm beträgt. Dieser Bereich ragt 15 mm in das Wasser des Boilers hinein. So ist sichergestellt, dass eine zu große Aufheizung des Messingdeckels verhindert wird. Der minimale Biegeradius beträgt 18 mm.

Die erforderliche Länge l_{heiz} des Heizelementes errechnet sich mit der gewünschten Gesamtleistung P_{Heiz} , der erlaubten Oberflächenbelastung $P_{Heiz,A}$ und des Heizelemente-durchmessers d_{heiz} zu:

$$l_{heiz} = \frac{P_{heiz}}{P_{heiz,A} \cdot d_{heiz} \cdot \pi} \quad (11)$$

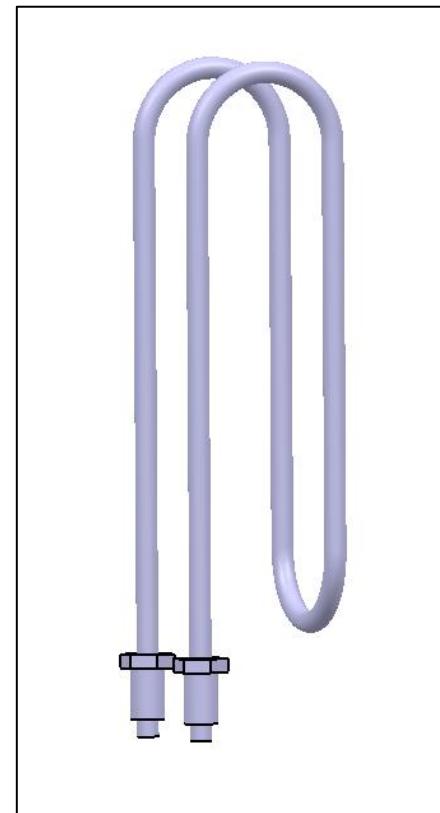


Abbildung 22: Heizelement

Für die Dimensionierung des Heizelementes wurde die gesamte Bauteilhöhe berechnet und mit den Wasserständen der Boiler verglichen. x_{heiz} ist dabei der Abstand der mittleren Biegung vom Boilerboden und r_{biege} der minimale Biegeradius des Heizelements.

$$h_{heiz} = \frac{l_{heiz} + 2 \cdot x_{boden} + 6 \cdot (r_{Biege} + d_{heiz}) - 3 \cdot \pi \cdot \left(r_{biege} + \frac{d_{heiz}}{2}\right)}{4} \quad (12)$$

2.4 Wasserwendeln

Verfasst von Tobias Blädel, bearbeitet von Tobias Blädel und Til Ahlgrim

Die Wasserwendel wird ebenso wie die Heizelemente in allen Boilervarianten eingesetzt. Der Druck im inneren der Wendel beträgt dabei maximal 16 bar. Die Wasserwendel wird aus einem 8x1 Rohr aus dem Edelstahl V2A gefertigt. Die abgewickelte Länge der Wasserwendel beträgt 2,9 m. Zur Befestigung werden Nippel mit einem G ¼ Gewinde aufgeschweißt oder aufgelötet. Diese werden anschließend in einen AVS-Römer Anschluss geschraubt. Als Dichtelement ist eine PTFE-Flachdichtung mit einer Stärke von 2 mm vorgesehen. Abbildung 23 zeigt einen Schnitt der Wendel mit der vorgesehenen Befestigung im Boden.

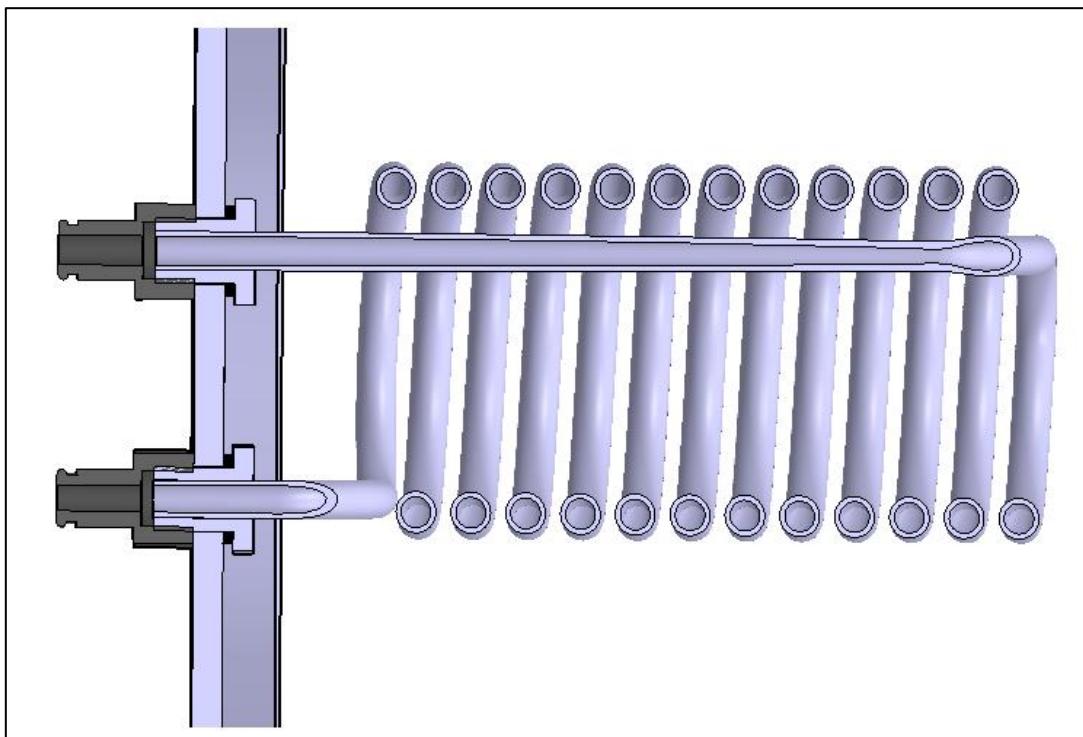


Abbildung 23: Schnitt der Wasserwendel mit Anschlässen

2.4.1 Thermische Auslegung

Verfasst und bearbeitet von Tobias Blädel

Um einen Kaffeebezug ohne Wartezeit zu realisieren muss das Wasser vom Eintritt der Wendel bis zum Austritt auf die benötigte Temperatur gebracht werden. Dafür ist es notwendig den Wärmeübergang des Wassers im Boiler auf das Wasser in der Wendel zu ermitteln.

Die für die folgende Berechnung festgelegten Randbedingungen und Größen sind in Tabelle 1 dargestellt. Für die darin enthaltenen Stoffwerte wurden die entsprechenden Tabellen des VDI-Wärmeatlas verwendet [5]. Bei Wasser in der flüssigen Phase findet kaum eine Beeinflussung der Stoffwerte durch den Druck statt. Eine Temperaturabhängigkeit ist aber gegeben, welche durch das arithmetische Mittel der Wassereingangs- und Ausgangstemperatur im Folgenden berücksichtigt wird. Der Wärmeübergangskoeffizient zwischen Wasserwendel und Boiler-Wasser, sowie die Wärmeleitfähigkeit des Edelstahls V2A wurden aus [13] entnommen.

Tabelle 1: Randbedingungen und Ausgangsgrößen für die thermische Auslegung der Wasserwendl

Bezeichnung	Formelzeichen	Größe	Einheit
Volumenstrom Wasser in Wendel	V_W	2	cm^3/s
Eintrittstemperatur Wasser in Wendel	T_{Ein}	15	$^\circ\text{C}$
Austrittstemperatur Wasser aus Wendel (Soll)	T_{Aus}	105	$^\circ\text{C}$
minimale Temperatur Boiler-Wasser	T_{Boiler}	120	$^\circ\text{C}$
Wärmeübergangskoeffizient Wendel – Boiler-Wasser	α_a	580	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Wärmeleitfähigkeit Edelstahl	λ_{V2A}	21	W/mK
Prandtlzahl (Wasser)	Pr_w	3,09	-
Prandtlzahl (an Wand)	Pr_{wand}	2,29	-
Wärmeleitfähigkeit Wasser	λ_w	0,65	W/mK
Wärmekapazität Wasser	$c_{p,w}$	4184	J/kgK
kinematische Viskosität Wasser	ν_w	0,487	$10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$

Der VDI-Wärmeatlas beinhaltet das Vorgehen zur Berechnung an einer durchströmten Rohrwendel [14]. Die nachfolgenden Berechnungen entsprechen dieser Vorgehensweise. Die Strömung in einer Wendel unterscheidet sich von einem geraden Rohr dadurch, dass Zentrifugalkräfte auftreten, die zur Ausbildung einer Sekundärströmung führen. Diese führt zu einer besseren Wärmeübertragung und zu einem veränderten Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung [14].

Zuerst erfolgt die Berechnung des mittleren Krümmungsdurchmessers D der Rohrwendel. Der mittlere Durchmesser D_{wendel} und die Steigungshöhe h_{wendel} wurden aus dem CAD-Modell entnommen:

$$D = D_{wendel} \cdot \left[1 + \left(\frac{h_{wendel}}{\pi \cdot D_{wendel}} \right)^2 \right] \quad (13)$$

Anschließend kann mittels des Innendurchmessers d_{wendel} die, für durchströmte Wendeln gültige, kritische Reynoldszahl Re_{krit} berechnet werden:

$$Re_{krit} = 2300 \cdot \left[1 + 8,6 \left(\frac{d_{wendel}}{D} \right)^{0,45} \right] \quad (14)$$

Die tatsächliche Reynoldszahl Re ergibt sich unter Berücksichtigung der Strömungsgeschwindigkeit v_w und der kinematischen Viskosität ν_w zu:

$$Re = \frac{v_w}{d_{wendel} \cdot \nu_w} \quad (15)$$

Es zeigt sich, dass die tatsächliche Reynoldszahl unter den gegebenen Bedingungen für alle gewählten Wendel-Geometrien deutlich unter der kritischen Reynoldszahl liegt und die Strömung deshalb als laminar betrachtet werden kann. Um den Wärmeübergang durch Konvektion berechnen zu können, muss zuerst die Nußelt-Zahl Nu ermittelt werden. Benötigt werden hierfür die Prandtlzahl Pr_w bezogen auf die Wassertemperatur und die Prandtlzahl Pr_{wand} bezogen auf die Wandtemperatur. Dafür existiert eine empirisch bestimmte Formel, die für alle gewählten Wendelkonfigurationen gültig ist:

$$Nu = \left(3,66 + 0,08 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \left(\frac{d_{wendel}}{D} \right)^{0,9} \right] \cdot Re^{\left(0,5 + 0,2903 \cdot \left(\frac{d_{wendel}}{D} \right)^{0,194} \right)} \cdot Pr_w^{0,33} \right) \cdot \left(\frac{Pr_w}{Pr_{wand}} \right)^{0,14} \quad (16)$$

Aus der Nußelt-Zahl und der Wärmeleitfähigkeit λ_w des Wassers kann nun der Wärmeübergangskoeffizient α_i berechnet werden:

$$\alpha_i = \frac{Nu \cdot \lambda_w}{d_{wendel}} \quad (17)$$

Um die Wandtemperaturen des Rohres zum Eintritt und zum Austritt berechnen zu können, muss der Wärmedurchgangswiderstand k ermittelt werden. Dafür wird der Wärmeübergangskoeffizient α_a an der Außenseite der Wasserwendel so wie die Wärmeleitfähigkeit λ_{V2A} des Edelstahls benötigt:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\pi \cdot d_{wendel} \cdot \alpha_i} + \frac{1}{\lambda_{V2A} \cdot \ln\left(\frac{d_{wendel,aussen}}{d_{wendel}}\right)} + \frac{1}{\pi \cdot d_{wendel,aussen} \cdot \alpha_a} \quad (18)$$

Die Wandtemperaturen am Eingang ($T_{Wand,ein}$) und Austritt ($T_{Wand,aus}$) ergeben sich dann unter Berücksichtigung der Eintrittstemperatur T_{Ein} und der Austrittstemperatur T_{aus} sowie der Temperatur des Boiler-Wassers T_{Boiler} zu:

$$T_{Wand,ein} = T_{ein} - \frac{k}{\pi \cdot d_{wendel} \cdot \alpha_i} \cdot T_{ein} - T_{Boiler} \quad (19)$$

$$T_{Wand,aus} = T_{aus} - \frac{k}{\pi \cdot d_{wendel} \cdot \alpha_i} \cdot T_{aus} - T_{Boiler} \quad (20)$$

Mit den ermittelten Größen kann schließlich die logarithmische Temperaturdifferenz T_{log} berechnet werden:

$$T_{log} = \frac{(T_{Wand,ein} - T_{Ein}) - (T_{Wand,aus} - T_{aus})}{\ln\left(\frac{T_{Wand,ein} - T_{ein}}{T_{Wand,aus} - T_{aus}}\right)} \quad (21)$$

Der notwendige Wärmestrom Q_w um das Wasser auf Solltemperatur zu bringen ergibt sich unter Berücksichtigung des Massenstroms m_w zu:

$$Q_w = c_{p,w} \cdot m_w \cdot (T_{aus} - T_{ein}) \quad (4)$$

Mit den Ergebnissen aus (21) und (4) kann letztendlich die benötigte Wendellänge l_{wendel} berechnet werden:

$$l_{wendel} = \frac{Q_w}{\alpha_i \cdot d_{wendel} \cdot \pi \cdot T_{log}} \quad (5)$$

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Ergebnisse für Rohrwendeln mit dem Innendurchmesser 8 mm und 6 mm dargestellt. Diese Innendurchmesser entsprechen einem 10x1 Rohr beziehungsweise einem 8x1

Rohr. Es zeigt sich, dass die Länge der konstruierten Wendel ausreichend ist, um die Solltemperatur von 105°C zu erreichen.

Tabelle 2: Ergebnisse der wichtigsten Kennzahlen der thermischen Auslegung der Rohrwendel

	ø8mm	ø6mm
Re_{krit}	9741	8837
Re	653	871
$\alpha_i [W/m^2 \cdot K]$	1277	1846
$T_{log}[^{\circ}C]$	16,4	13,3
$l_{wendel} [m]$	1,40	1,59

Mit den vorher gewonnenen Ergebnissen lässt sich auch die Wasseraustrittstemperatur bei gegebener Rohrlänge der Wendel berechnen. Zu beachten ist hierbei, dass iterativ vorgegangen werden muss, da die zur Berechnung notwendigen Wandtemperaturen sowie die logarithmische Temperaturdifferenz von der Wasseraustrittstemperatur abhängen. Die iterative Lösung wurde mittels der Mathematiksoftware Matlab ermittelt. Die Wasseraustrittstemperatur berechnet sich wie folgt:

$$T_{aus} = T_{ein} + \frac{\alpha_i \cdot l_{wendel} \cdot d_{wendel} \cdot \pi \cdot T_{log}}{m_w \cdot c_{p,w}} \quad (6)$$

Für die konstruierte Wasserwendel mit einer Länge von 2,9 m ergibt sich so eine Austrittstemperatur von 118,1 °C.

2.4.2 Berechnung des Druckverlusts

Verfasst und bearbeitet von Tobias Blädel

Um kontrollieren zu können, ob die Pumpe ausreichend dimensioniert ist, sind Kenntnisse über den Druckverlust in der Wasserwendel erforderlich. Die Berechnung erfolgte dabei wieder nach dem VDI Wärmeatlas [15]. Aus Kapitel 2.4.1 ist bereits bekannt, dass es sich um eine laminare Strömung handelt. Außerdem wurde mit Formel (13) bereits der mittlere Krümmungsdurchmesser bestimmt. Der Druckverlustbeiwert ζ einer Rohrwendel berechnet sich dann zu:

$$\zeta = \frac{64}{Re} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \left(\log \left(Re \cdot \sqrt{\frac{d_i}{D}} \right)^{4,0} \right) \right] \quad (7)$$

Anschließend kann der Druckverlust der Rohrwendel bestimmt werden:

$$\Delta p = \frac{\zeta \cdot l_{wendel} \cdot \rho_w \cdot v_w^2}{d_{wendel} \cdot 2} \quad (8)$$

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse für verschiedene Rohre mit einer Länge von jeweils 2,9 m. Es zeigt sich, dass der Druckverlust bei dem verwendeten 8x1 Rohr vernachlässigbar klein ist. Da die vorgesehene Pumpe einen Druck von 16 bar liefert, kann die Wendel bedenkenlos verwendet werden.

Tabelle 3: Druckverlust bei verschiedenen Wendeldurchmessern bei einer Wendellänge von 2,9

Rohr:	10x1	8x1	6x1
Innendurchmesser:	8 mm	6 mm	4 mm
Druckverlust [bar]:	0,08	0,27	1,59

2.4.3 Vergrößerung durch Innendruck

Verfasst und bearbeitet von Lukas Ankner

Die Wasserwendeln des Stahl- und Borosilikatglasboilers werden mit einem Druck von 16 bar beaufschlagt. Dabei vergrößern sich die Innendurchmesser der Wendeln aufgrund des hohen Drucks. Damit sichergestellt werden kann, ob die Wasserwendeln dem geforderten Druck standhalten, sind diese auf die maximale Durchmessererweiterung berechnet worden.

Der Innendurchmesser der Wendeln beträgt 6 mm und bei einer Wandstärke von 1 mm hat der Außendurchmesser 8 mm. Dadurch können die auftretenden Tangential-, Axial- und Radialkräfte am Rohr bestimmt werden. Anschließend wird die Vergleichsspannung mittels der Gestaltänderungshypothese (GEH)

$$\sigma_v = \sqrt[2]{\sigma_t \cdot \sigma_a \cdot \sigma_r - \sigma_t \cdot \sigma_a - \sigma_t \cdot \sigma_r - \sigma_a \cdot \sigma_r} \quad (27)$$

ermittelt.

Aus dieser resultierenden Gesamtspannung kann nun die Radialverformung der Wendeln bei dem oben genannten Innendruck berechnet werden.

$$\Delta r_x = \frac{\pi \cdot r_x \cdot r_i^2}{E \cdot (r_a^2 - r_i^2)} \cdot \left[\frac{r_a^2}{r_x^2} \cdot (1 + \nu) + 1 - \nu \right] \quad (28)$$

Die Wasserwendelvergrößerung die sich daraus aufgrund des Innendrucks ergibt, ist mit 88,5 nm sehr klein und kann somit vernachlässigt werden.

2.5 Lessons Learned

Verfasst von Tobias Blädel

Im Folgenden werden Erkenntnisse beschrieben, die während der Konstruktion und Auslegung der Boiler gewonnen wurden.

Beim Heizelement gab es die Überlegung, statt der Rohrheizkörper eine Heizpatrone einzusetzen. Diese hat sich jedoch als ungeeignet erwiesen. Die hohen Oberflächenbelastungen einer Heizpatrone können nur erzielt werden, wenn die Wärme auch abgeführt werden kann, wie es z.B. bei einem Wärmeübergang von Metall auf Metall der Fall ist. Bei Wasser als Medium liegen die möglichen Oberflächenbelastungen ungefähr im Bereich eines Rohrheizkörpers. Deshalb wäre es nötig gewesen mehrere Patronen zu verwenden. Da eine Heizpatrone im Vergleich zu einem Rohrheizkörper deutlich teurer ist, erschien diese Lösung als nicht rentabel.

Als Füllstandsensor für den Borosilikatglasboiler sollte zuerst das Druckrohr verwendet werden. Dafür sollte ein gewisser Bereich mithilfe eines Schrumpfschlauches isoliert werden. Da das Druckrohr jedoch mit dem Metallboden in Kontakt steht ist es schwierig eine hundertprozentige Isolation zu erreichen. Auch Sensoren, die auf einem kapazitiven Messprinzip beruhen haben sich aufgrund ihres hohen Preises als nicht geeignet erwiesen. Füllstandssensoren mit einem Schwimmerschalter sind ebenfalls nicht geeignet, da die verwendeten Materialien nicht temperaturbeständig gegenüber dem Boiler-Wasser sind.

Beim Borosilikatglasboiler sollte zudem überprüft werden, ob der verwendete Messingboden aus Kostengründen durch ein Rapid-Prototyping Teil aus Kunststoff ersetzt werden kann. Dafür wurde

PA12 GF30 angestrebte. Datenblätter der Hersteller zeigen jedoch, dass die erlaubte Dauertemperaturbeständigkeit bei ca. 105 °C bis 110 °C liegt und der Kunststoff damit nicht für den bis zu 130°C heißen Boiler geeignet ist.

2.6 Ausblick und weitere Aufgaben

Verfasst von Tobias Blädel

Beim Borosilikatglasboiler muss noch ein Isolationskonzept für den Boilerboden entwickelt werden. Dieses lässt sich am einfachsten beim Zusammenbau realisieren, da das notwendige Isolationsmaterial bereits vorhanden ist und nur noch zugeschnitten werden muss. Außerdem müssen die Berechnungen noch im Versuch überprüft werden. Besonders auf die Temperaturen von z.B. Boiler-Wasser und Austrittstemperatur der Wendel sollte hierbei geachtet werden. Im Rahmen dessen muss der Boiler noch montiert werden. Eine Dichtheitsprüfung ist ebenfalls notwendig. Da im Boilerboden viele Durchführungen vorhanden sind sollte aufgrund des beengten Bauraums eine Montagevorschrift erstellt werden.

Aus Kostengründen sollte eventuell über eine Substitution des Messingbodens durch Kunststoff nachgedacht werden. Der bisher überprüfte Kunststoff PA12 GF30 ist hierfür nicht geeignet. Als Fertigungsverfahren empfiehlt sich hier 3-D-Druck. Es ist auch denkbar nur die Einlagen aus PTFE, welche bisher gefräst werden, durch ein Rapid-Prototyping-Verfahren zu fertigen. Eine weitere Überlegung für die Substitution durch Kunststoff ist der Werkstoff PA12 SC. Dieser ist über den Rapid-Prototyping-Anbieter „fabb-it.de“ erhältlich. Auch dieser müsste noch auf Eignung überprüft werden.

Bei den Schneidringverschraubungen für Druckrohr und Steigrohr muss noch ein Angebot für eine größere Serie eingeholt werden, da die Stückpreise sonst sehr teuer sind. Denkbar ist auch eine Befestigung mit einem Nippel, wie sie beim Heizelement und der Wasserwendel angestrebte ist.

3 Konstruktion des kalten Siebträgers

Verfasst und bearbeitet von Lukas Ankner

Der Siebträger hat die Aufgabe, aus dem heißen Brühwasser der Brühgruppe einen fertigen Kaffee zu machen und ihn in eine Tasse zu leiten. Daher wird dieser auch direkt an die Brühgruppe montiert, was mittels einer Drehbewegung passiert, wenn sich der Siebträger in der Brühgruppe befindet. Ein Problem bei herkömmlichen Siebträgern als Kaufteil ist es jedoch, dass durch die metallische Konstruktion dem Brüh- bzw. Kaffeewasser sehr viel Wärme entzogen werden kann. Um dem entgegenzuwirken soll der Siebträger mit Auslauf neu konstruiert werden. Der Werkstoff der Konstruktionen soll hierbei PVDF sein, da der Kunststoff sehr wärmeisolierend und zudem lebensmittelverträglich ist. Dieser Werkstoff wird nur verwendet, wenn die Herstellung der Teile manuell erfolgt. Bei der Herstellung über den 3D-Druck wird PA12 mit 40% Glasanteil verwendet

Zur Entwicklung des kalten Siebträgers mit Auslauf gibt es mehrere Möglichkeiten, welche im Folgenden beschrieben werden.

3.1 Konstruktion des Auslaufs als 3-Teile-Prinzip

Verfasst und bearbeitet von Lukas Ankner

Für die Realisierung des Siebträgers sind bodenlose Siebträger als Modelle bestellt worden. Diese wurden genau vermessen und anhand der Ergebnisse sind drei weitere Komponenten konstruiert worden, um den sicheren Auslauf des Kaffees zu gewährleisten: Innenring, Außenring und Auslauf. Für den Auslauf sind hier zwei verschiedene Varianten konstruiert worden. (siehe 3.1.3 Auslauf)

3.1.1 Innenring

Der Innenring sitzt direkt unter dem Sieb aus Metall (Zukaufteil) und sammelt über seine Trichterform den Kaffee in der Durchgangsbohrung. In der Durchgangsbohrung ist ein M20x1 Innengewinde für die Verschraubung mit dem Auslauf eingeschnitten.

Die Herstellung für Prototypen erfolgt über eine Werkstatt der Hochschule München.

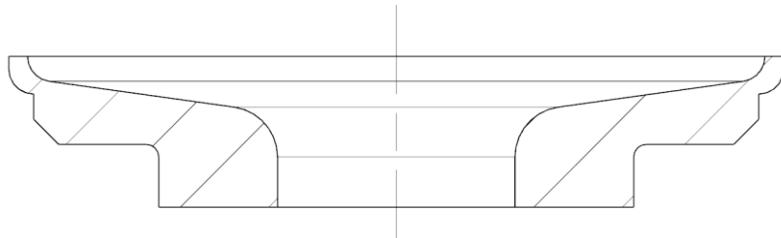


Abbildung 24: Siebträger-Innenring, Schnitt

Die Außenkontur ist dabei so konstruiert worden, dass er im Gegenstück – dem Siebträger – genau aufliegt.

3.1.2 Außenring

Der Außenring liegt zwischen Innenring und Auslauf und dient dazu, dass sich das verschraubte Konstrukt nicht bewegen kann. Er verspannt dieses mit dem bodenlosen Siebträger.

Die Herstellung für Prototypen erfolgt über eine Werkstatt der Hochschule München.

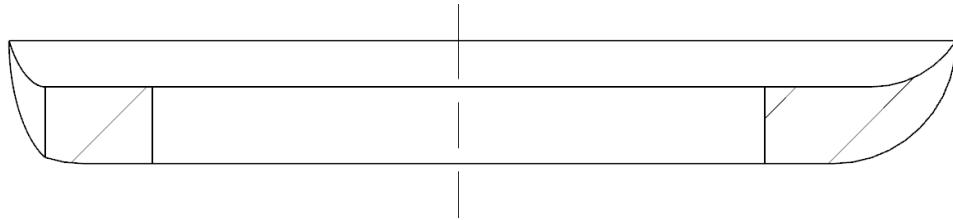


Abbildung 25: Siebträger-Außenring, Schnitt

Der Außenring besitzt eine Dicke von 5 mm und passt durch seine Rundungen genau an die Außenkontur des Siebträgers. Die Durchgangsbohrung hat einen Durchmesser von 40 mm, um für das Fertigungsverfahren hier aufgenommen zu werden.

An einer Stelle des Rings (hier: linke Seite) ist eine Aussparung notwendig, damit der Ring nicht mit dem Griff des Siebträgers kollidiert. Somit ist der Außenring auch gegen rotatorisches Verrutschen gesichert.

3.1.3 Auslauf

Der Auslauf wird durch den oberen Stutzen mit dem Innenring befestigt, da an diesem ein Außengewinde M20x1 auf die gesamte Länge aufgeschnitten ist. Der Auslauf existiert in zwei Varianten: mit 1-fachem Auslauf und mit 2-fachem Auslauf.

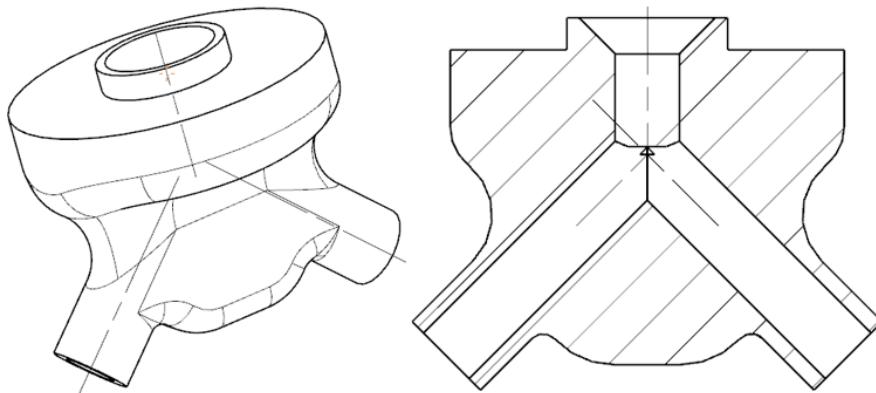


Abbildung 26: Siebträger-Auslauf, 2-fach

Die Herstellung für Prototypen erfolgt über eine Werkstatt der Hochschule München.

Der 1-fache Auslauf hat anstelle der zwei unteren Bohrungen eine einzige Durchgangsbohrung in der Mitte. Die äußere Konstruktion ist aber identisch, da es optischen und Fertigungstechnischen Nutzen hat.

Da der Auslauf aus optischen Gründen sehr viele Rundungen besitzt, welche schwierig zu fertigen sind, ist ein alternativer Auslauf konstruiert worden.

3.1.4 Auslauf Alternativ

Der alternative Auslauf ist auch in den Varianten 1-fach und 2-fach konstruiert worden. Durch die kantigere Form ist dieser in der Werkstatt der Hochschule München leichter zu fertigen.

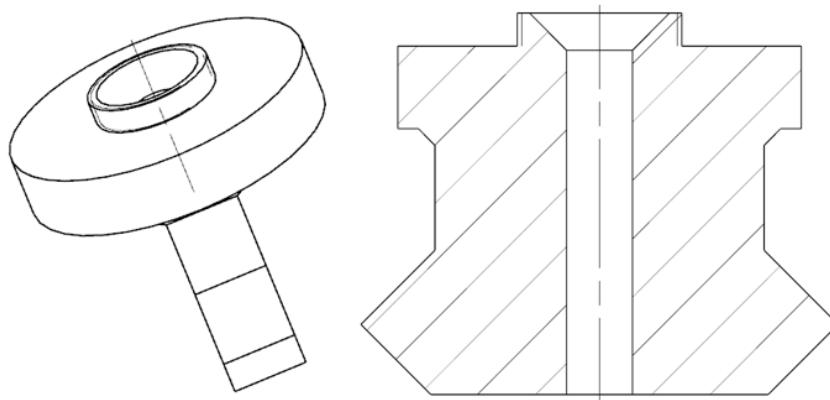


Abbildung 27: Alternativ Siebträger-Auslauf, 1-fach

Durch Abbildung 26 des Auslaufs und Abbildung 27 des Alternativ-Auslaufs lässt sich der Unterschied zwischen der 1-fachen und der 2-fachen Variante im Schnitt gut erkennen.

3.2 Modelle für den 3D-Druck

Verfasst und bearbeitet von Lukas Ankner

Aufgrund der leichteren und kostengünstigeren Herstellung über den 3D-Druck sind verschiedene Bauteile entwickelt worden. Somit wären die einzigen Zukaufteile des Siebträgers das Metallsieb und der Verspannring für das Metallsieb.

Der Werkstoff dafür ist PA12 mit einem Glasanteil von 40 %. Aus diesem ergibt sich eine Streckgrenze von $30 \frac{N}{mm^2}$ und eine Biegefesteitkigkeit von $65 \frac{N}{mm^2}$.

3.2.1 Innenring, Außenring, Auslauf – kombiniert

Um sich die Fertigung von drei verschiedenen Komponenten zu sparen, sind der Innenring, Außenring und der Auslauf als ein Teil konstruiert worden. Durch die Variante mit dem kompletten Siebträger als 3D-Druckteil wird diese Konstruktion aber nicht gefertigt.

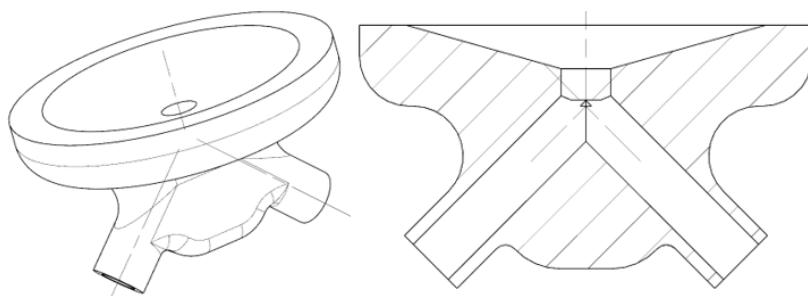


Abbildung 28: Siebträger-Auslauf-kombiniert, 2-fach

3.2.2 Siebträger mit Auslauf

Um den bodenlosen Siebträger nicht teuer als Zukaufteil zu erwerben, wurde dieser zusammen mit dem Auslauf als ein gemeinsames Teil entwickelt. Dieses kann auch im 3D-Druckverfahren hergestellt werden und weist durch den Kunststoff eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf.

Das Sieb und der Spannring für das Sieb sind weiterhin Zukaufteile. Der Siebträger wurde auf Basis des Originals konstruiert, damit das Sieb weiterhin einen festen Sitz hat.

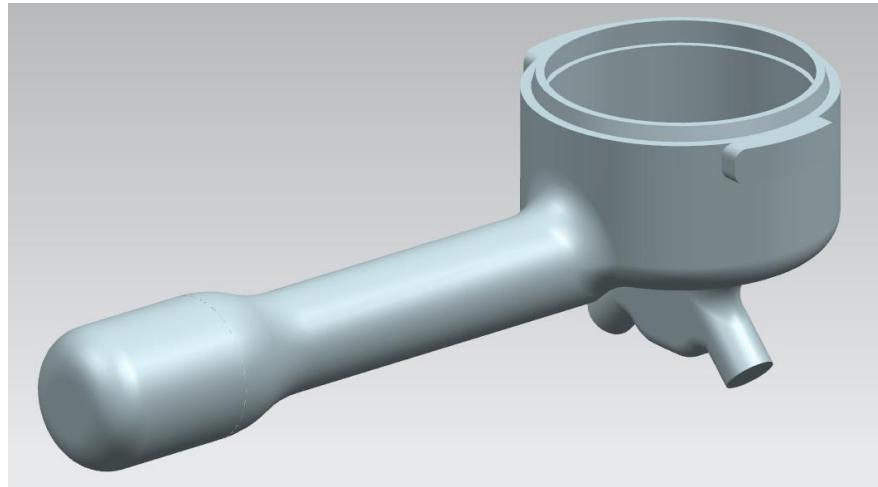


Abbildung 29: Siebträger 3D-Druck, 1-fach

Als Schwachstelle ist hier die Verbindung vom Siebträger zum Griff angesehen, da dort die Umfangskraft beim Eindrehen in die Brühgruppe auf kleinster Fläche am größten ist.

Hier wurde eine Sicherheit gegen Bruch berechnet und der Prototyp wurde bereits hergestellt und getestet.

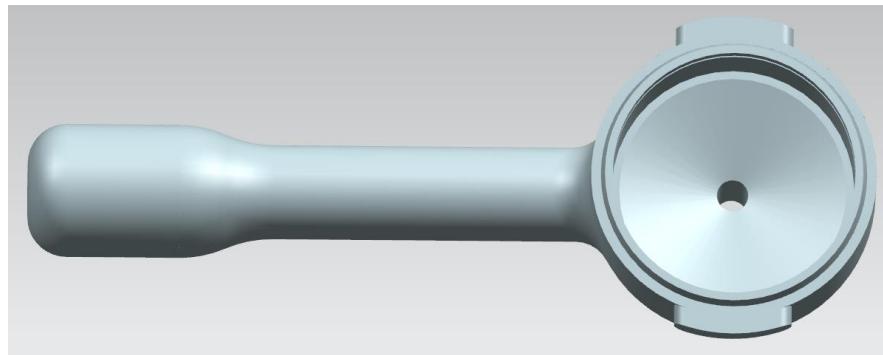


Abbildung 30: Siebträger 3D-Druck von oben, 1-fach

Durch den Trichterförmigen Zulauf im Inneren des Siebträgers wird der Kaffee optimal aufgefangen. Auch hier gibt es wieder zwei Varianten, einen 1-fachen und einen 2-fachen Auslauf.



Abbildung 31: Flügel des Siebträgers

Die Flügel wurden im Vergleich zum Original verstärkt und weisen eine Minimalkraft von 8 mm sowie eine Länge von 30 mm auf. Dadurch sollten diese beim Eindrehen in die Brühgruppe nicht abbrechen.

Des Weiteren wurden diese direkt auf die Brühgruppe abgestimmt und sorgen für eine feste Pressung an die Dichtung, damit der Kaffee beim Brühen nicht herausläuft.

3.2.3 Festigkeitsnachweis der Schwachstelle am 3D-Modell

Die Schwachstelle des Siebträgers vom 3D-Druck ist die Verbindung zwischen dem Siebträger selbst und dem Griff. Durch den langen Hebel des Griffes und den geringen Querschnitt an dieser Stelle, entsteht hier eine besonders hohe Gefahr des Bruchs. Als Ausgangskraft für die Berechnungen wird eine Kraft von 1000 N angenommen, welche am Umfang des Siebträgers angreift und bereits eine doppelte Sicherheit beinhaltet. Durch die Hebellängen zum Siebträgermittelpunkt, welcher gleichzeitig auch Drehpunkt ist, und zum Ende des Griffes kann das auftretende Biegemoment mit

$$M_b = F \cdot l \quad (29)$$

bestimmt werden. Durch den angenommenen Durchmesser an der kritischen Stelle von 24 mm, welcher im Vergleich zum originalen Siebträger vergrößert wurde, kann das dort herrschende Widerstandsbiegemoment berechnet werden.

$$W_b = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \quad (30)$$

Daraus lässt sich die auftretende Biegespannung ermitteln, wobei der Anwendungsfaktor auf einen Wert von 1,2 gesetzt wurde.

$$\sigma_b = \frac{K_A \cdot M_b}{W_b} \quad (31)$$

Beim Vergleich dieser Spannung mit der zulässigen Spannung des Materials ergibt sich ein Sicherheitsfaktor von 2,5 und ist somit zulässig. Mit dem bereits gefertigten Teil werden zudem Versuche durchgeführt, welche die Bruch- und Biegesicherheit ebenfalls nachweisen sollen.

4 Konstruktion der Brühgruppe

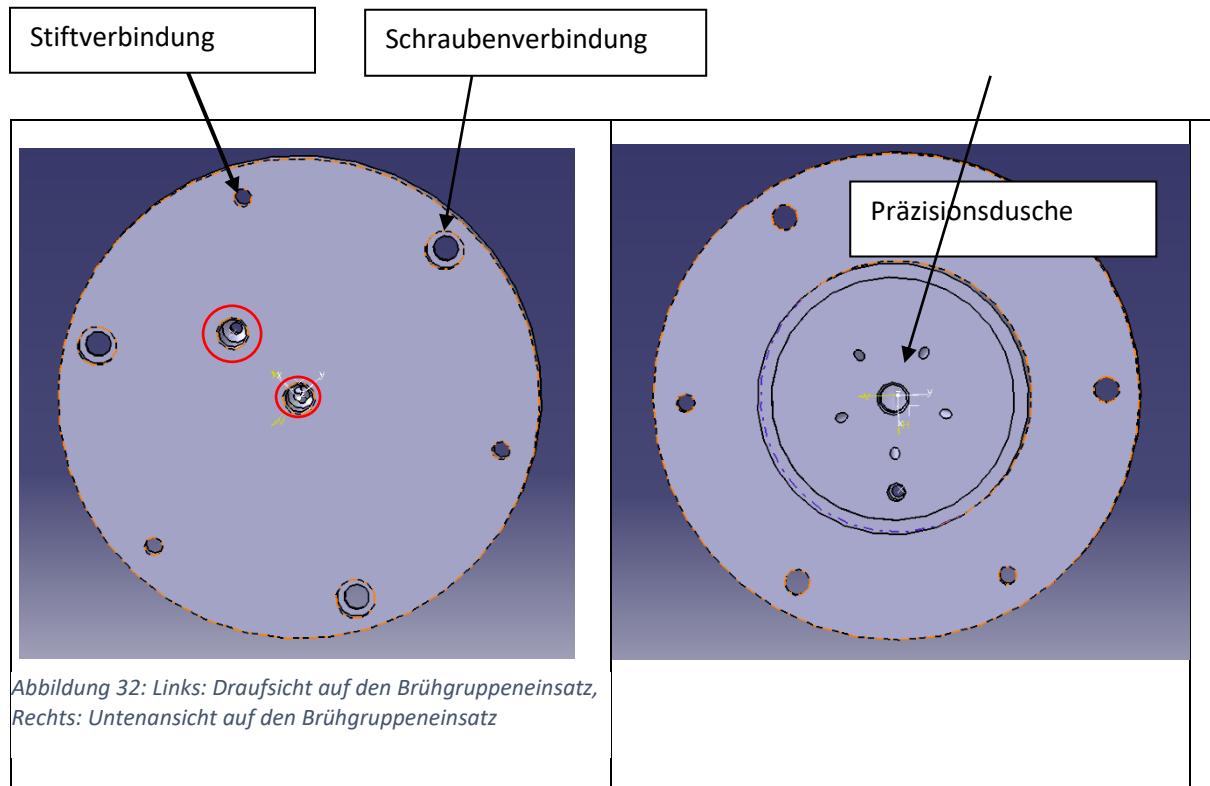
Verfasst und bearbeitet von Yasin Bolat

Für die kalte Brühgruppe wurden zwei verschiedene Varianten konstruiert und ausgelegt. Dabei wurde die klassische Art, bestehend aus Trägerblech, Siebträgeraufnahme und Brühgruppeneinsatz und eine Variante bestehend aus PA12, welches 3D-gedruckt wurde, konstruiert.

Als Grundlage für die kalte Brühgruppe dienten die „Bachelorarbeit Konstruktion der kalten Brühgruppe“ [16] sowie die „Projektarbeit Konstruktion einer Espressomaschine“ [17].

Der Brühgruppeneinsatz, Siebträgeraufnahme und das Trägerblech wurden komplett neu konstruiert, da kein Modell, oder eine technische Zeichnung vorlag. Als Grundlage und Orientierung diente nur die Skizze der kalten Brühgruppe aus der letzten Projektarbeit „Konstruktion einer Espressomaschine“. Außerdem wurde durch die Idee vom Herrn Rohnen, die Brühgruppe aus PA12 komplett als Einzelteil konstruiert und anschließend 3D-gedruckt.

4.1 Brühgruppeneinsatz



In Abbildung 32 ist der Brühgruppeneinsatz aus PVDF zu sehen. Der Brühgruppeneinsatz wird mit dem Trägerblech und der Siebträgeraufnahme mit Stiften und Schrauben befestigt. Außerdem wird es mit AVS Römer Ventilen, die an den rot markierten Bereichen befestigt werden, ausgestattet. Durch die Ventile gelangt das Wasser in die Brühgruppe.

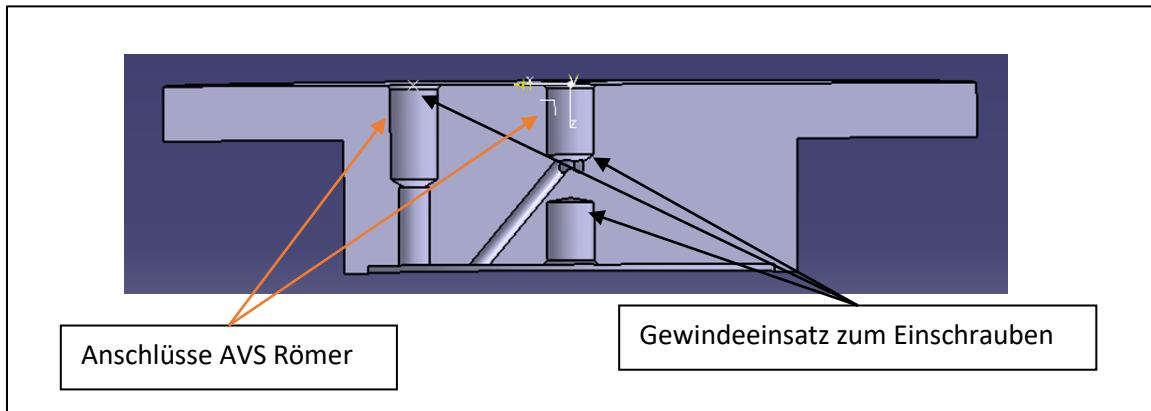


Abbildung 33: Schnitt Brühgruppeneinsatz

Bohrungen Die Zwei oben und einmal unten, welches man in Abbildung 33 sehr gut erkennen kann, werden mit AVS Römer Ventilen und Gewindeeinsätzen zum Einschrauben, von der Firma Kerb Konus ausgestattet. Unten im Brühgruppeneinsatz wird die Präzisionsdusche mit einem Durchmesser von 51,5mm eingesetzt. Nähere Informationen findet man unten in der Stückliste. Abbildung 33 zeigt auch den Verlauf der Bohrungen für das Abwasser bzw. Spülwasser, das ist die Vertikale Bohrung links. Außerdem sieht man den Bohrungsverlauf für das Brühwasser, das sind die gewinkelten Bohrungen in der Mitte.

4.2 Siebträgeraufnahme

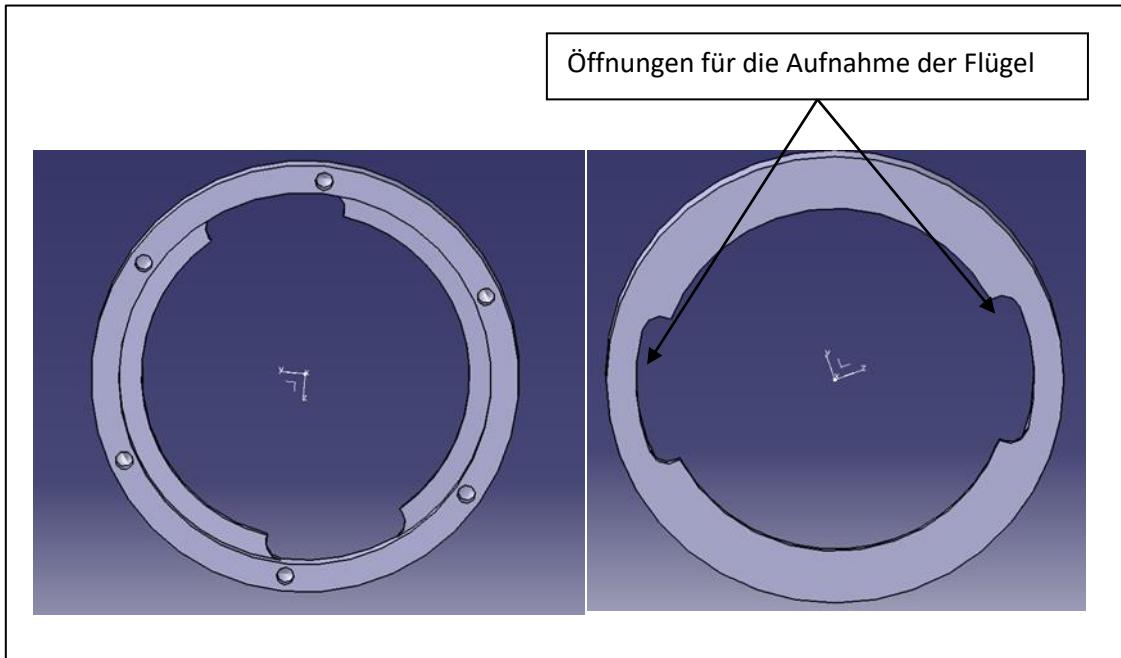


Abbildung 34: Siebträgeraufnahme

In Abbildung 34 sieht man die Siebträgeraufnahme, welches aus Messing besteht. Das Messingteil wird von Oben mit einem VHM-Bohrer gefräst. Dadurch entstehen die Radien an den Öffnungen, welches zur Aufnahme der Siebträger dient. Die Siebträgeraufnahme kommt unter dem Trägerblech und wird

dann von oben mit dem Brühgruppeneinsatz verschraubt. Außerdem verfügt es Bohrungen für die Aufnahme der Stifte.

4.3 Trägerblech

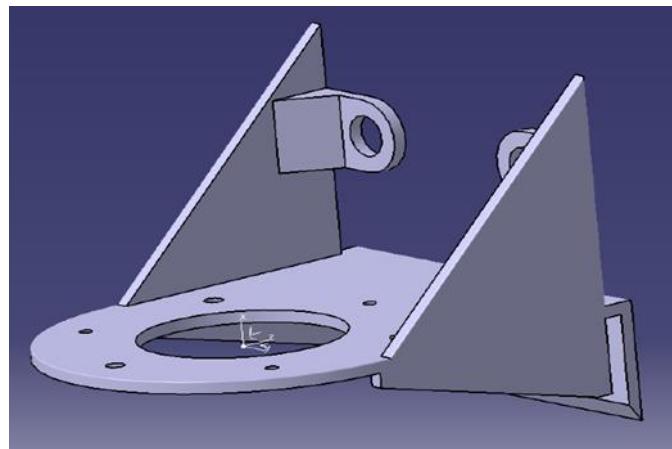


Abbildung 35: Trägerblech

Hier in Abbildung 35 sieht man noch den Trägerblech aus Stahl, welches am Grundrahmen befestigt wird. Die Wandstärke beträgt 4mm. Hier kann man noch den Trägerblech weiter gestalten, bzw. noch anpassen. Der Brühgruppeneinsatz kommt obendrauf, und die Siebträgeraufnahme wird dann von unten verschraubt

4.4 Brühgruppe aus PA12

Durch die Idee von Herrn Rohnen wurde die Brühgruppe aus PA12 komplett als Einzelteil konstruiert und anschließend 3D-gedruckt. Vorteile bei dieser Konstruktion ist es, dass man die Schrauben und Stifte nicht mehr benötigt. Außerdem spart man bei dieser Konstruktion sehr viel Geld und Gewicht, da alles komplett 3D-gedruckt wird.

PA12 eignet sich sehr gut für unsere Konstruktion, da sie eine hohe Zähigkeit und gute Chemikalienbeständigkeit verfügt. Außerdem beinhaltet PA12 die geringste Wasseraufnahme aller Polyamide, d.h. alle Teile, die aus PA12 hergestellt werden, sollten in feuchten Umgebungen stabil bleiben. Zudem bietet PA12 eine gute Schlagzähigkeit und Verschleißfestigkeit.

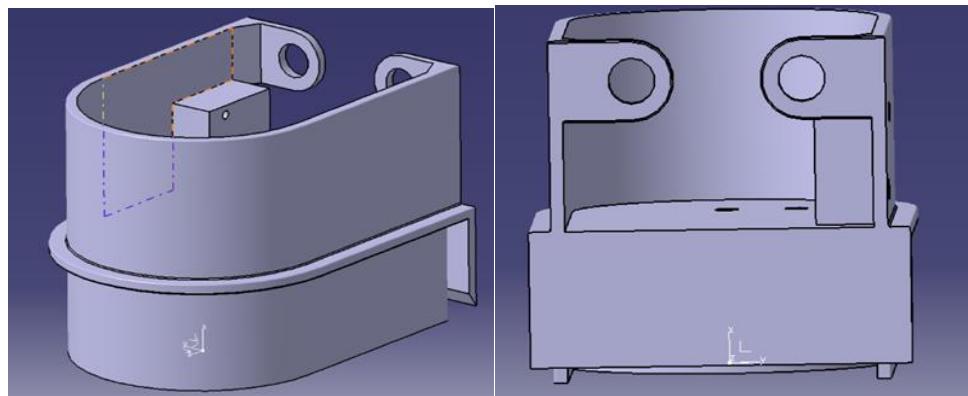


Abbildung 36: Brühgruppe komplett aus PA12

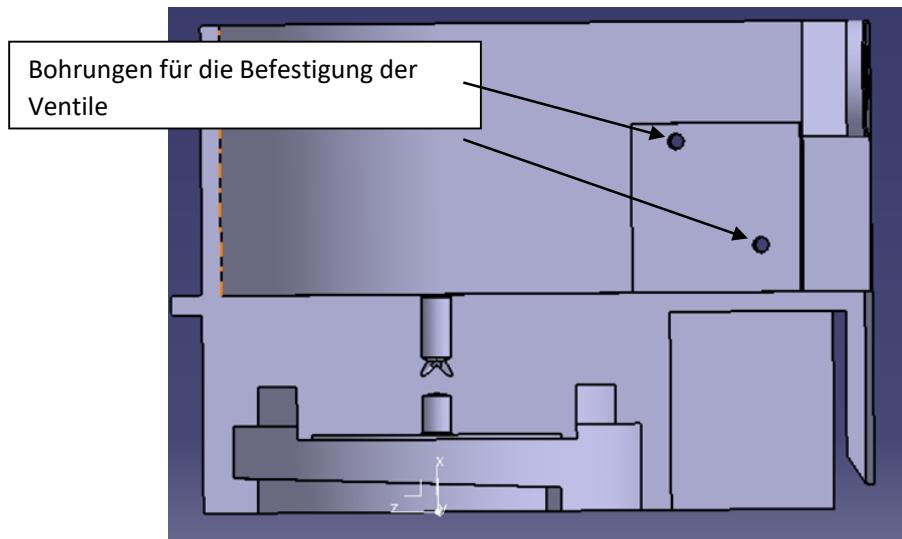


Abbildung 37: Schnitt durch die Brühgruppe aus PA12

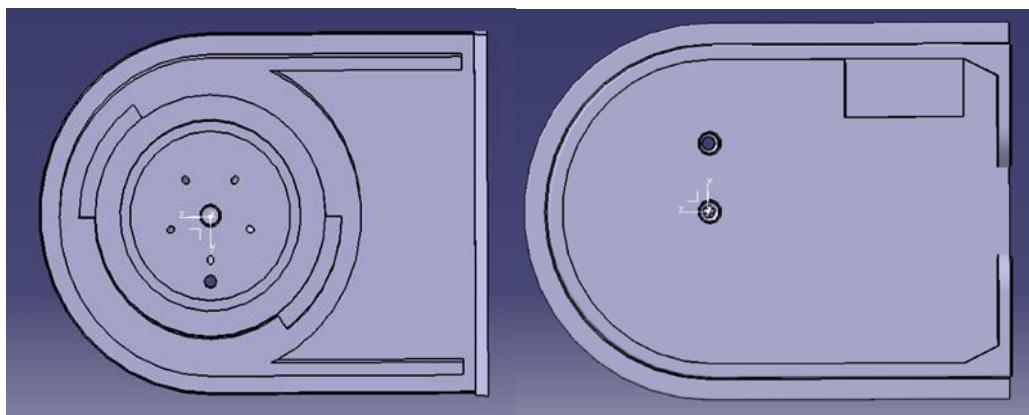


Abbildung 38: Draufsicht und Unteransicht auf die Brühgruppe aus PA12

In Abbildung 36 sieht man hinten die Bohrungen für die Schrauben, welches am Grundrahmen verschraubt werden. Die zwei Bohrungen in Abbildung 37 sind für die Befestigung der Ventile vorgesehen. Wie man in Abbildung 36 und Abbildung 38 sehen kann, besteht die Konstruktion aus einem Einzelteil. Die Funktion und Ablauf der Brühgruppe aus PA12 ist dieselbe, wie bei der ersten Konstruktion. Eine Brühgruppe wurde bereits 3D gedruckt, allerdings ist die (Oberflächen) Qualität nicht so gut, wie wir uns das vorgestellt hatten. Die Oberflächenschicht hält nicht ordentlich und löst sich an einigen Stellen auf. Das sieht man vor allem bei der Siebträgeraufnahme in der Innenseite. Auf der Unterseite zeigen sich auch unerwünschte Linien auf. Teilweise ist die Oberfläche auch sehr rau. Beim 3D drucken sind Bauteile- und Materialeigenschaften sehr abhängig vom jeweiligen 3D-Druckerverfahren sowie von der Schichtstärke. Bei Objekten mit komplexen Geometrien kann die Verringerung der Schichtstärke eine Qualitätssteigerung bewirken, allerdings würde die Druckzeit länger sein und die Kosten würden steigen. Man kann noch andere Lieferanten aussuchen, sowie andere Druckerverfahren mit anderen Kunststoffen ausprobieren, um die erforderliche Qualität zu sichern.

4.5 Festigkeitsberechnung kalte Brühgruppe

In [17] wurde eine Umfangskraft von 1000N unter Berücksichtigung einer zweifachen Sicherheit ermittelt. Die Berechnungen beziehen sich auf diesen Wert.

Berechnung Zylinderstifte

Bauteile lassen sich einfach und kostengünstig mit Stiften oder Bolzen verbinden. Die entstehende Verbindung ist form- und kraftschlüssig. Stifte dienen zur Sicherung der Lage (Fixierung, Zentrierung) von Bauteilen, zur scherfesten Verbindung von Maschinenteilen. Daher sollten Stifte aus einem härteren Werkstoff als die zu verbindenden Bauteile sein.

Abscherspannung

$$\tau_a = \frac{4}{3} \times \frac{4 \times K_A \times F_i}{d^2 \times \pi} = \leq \tau_{azul} \quad (32)$$

Mit:



τ_a = Abscherspannung

τ_{azul} = zulässige Abscherspannung

F_i = zu übertragende Kraft

d = Durchmesser Stift, 4mm

K_A = 1

i= Anzahl Stifte, 3

Ergibt sich:

$$F_i = \frac{1000N}{3} = 333,33 N \quad (33)$$

$$\tau_a = \frac{4 \times 1 \times 333,33 N}{4mm^2 \times \pi} = 35,37 \frac{N}{mm^2}$$

- Zugfestigkeit Stift= $600 \frac{N}{mm^2}$ (gehärtet)

Zulässige Scherspannung, τ_{azul} :

- Quellenangabe: [18], Kapitel 9 Formel

Tabelle 4: Zulässige Scherkraft

Belastung	ruhend	schwellend	wechselnd
τ_{azul}	$0,2R_m$	$0,15R_m$	$0,1R_m$

$$\tau_{azul} = 0,2 \times Rm \quad (34)$$

$$\tau_{azul} = 0,2 \times 600 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{azul} = 120 \frac{N}{mm^2}$$

Lochleibung:

$$\sigma_l = \frac{F}{n \times d \times t_{min}} \leq \sigma_{lzul} \quad (35)$$

Mit:

σ_l = Lochleibungsdruck

F = zu übertragende Kraft

t_{min} = kleinste Bauteildicke

N= Anzahl (hier 3)

σ_{lzul} = zulässige Lochleibungsdruck

Ergibt sich:

$$\sigma_l = \frac{1000N}{3 \times 4mm \times 4mm} = 20,83 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{wzul} = 100 \frac{N}{mm^2} \text{ aus TB[7-6]}$$

$$\sigma_{lwzu_l} = 2 \times \sigma_{wzul} \quad (36)$$

$$\sigma_{lwzu_l} = 2 \times 100 \frac{N}{mm^2} = 200 \frac{N}{mm^2}$$

Flächenpressung Siebträger

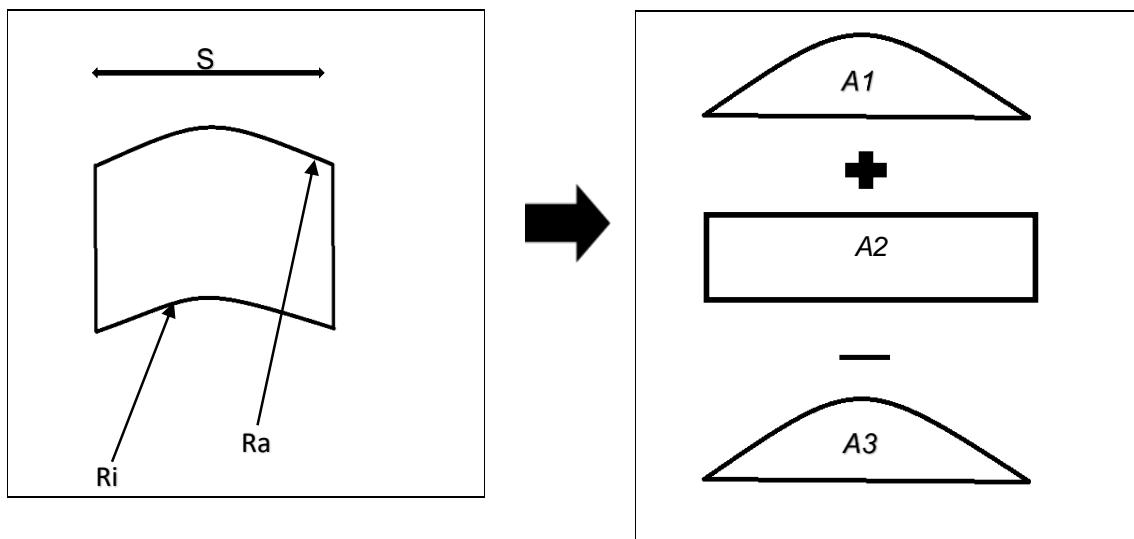


Abbildung 39: Flügelfläche vom Siebträger

- Flügelbreite $s = 28mm$
- Außenradius $R_a = 41,05 mm$
- Innenradius $R_i = 36,55 mm$
- Pressfläche $A_p = A_1 + A_2 - A_3$
- Anzahl Flügel $n=2$
- Kraft $F = 1000N$

$$h_A = R_a - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot R_a^2 - s^2} \quad (37)$$

$$h_A = 2,46 \text{ mm}$$

$$A_1 = R_a^2 \cdot \arcsin\left(\frac{s}{2 \cdot R_a}\right) - \frac{s \cdot (R_a - h_A)}{2} \quad (38)$$

$$A_1 = 46,21 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = S \cdot (R_a - R_i) \quad (39)$$

$$A_2 = 126 \text{ mm}^2$$

$$h_I = R_i - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot R_i^2 - S^2} \quad (40)$$

$$h_I = 2,79 \text{ mm}$$

$$A_3 = R_i^2 \cdot \arcsin\left(\frac{s}{2 \cdot R_i}\right) - \frac{S \cdot (R_i - h_I)}{2} \quad (41)$$

$$A_3 = 52,48 \text{ mm}^2$$

$$A_p = A_1 + A_2 - A_3 \quad (42)$$

$$A_p = 119,73 \text{ mm}^2$$

$$p_f = \frac{F}{n \cdot A_p} \quad (43)$$

$$p_f = 4,18 \frac{N}{mm^2}$$

Gemäß der Herstellerangaben von HP können Bauteile aus PA12 mit einer Wandstärke von 4mm, Drücke bis zu 20 bar aushalten. Natürlich spielt auch hier die Form der Geometrie eine wichtige Rolle.

Skizze mit den auftretenden Kräften an der Brühgruppenverschraubung

In Abbildung 40 ist eine Skizze der Brühgruppe mit einem Siebträger zu sehen. Hier werden die auftretenden Kräfte, die jeweils 150N betragen, an den Brühgruppenverschraubungen ermittelt. Es werden zwei Fälle berücksichtigt:

- Fall1: Beim Einspannvorgang wird die Kraft F mit 150N am Ende des Siebträgers horizontal eingebracht.
- Fall2: Beim Abstützen auf das Siebträgerende entsteht eine vertikale Kraft F mit 150N.

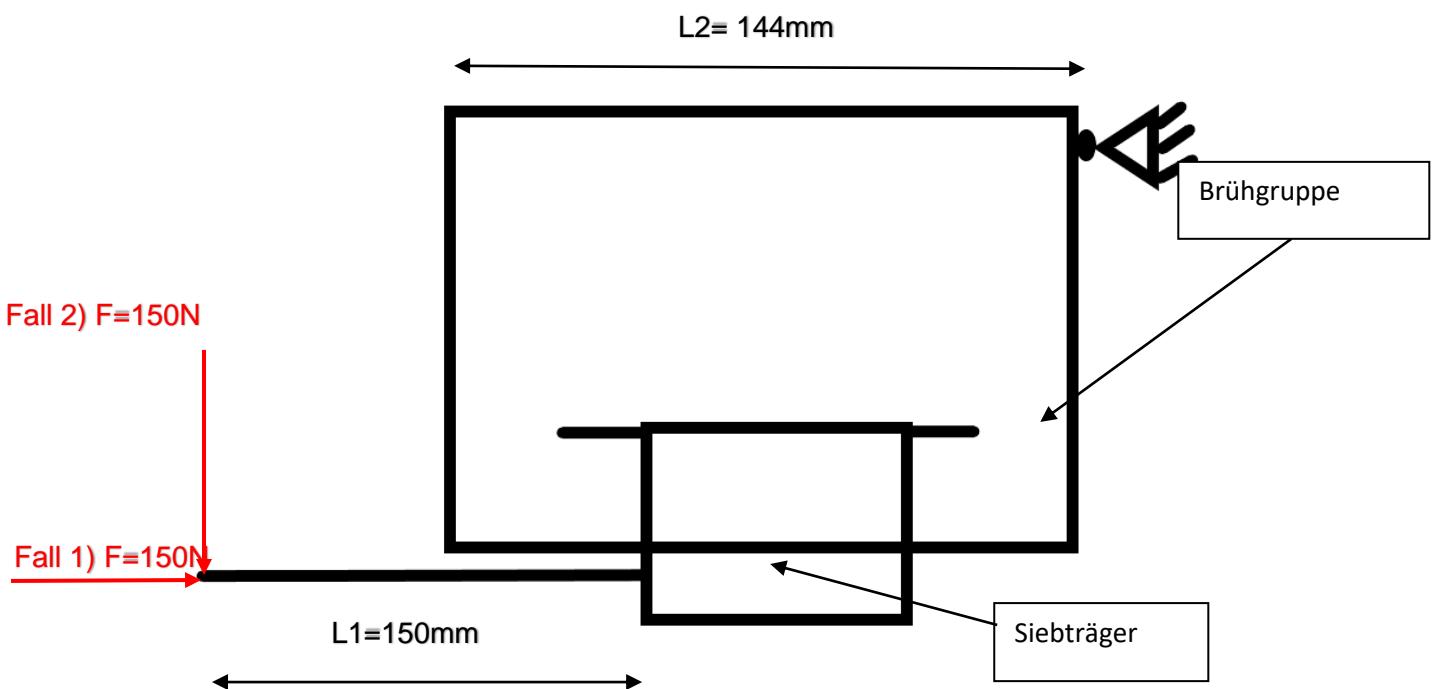


Abbildung 40: Skizze Brühgruppe mit Siebträger

Durch Freischneiden des Körpers, werden die Kräfte am Brühgruppenverschraubung ermittelt. Für die Verschraubungen werden M12 Schrauben verwendet. Außerdem kann man die Verbindung als starr ansehen. Zuerst betrachten wir die vertikale Kraft, die am Ende des Siebträgers wirkt, also Fall 2, die beim Abstützen entsteht. Daraus ergibt sich ein Moment, mit dem Hebelarm $L1$.

$$M = F \cdot L_1 \quad (44)$$

$$M = 150N \cdot 150mm$$

$$M = 22500 Nmm$$

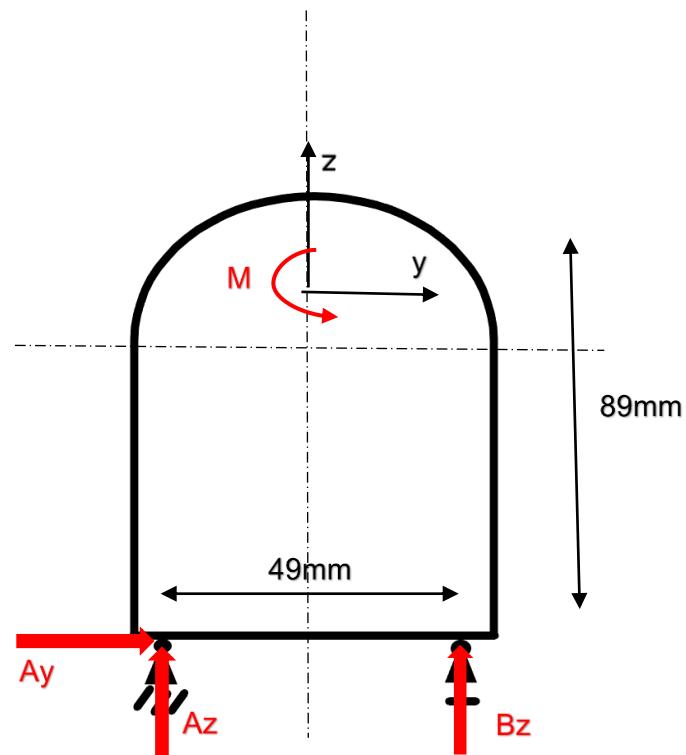


Abbildung 41: Draufsicht auf die Brügelgruppe

$$\sum F_z: Az + Bz \quad (45)$$

$$\Rightarrow Bz = -Az \quad (46)$$

$$\sum M_A: Bz \cdot 49mm + M \quad (47)$$

$$\Rightarrow M = -Bz \cdot 49mm$$

$$\Rightarrow M = Az \cdot 49mm$$

$$\Rightarrow Az = \frac{M}{49mm} = \frac{22500Nmm}{49mm} = 459,18N$$

Az in (46) eingesetzt ergibt sich:

$$Bz = -459,18N$$

$$\sum F_y: A_y = 0 \quad (48)$$

$$Lagerkräfte = \sqrt{A_z^2 + B_z^2} \quad (49)$$

$$= \sqrt{(459,18N)^2 + (-459,18N)^2}$$

$$Lagerkräfte = 649,38N$$

Nun wird der erste Fall, mit der horizontalen Kraft, die entgegen die Brühgruppe wirkt, betrachtet. In Abbildung 40 sieht man noch die Skizze dazu. Durch Bilden von Gleichgewichtsbedingungen werden die Lagerkräfte ermittelt.

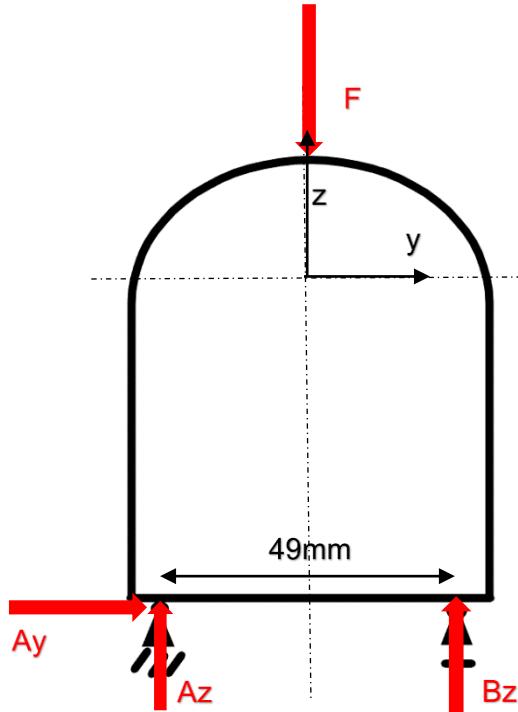


Abbildung 42: Draufsicht auf die Brückengruppe mit der horizontalen Kraft F

$$\sum M_A: B_z \times 49mm - F \times 24,5mm \quad (50)$$

$$\Rightarrow B_z = \frac{F \times 24,5mm}{49mm}$$

$$\Rightarrow B_z = \frac{150N \times 24,5mm}{49mm}$$

$$\Rightarrow B_z = 75N$$

$$\Sigma F_y: Ay = 0 \quad (51)$$

$$\Sigma F_z: Az + Bz - F \quad (52)$$

$$Az = -Bz + F$$

$$Az = 75N$$

$$\text{Lagerkräfte} = \sqrt{Az^2 + Bz^2} \quad (53)$$

$$= \sqrt{75N^2 + 75N^2}$$

$$\text{Lagerkräfte} = 106,07N$$

Wie man oben sehen kann ergeben sich 649,38N und 106,07N an den Brühgruppenverschraubungen. Für die Verschraubungen werden M12 Schrauben verwendet. Laut [18] Tabellenbuch 8-13 ergeben sich für M12 Schrauben, mit der niedrigsten Festigkeitsklasse von 4.6 eine stat. Axiale Kraft von 6,3 kN.

Als Nächstes wird das Biegemoment in der Brühgruppe berechnet. Dafür wird die vertikale Kraft mit 150N, mit dem Hebelarm L1+L2 betrachtet (siehe Abbildung 40).

Daraus ergibt sich:

$$L_{ges} = 150mm + 144mm = 294mm \quad (54)$$

$$Mb = F \cdot L_{ges} \quad (55)$$

$$Mb = 44100Nm$$

Biegespannung:

$$\sigma_B = \frac{Mb}{w} \quad (56)$$

Der Widerstandsmoment w errechnet sich als Quotient aus dem Flächenträgheitsmoment und dem Abstand, der das Maß von der spannungsfreien neutralen Faser bis zur Außenkante darstellt. Für die Berechnung wird die Querschnittsfläche vom Trägerblech verwendet (siehe Abbildung 43).

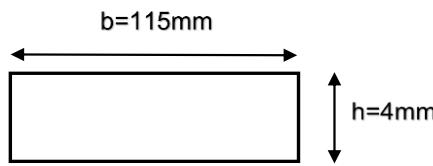


Abbildung 43: Querschnittsfläche vom Trägerblech

Daraus ergibt sich die Formel:

$$w = \frac{I}{a_{\max}} = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{115\text{mm} \times 4\text{mm}^3}{\frac{12}{2\text{mm}}} = 1226,67 \text{ mm}^3 \quad (57)$$

Eingesetzt in Formel (56) ergibt sich:

$$\sigma_B = \frac{44100 \text{ Nmm}}{1226,67 \text{ mm}^3} = 35,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

In Tabelle 5 sieht man noch die mechanischen Eigenschaften von PA12. Die Daten stammen aus der Internetseite von Ensingerplastics.com.

Tabelle 5: PA12-Datenblatt, Quelle: [19]

	Wert	Einheit
Streckspannung	53	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Zug-Elastizitätsmodul	1800	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Schlagzähigkeit (Charpy)	n.b.	$\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$
Zugfestigkeit	53	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Streckdehnung	9	%
Bruchdehnung	200	%
Biegefestigkeit	68	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Biege-Elastizitätsmodul	1700	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Druckfestigkeit	13/24/55	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Druck-Elastizitätsmodul	1600	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Die ermittelte Biegespannung ist kleiner als 68 MPa. Als nächstes wird die horizontale Kraft, die entgegen die Brühgruppe wirkt, die Druckspannung mit dem Querschnitt des Griffes ermittelt. Dafür wird zuerst der mittlere Durchmesser D_m berechnet, weil der Griff vorne und hinten unterschiedliche Durchmesser besitzt (Abbildung 44).

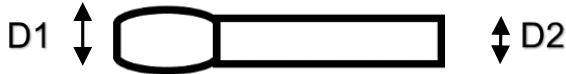


Abbildung 44: Skizze Siebträgergriff

Daraus ergibt sich der mittlere Durchmesser:

$$D_m = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (58)$$

$$D_m = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (27)$$

Mit: $D_1 = 34\text{mm}$

$D_2 = 24\text{mm}$

$$D_m = \frac{34\text{mm} + 24\text{mm}}{2}$$

$$D_m = 29\text{mm}$$

Druckspannung:

$$\sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{D_m^2 \times \pi}{4}} \quad (59)$$

$$\sigma_d = \frac{150\text{N}}{\frac{29\text{mm}^2 \times \pi}{4}} = 0,23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

In Tabelle 5 sieht man die Druckfestigkeit von PA12, die 13 MPa beträgt.

4.6 Ausblick und weitere Aufgaben

Da man beim Prototypen Probleme mit der Oberfläche hatte, wäre die nächste Aufgabe, die gewünschte Oberflächenqualität zu erreichen. Es gibt unterschiedliche Lieferanten auf dem Markt, mit unterschiedlicher Druckerverfahren. Welche Druckerverfahren für die Brühgruppe aus PA12 geeignet wäre, muss noch erforscht werden. Auch optisch kann man die Brühgruppe aus PA12 weitergestalten.

5 Konstruktion der Grundrahmen

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung der Grundrahmen anhand des funktionellen Aufbaus der Espressomaschinen in den Varianten Labor, Home und Style. Um den Entwicklungsaufwand gering zu halten wurden nach Möglichkeit gleiche oder ähnliche Baugruppen verwendet.

Zuerst wurde die Variante Labor entwickelt, da diese als Basis der anderen Maschinen dient. Unterschiede wurden bereits frühzeitig beachtet, um den Änderungsaufwand zu minimieren. Außerdem können die bei der Inbetriebnahme gewonnenen Erkenntnisse in die anderen Varianten einfließen.

5.1 Variante Labor und Home

Die Konstruktion des Grundrahmens gliedert sich in zwei Aufgabenpakete. Einerseits wurde der funktionelle Aufbau der Maschine konstruiert, was die Verknüpfung von Sensorik, Ventilen, Leitungen und Schnittstellen nach außen darstellt. Andererseits wurde der Grundrahmen entwickelt, der als Gerüst die Funktionsbauteile fixiert, ein Aufstellen der Maschine sicherstellt und für ausreichend Stabilität bei verschiedenen Belastungen sorgt. Im Nachfolgenden werden beide Arbeitspakete separat beschrieben.

5.1.1 Funktioneller Aufbau

Verfasst von Florian Michal, bearbeitet von Fabian Weber und Florian Michal

Im Zentrum steht der Boiler, welcher ein Füllungsvolumen von 3,6 l für die Variante Labor und 1,8 l für die Variante Home umfasst. Alle Leitungen führen entweder zum Boiler hin oder davon weg (Abbildung 45). Aus diesem Grund wird der Hydraulikplan [20] in drei Abschnitte geteilt, sodass man diese separat beschreiben kann, ohne den Überblick zu verlieren.

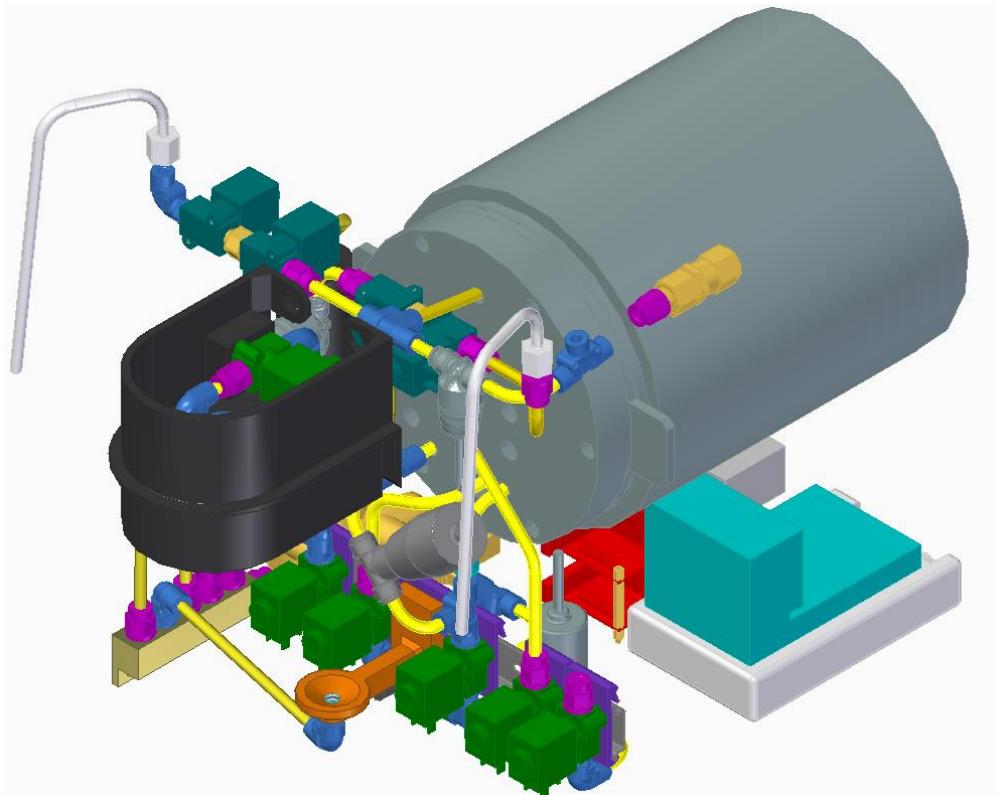


Abbildung 45: Aufbau Variante Labor (isometrische Ansicht)

5.1.1.1 Abschnitt 1: Wasserversorgung

Zuerst wird der Bereich erläutert, der die Wasserversorgung der Maschine sicherstellt (siehe Abbildung 46). Der komplette hydraulische Aufbau ist im vorderen unteren Bereich der Maschine verbaut.

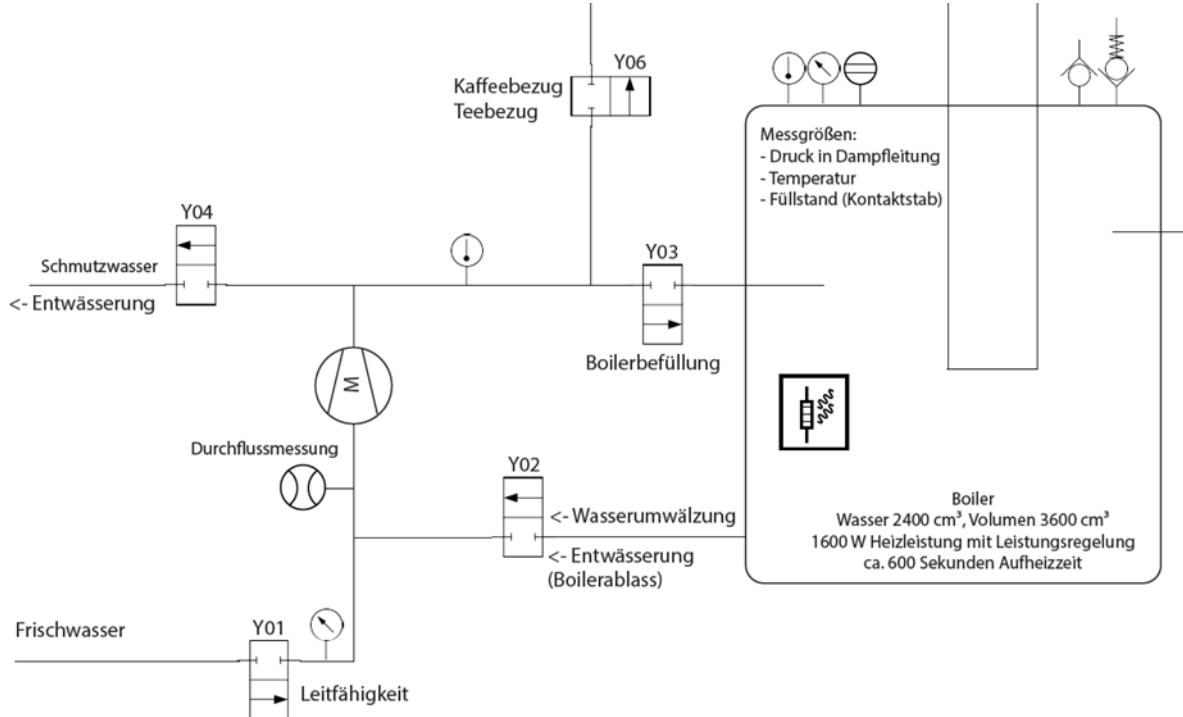


Abbildung 46: Auszug aus dem Hydraulikplan [20] für Wasserversorgung der Maschine

Ausgangspunkt ist die Frischwasserversorgung, wie man in Abbildung 46 links unten erkennen kann. Bei der Variante Labor ist dies als Festwasseranschluss definiert, welcher noch nicht konstruiert ist, bei der Inbetriebnahme jedoch folgen wird. Bei der Variante Home ist ein Wassertank vorgesehen, welcher zum jetzigen Zeitpunkt als Platzhalter in der Konstruktion zu erkennen ist (Abbildung 47). Die Verbindung zum Ventil Y01 ist aktuell nur durch einen Schlauch dargestellt und es fehlt die Schnittstelle des Tanks zum Schlauch. Dies wird im Zuge der Konstruktion des Wassertanks (vergleiche 5.1.1.4 Offene Konstruktionsarbeiten) erfolgen.

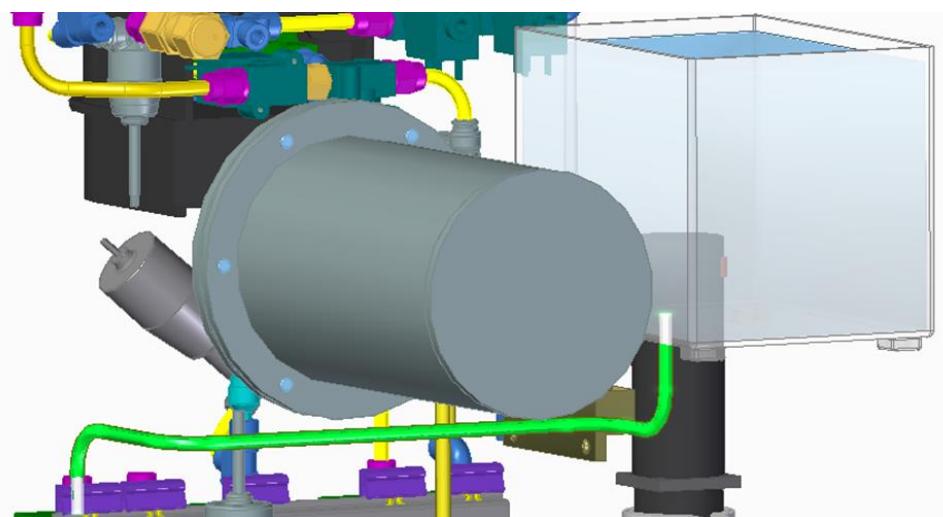


Abbildung 47: Wassertank (rechts) und Schlauch (grün) als Verbindung zu Ventil Y01

Unbeeinflusst, ob das Wasser von einem Tank oder einer externen Leitung kommt, muss es durch das Ventil Y01, welches neben anderen Ventilen auf einer Hutschiene sitzt. Dies hat den Grund, dass im Wartungsfall die Zugänglichkeit von vorne gewährleistet ist. Alle Ventile, die in Abbildung 48 grün dargestellt sind, sind 2/2-Wege-Ventile. Zu den genauen Funktionen dieser wird im Verlauf des Kapitels eingegangen. Die Verknüpfungen können jedoch auch im Hydraulikplan [20] nachgeschlagen werden.

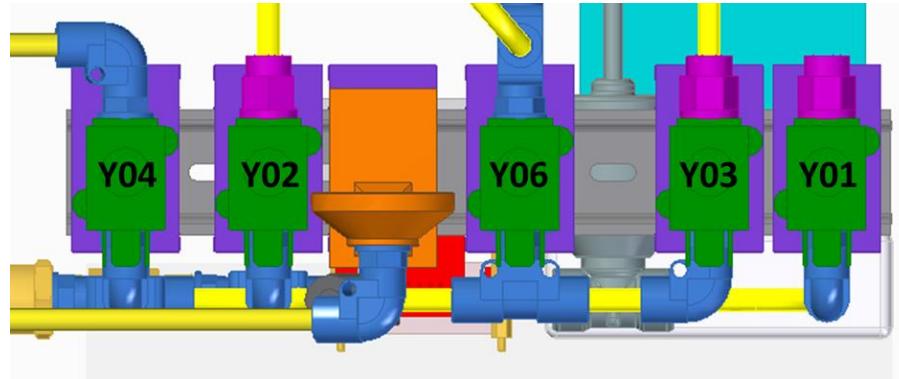


Abbildung 48: Magnetventile auf Hutschiene (Frontansicht)

Vom Ventil Y01 aus passiert das Wasser einen Leitfähigkeitssensor, der einen erhöhten Kalkgehalt feststellen kann.

Eine Funktion der Espressomaschine ist die Entschichtung des Wassers im Boiler (vgl. 2.2 Edelstahlboiler). Hierfür muss Wasser aus dem Boiler abgelassen werden und wieder von oben aufgegossen werden. Das Ablassen erfolgt durch das Öffnen von Ventil Y02 (Abbildung 49) und ermöglicht die Funktionen Entschichten und Boilerentwässerung. Das abfließende Wasser mündet in die eben beschriebene Leitung hinterhalb des Leitfähigkeitssensors und durchläuft einen Durchflusssensor und anschließend die Drehschieberpumpe (Abbildung 49). Der Motor der Pumpe ist noch nicht endgültig festgelegt und kann in Form und Größe noch variieren. Gleiches gilt somit auch für den Flansch, der die Befestigung des Motors und der Pumpe am Rahmen sicherstellt.

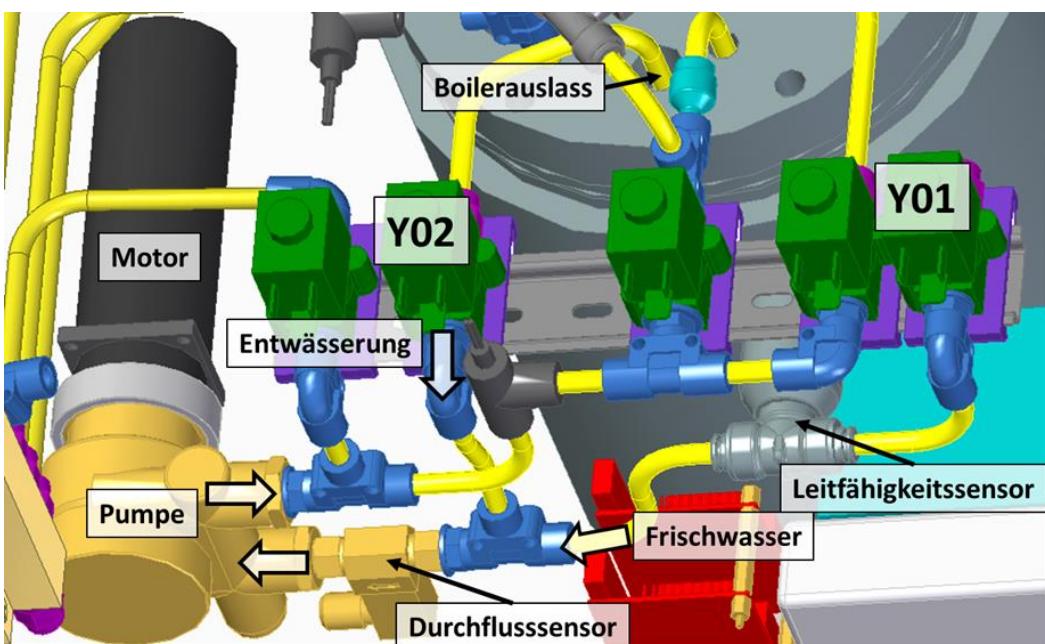


Abbildung 49: Zuleitung der Pumpe (Frontansicht unten)

Am Ein- und Ausgang der Pumpe werden mit Adapterteilen die in Form und Größe unterschiedlichen Gewinde aufeinander angepasst. So wird zwischen Pumpe und Durchflusssensor ein Doppel-Reduziernippel und zwischen Pumpe und T-Stück ein einfacher Reduziernippel eingesetzt.

Das erwähnte T-Stück auf der Auslassseite der Pumpe führt einerseits zum Ventil Y04, zur Entwässerung des Systems und andererseits in einen gewinkelten Temperatursensor. Von diesem teilt sich die Leitung erneut in die Boilerbefüllung durch das Ventil Y03 und zum Kaffee- und Teebezug durch das Ventil Y06. (Abbildung 50)

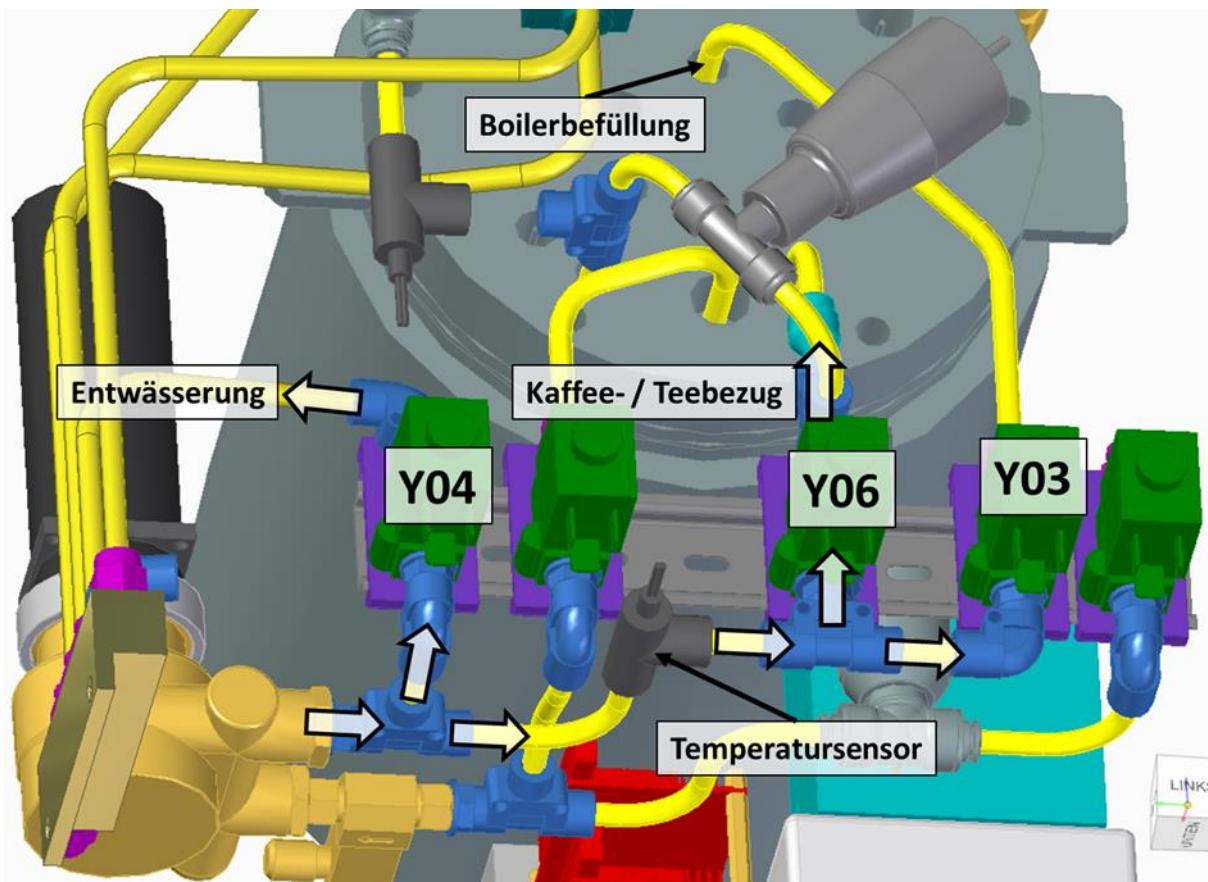


Abbildung 50: Entwässerung, Boilerbefüllung und Kaffee- / Teebezug (Frontansicht unten)

5.1.1.2 Abschnitt 2: Wassernutzung

Im Bereich der Wassernutzung wird betrachtet, wie das Wasser zur Brühgruppe gelangt. In Abbildung 51 ist ein Ausschnitt des Hydraulikplans dargestellt, der die Bauelemente dieses Bereichs umfasst.

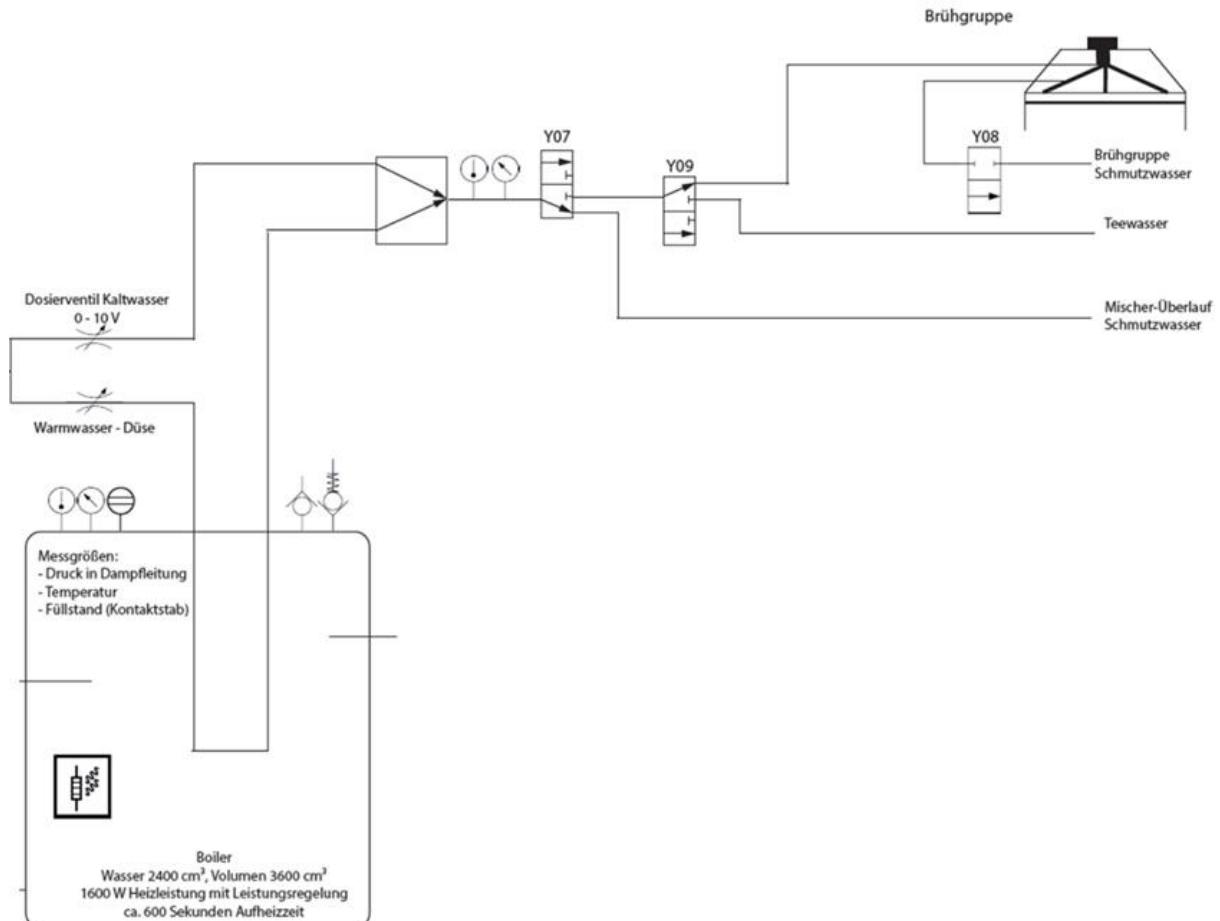


Abbildung 51: Auszug aus dem Hydraulikplan [20] für Wassernutzung

Währenddessen die Wasserversorgung im vorderen, unteren Bereich angesiedelt ist, liegt dieser Abschnitt darüber und ist somit auch auf der Vorderseite der Maschine.

Ausgangspunkt ist das T-Stück hinter Ventil Y06 aus Abschnitt 1: Wasserversorgung. Von hier aus gelangt erhitztes Wasser durch eine Festdrossel in die Wasserwendel (vgl. 2.4 Wasserwendeln), welche im Boiler verbaut ist. Dies soll eine weitere Erwärmung bewirken und Wärmeverluste durch die Leitungen und den Pumpvorgang egalisieren. Auf der anderen Seite des T-Stücks befindet sich ein Dosierventil und umgeht das nachträgliche Erhitzen, weshalb die Leitung als Kaltwasserleitung definiert ist. Nachfolgend trifft in einem T-Stück das Heißwasser frontal auf das Kaltwasser und wird somit gemischt. Der Hintergrund des Vorgangs ist, dass über das Dosierventil die Menge an Kaltwasser angepasst wird und somit nach erfolgtem Mischen eine genaue Wassertemperatur eingestellt werden kann. Diese wird mit einem Sensor abgenommen und anschließend noch der Druck in der Leitung ermittelt. In Abbildung 52 ist der Aufbau dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden darüberliegende Bauteile und der Boilerdeckel ausgebendet.

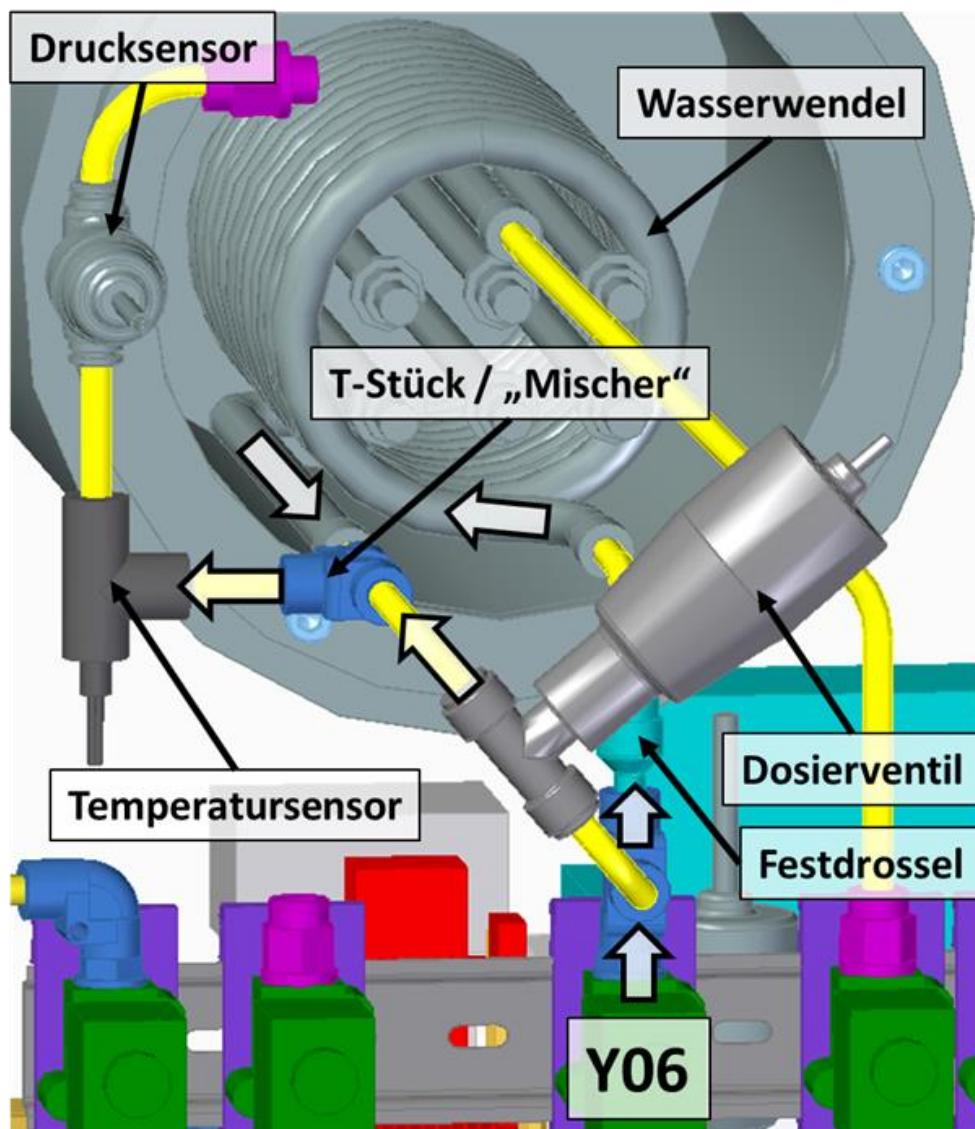


Abbildung 52: Mischen von Kalt- und Warmwasser (Frontansicht)

Betrachtet man Abbildung 53, so folgt auf den Drucksensor ein 3/2-Wege-Ventil mit der Bezeichnung Y07. Hierbei kann man das einströmende Wasser im Falle eines Überlaufens in den Abwasser-Sammelblock leiten. Im Normalfall fließt es jedoch zum 3/2-Wege-Ventil Y09, an dem zwischen Teewasser oder Kaffeewasser unterschieden wird. Im ersten Fall strömt das heiße Wasser aus einem Ausguss, welcher an der rechten oberen Ecke der Maschine angebracht ist. Will man jedoch einen Espresso zubereiten, so wird die Leitung zur Brühgruppe geöffnet. Wird das 2/2-Wege-Ventil Y08 betätigt, so kann Schmutzwasser von den Brühgruppe ebenfalls in den Abwasser-Sammelblock geleitet werden. Für den genauen Aufbau der Brühgruppe wird auf Kapitel 4 Konstruktion der Brühgruppe verwiesen.

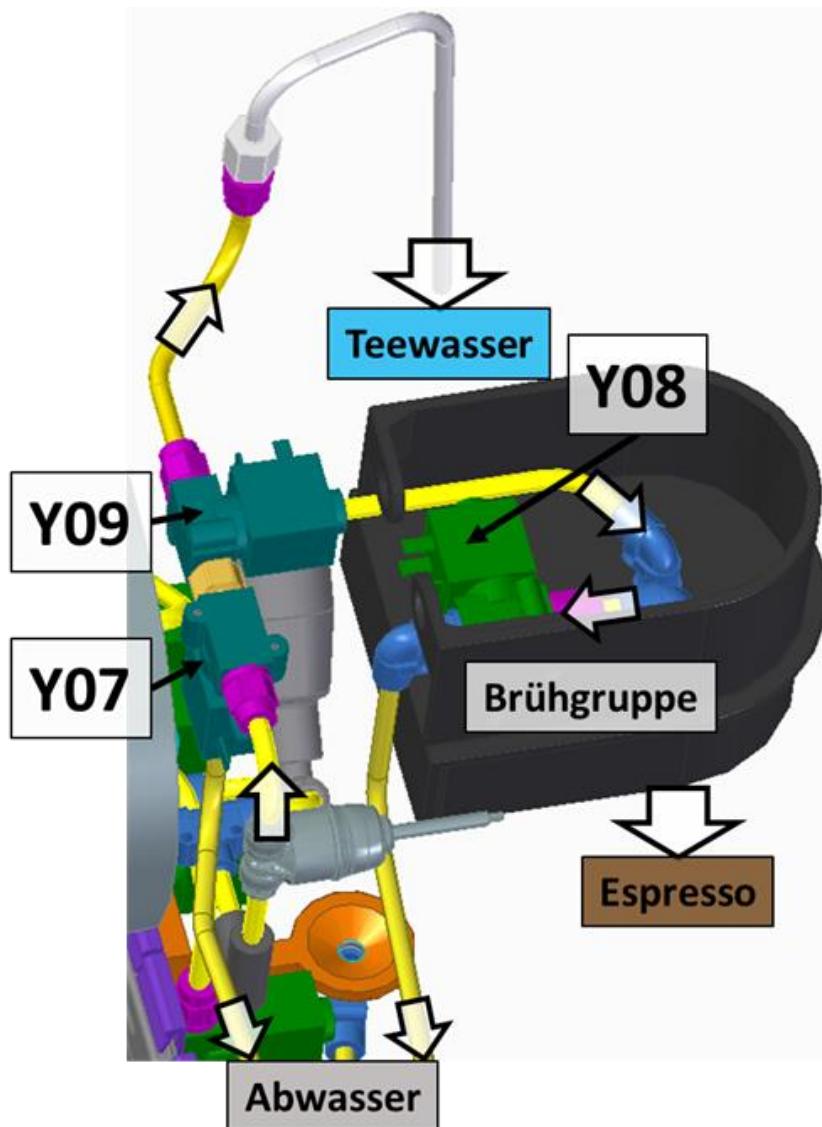


Abbildung 53: Espresso- und Teewasserauslass (seitliche Draufsicht)

5.1.1.3 Abschnitt 3: Dampfleitung

Ausgehend von der „Dampfblase“, also dem oberen mit Wasserdampf gefüllten Bereich im Boiler, gibt es zwei Leitungen.

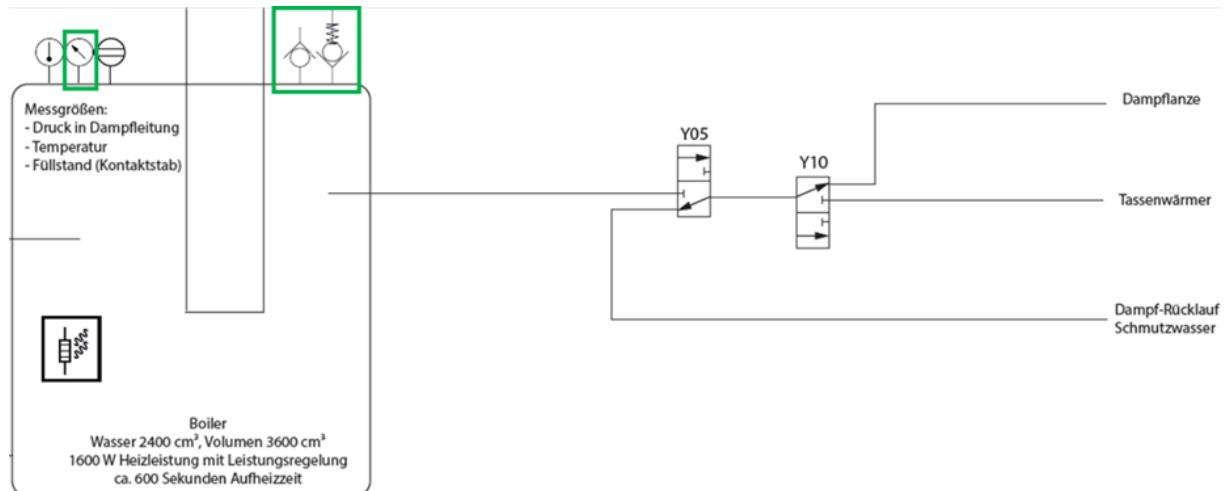


Abbildung 54: Auszug aus dem Hydraulikplan [20] für die Dampfleitung

In Abbildung 54 erkennt man diejenige, die die Versorgung der Dampfwanze und des Tassenwärmers sicherstellt. Die Andere ist durch Rückschlagventile und den Drucksensor grün umrandet direkt am Boiler eingezeichnet.

An der Bohrung im Boiler ist ein Schlauch angeschlossen, der mit einer leichten Steigung zum Kondensatablauf zu einem T-Stück führt. Hier werden die beiden eben erwähnten Leitungen aufgeteilt, sodass rechts der Drucksensor und das Überdruckventil sowie das aus einfachheitsgründen als T-Stück dargestellte Antivakuumventil (Abbildung 55). Auf der linken Seite ist zunächst das 3/2-Wege-Ventil Y05, welches zurückfließendes Kondensat in den Abwassersammelblock leitet und gleichzeitig die Dampfleitung sperrt. Wird diese geöffnet, so durchläuft der Wasserdampf das 3/2-Wege-Ventil Y10, welches entweder zum Tassenwärmer nach unten führt oder in die Dampfwanze, die zum Schäumen von Milch benötigt wird. Im aktuellen Konstruktionsstand ist der Tassenwärmer noch nicht enthalten und muss zusammen mit der Tropfschale konstruiert werden. Die beiden Ventile Y05 und Y10 sind mit einem lösbar Doppel-Nippel verbunden, da dieser einen kompakten Aufbau zulässt und die Ausrichtung relativ zueinander verändert werden kann. Zur besseren Übersicht wurden in Abbildung 55 die Bauteile aus den Abschnitten Wasserversorgung und Wassernutzung ausgeblendet.

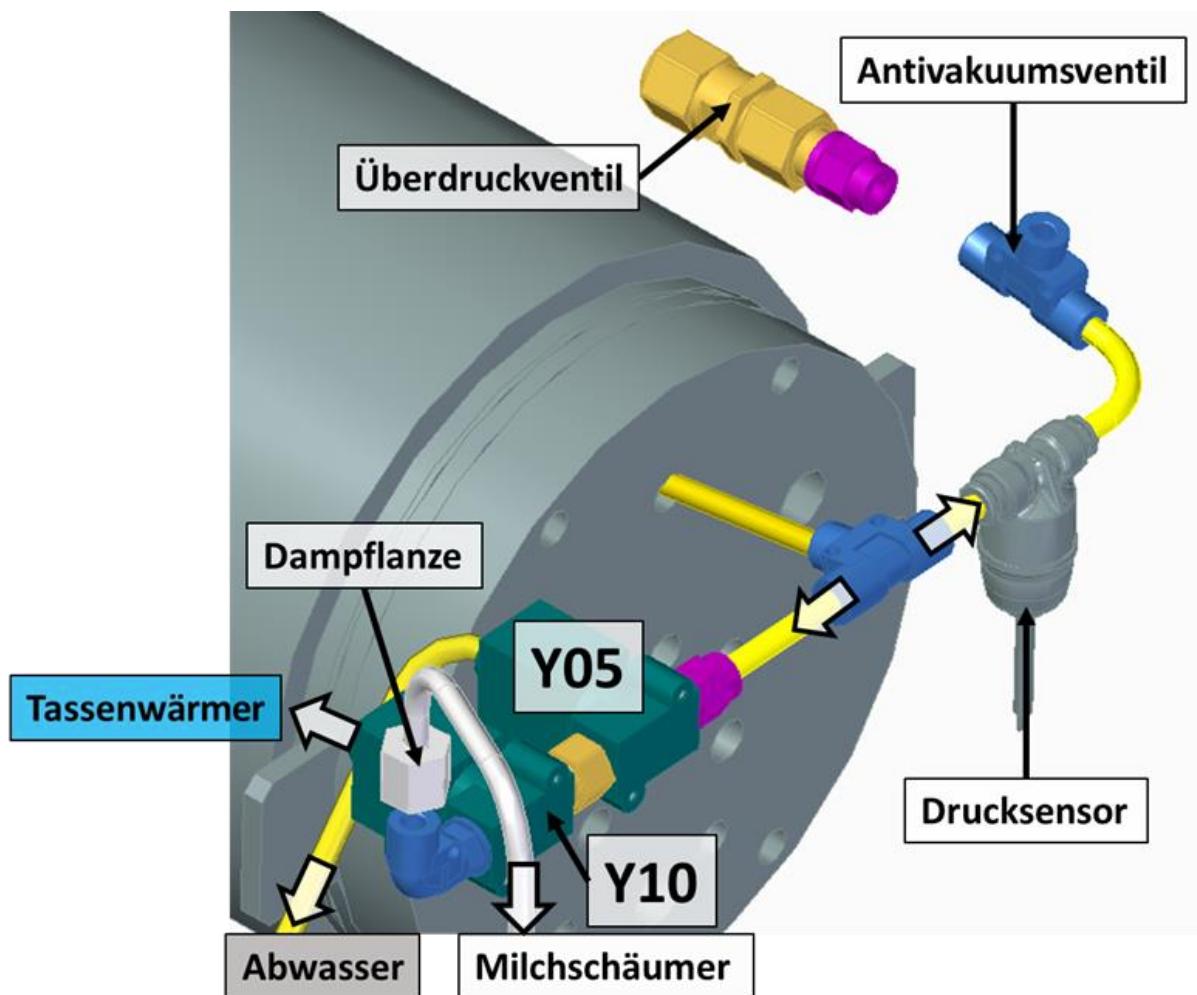


Abbildung 55: Dampfleitungen (seitliche Draufsicht)

5.1.1.4 Offene Konstruktionsarbeiten

Die Konstruktion des Grundrahmens für die Varianten Labor und Home ist noch nicht vollständig abgeschlossen. Somit sind die im Folgenden beschriebenen Bauteile und Baugruppen noch zu definieren.

Der in den Kapiteln 5.1.1.1 bis 5.1.1.3 mehrfach erwähnte *Abwassersammelblock* (Abbildung 56) ist bisher als Vorschlag und als Platzhalter zu deuten. Wie in Abbildung 57 dargestellt laufen hier die Abwasserleitungen zusammen und werden mit einem externen Abwasserschlauch verbunden. Dies gilt jedoch nur für die Variante Labor, da bei der Home-Maschine ein Behälter vorgesehen werden muss. Ob dieser die Tropfschale sein wird oder ein separater Tank ist noch nicht festgelegt.

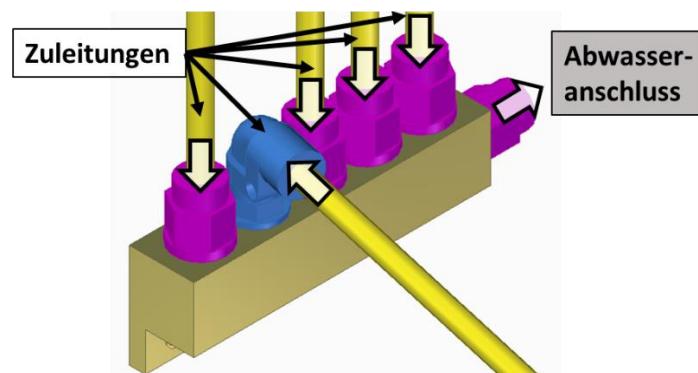


Abbildung 56: Abwassersammelblock (Isometrische Ansicht)

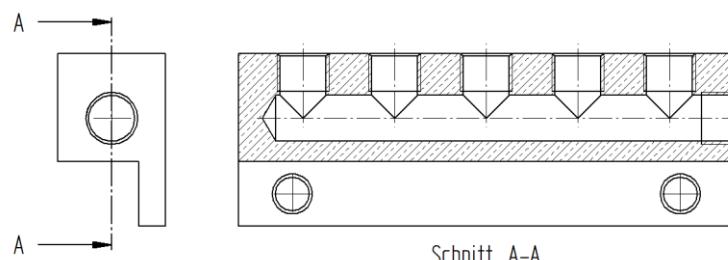


Abbildung 57: Schnittansicht Abwassersammelblock

Die *Abtropfschale* ist ebenso noch eine ausstehende Konstruktionsarbeit. Hierbei kann man eine Verbindung mit dem Sammelblock vorsehen, oder diesen sogar in die Tropfschale integrieren. Die Herausforderung stellt jedoch die Wartbarkeit dar, da man sie aus der Maschine nach vorne herausziehen können muss. Eine Möglichkeit wäre eine trichterförmige Auffangvorrichtung (Abbildung 58), die über ein im Boden der Schale befindliches Loch das Wasser in den Sammelblock leitet. Eine feste Verbindung ist somit nicht vorhanden.

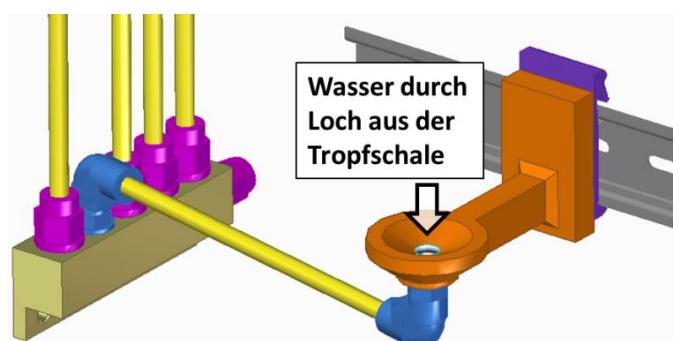


Abbildung 58: Auffangtrichter für Wasser aus der Tropfschale

Eine weitere Herausforderung ist der *Tassenwärmer*, welcher voraussichtlich auch in der Abtropfschale verbaut wird. Dieser benötigt jedoch eine Verbindung zur Dampfleitung, die wie in Kapitel 5.1.1.3 über das Ventil Y10 gesteuert wird. Somit muss wieder eine Schnittstelle vorgesehen werden, die ein Herausziehen der Tropfschale ermöglicht.

In Kapitel 5.1.1.1 wurde bereits der Wassertank der Variante Home erwähnt und in Abbildung 47 dargestellt. Dieser hat bisher noch nicht die korrekten Maße, so ist er zu breit und es empfiehlt sich die Tiefe und Höhe zu vergrößern. Für das Volumen sollen ca. 2,5 l vorgesehen werden, sodass der 1,8 l-Boiler mindestens einmal komplett gefüllt werden kann. Ist die Form des Tanks festgelegt, so muss ein lösbarer Schlauchanschluss zur Wasserversorgung eingebaut und eine Halterung am Rahmen konstruiert werden.

Die eben genannten Aufgaben sollen ausschließlich als Orientierung und Inspiration dienen, da sich im Laufe der Weiterentwicklung noch Änderungen ergeben können.

5.1.2 Konstruktion des Grundrahmens

Verfasst von Fabian Weber, bearbeitet von Florian Michal und Fabian Weber

Der Grundrahmen wurde so konstruiert, dass dieser mit geringstmöglichen Aufwand an die verschiedenen Varianten der Espressomaschine angepasst werden kann. Bei Variante Labor und Home kann der Rahmen sogar eins zu eins übernommen werden. Lediglich die verbindenden Elemente zwischen Rahmen und Aufbau müssen sich, aufgrund des unterschiedlichen Anforderungen an die Maschine unterscheiden.

5.1.2.1 Aufbau

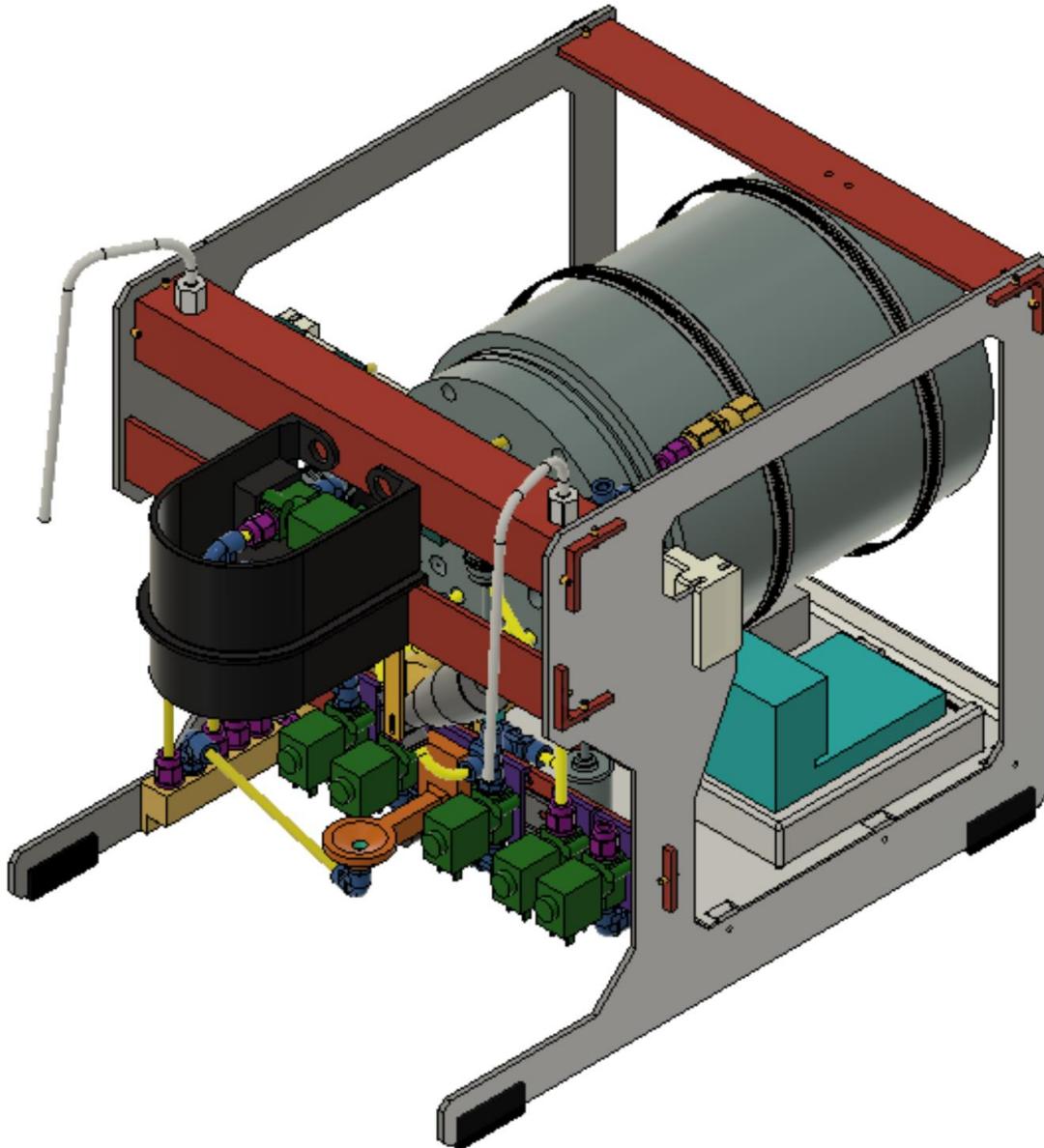


Abbildung 59: Gesamtaufbau Variante Labor

Der Rahmen der Espressomaschine setzt sich primär aus zwei Seitenwänden die aus 4 mm dickem Edelstahl (X5CrNi18-10) gefertigt werden. In diesem werden standard L- und Flachstabprofile (L-EN 10 056-1 und EN 10 058) ebenfalls aus X5CrNi18-10 eingesetzt. Die Verbindung von Seitenblech und Profil erfolgt über Spannstifte.

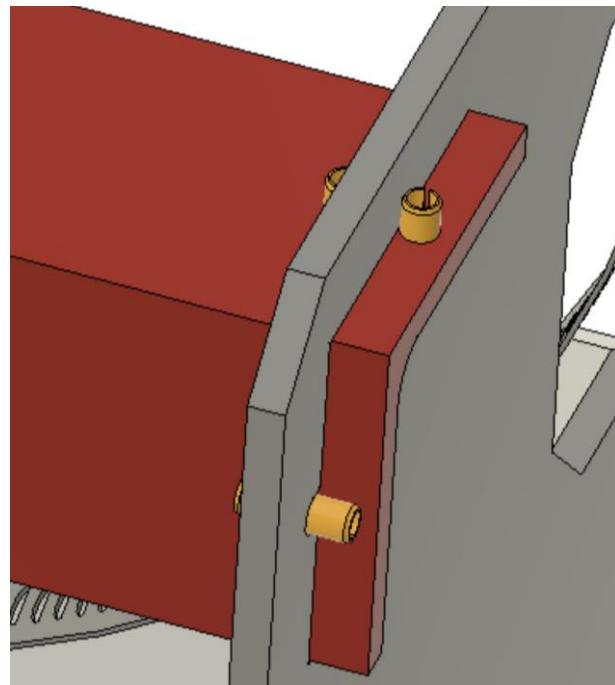


Abbildung 60: Verspannen durch Spannstifte

Durch die Positionierung der Spannstifte (DIN 1482) an den gezeigten Positionen (Abbildung 60) wird zum einen ein Verkippen des Profils und zum anderen ein verrutschen in horizontaler Richtung verhindert. Dabei sind die Aussparungen für die Spannstifte in der Seitenwand nicht als runde Bohrungen, sondern als geteiltes Langloch konstruiert.



Abbildung 61: Aussparung L-Profil

Da die DIN L-Profile an der Innenkante abgerundet sind wurde hierfür eine Fase vorgesehen.

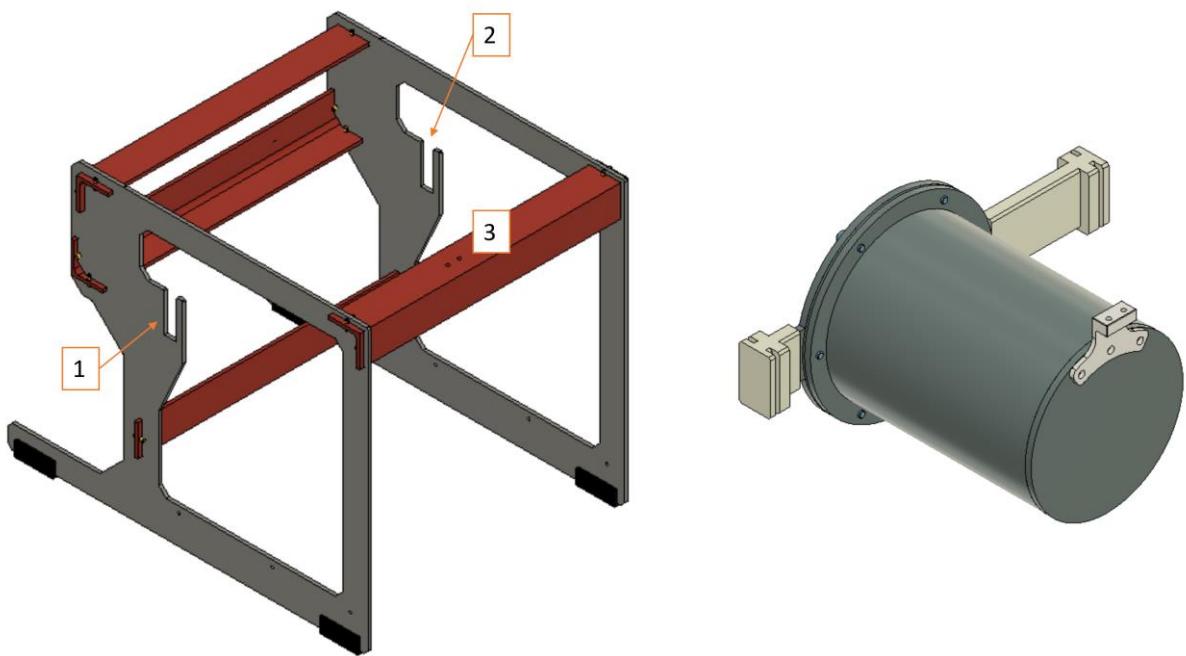


Abbildung 62: Grundgerüst Rahmen inkl. Boilerbefestigung

An den Positionen 1 und 2 (Abbildung 62) wird der Boiler über PA12 Halterungen in den Rahmen eingesetzt. Anschließend wird dieser an der Position 3 verschraubt (Abbildung ohne Isolierung des Boilers).

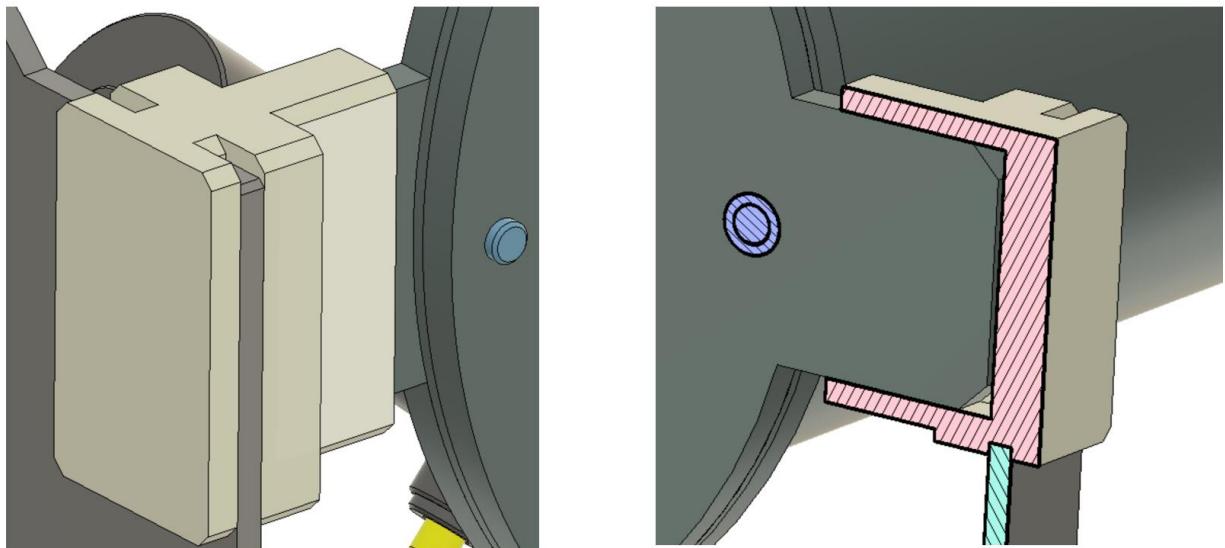


Abbildung 63: Boilerbefestigung

Die Boilerbefestigung wird auf die „Flügel“ des Boiler Deckels aufgesteckt und bei der Montage mit dem Boiler in die Aussparung im Rahmen gesteckt. Die Kunststoffhalter verringern dabei die Wärmeübertragung zwischen Boiler und Rahmen. Die hintere Halterung wird auf die am Boiler verschweißten Bolzen geschraubt und anschließend am L-Profil verschraubt.

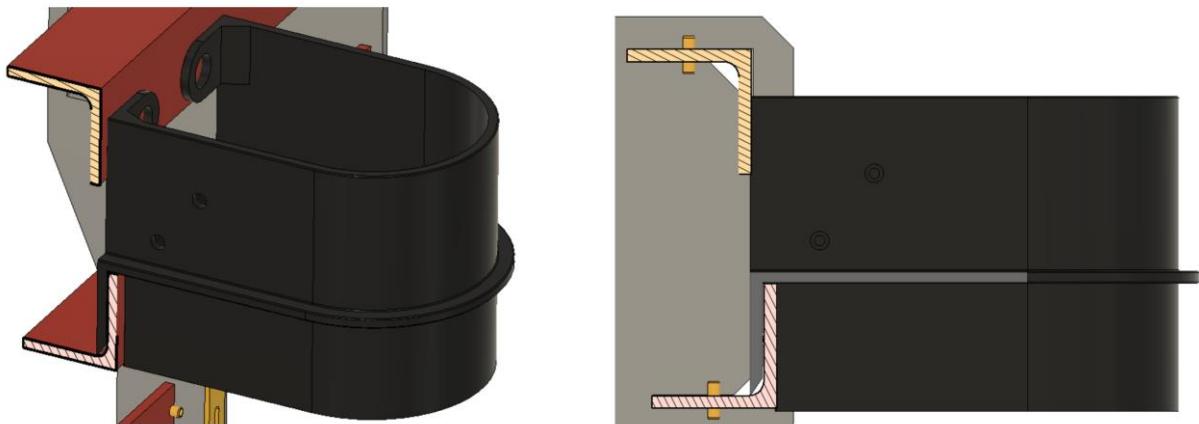


Abbildung 64: Befestigung Brühgruppe

Die Brühgruppe wird im unteren L-Profil eingehängt und anschließend mit zwei M12 Schrauben verschraubt.

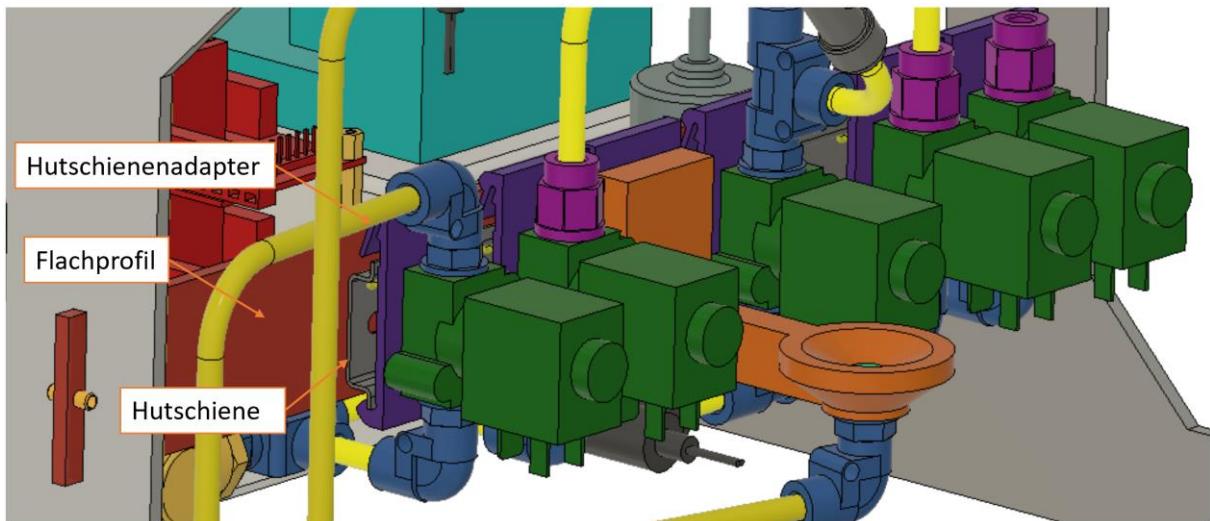


Abbildung 65: Hutschienbefestigung

Die Befestigung der Magnetventile erfolgt im vorderen Bereich der Maschine über Hutschienenaadapter. Die Hutschiene wird am Flachprofil befestigt. Somit kann ein schnelles Wechseln der Magnetventile sichergestellt werden.

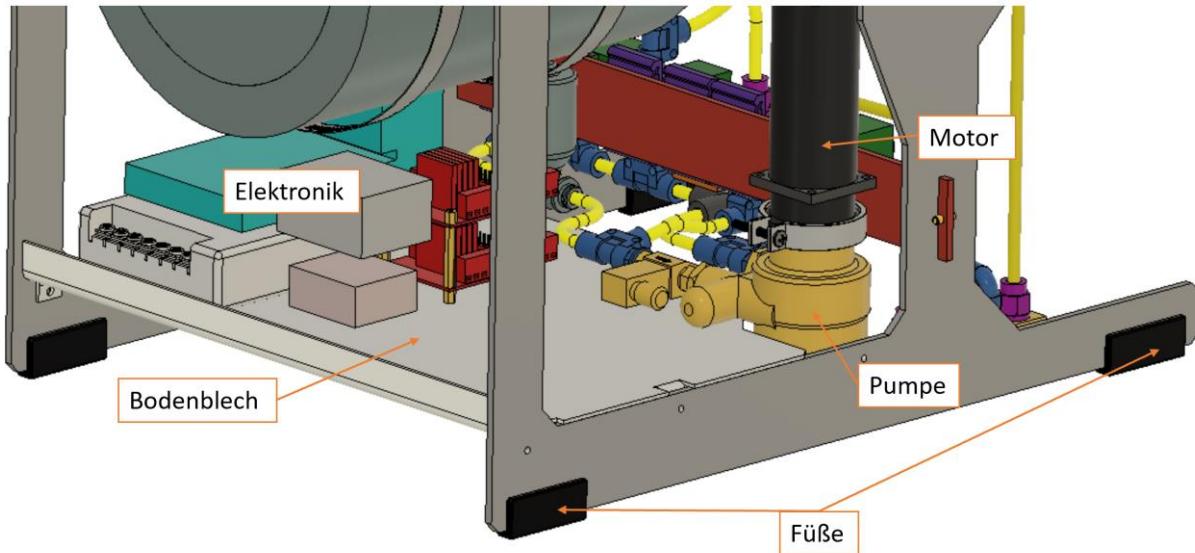


Abbildung 66: Bodenblech

Zur Befestigung der Elektronik und zur weiteren Stabilisierung der Maschine wurde ein Bodenblech eingezogen. Dies besteht aus 2 mm dickem X5CrNi18-10. Die Verbindung zwischen Rahmen und Bodenblech erfolgt über M4x6 Schrauben. Zusätzlich weist das Bodenblech im hinteren Bereich eine gebogene Kante auf, um das Blech zu verstauen.

Folgende Punkte werden bei der Inbetriebnahme geklärt, da die gegebenen Informationen nicht ausreichen.

- Die Bodenplatte dient zur Befestigung der Elektronik. Diese wird jedoch noch definiert
- Für die Halterung des Motors wurde Platz am Flachstab vorgesehen, jedoch noch nicht fertig konstruiert
- Die Füße bestehen aus PA12 und werden an den Seitenwänden aufgesteckt. Ob diese weiter fixiert werden müssen wird geklärt
- Ein Platz für die übrigen Magnetventile sowie den Sensoren wurde vorgesehen, dass genaue Montagekonzept ist jedoch noch unklar.

In der Variante Home wird zusätzlich ein Wassertank benötigt. Der Platz für diesen wurde neben dem Boiler vorgesehen. Die genaue Anbindung an den Rahmen kann jedoch erst nach Konstruktion des Wassertanks erfolgen.

Außerdem ändern sich die Boilerhalterungen in der Variante Home, da das Volumen des Boilers kleiner ist.

5.1.2.2 Statischer Nachweis

Auf den Grundrahmen wirken diverse Kräfte, die keine Verformung des Rahmens bewirken dürfen. Gegen diese Belastungen wurden Nachweisrechnungen erstellt, die sich auf zwei spezielle Fälle beschränken.

Fall 1: Einspannvorgang des Siebträgers

Fall 2: Abstützen am Siebträger

In beiden Fällen wirkt eine Kraft mit sehr großem Hebelarm auf das Ende des Siebträgers. Diese wird jeweils mit 150 N bemessen. Die Sicherheit des Rahmens wurde durch je eine analytische Berechnung der Querprofile und durch eine FEM-Simulation des gesamten Rahmens ermittelt

Nachdem die Berechnung ein sehr umfangreiches Dokument ist wird an dieser Stelle auf „20200911_Florian_Michal_Statischer-Nachweis-Grundrahmen“ [21] verwiesen.

Zusammenfassend werden die Modelldarstellungen der Belastungsfälle, sowie die ermittelten Sicherheiten beginnend mit Fall 1 dargestellt.

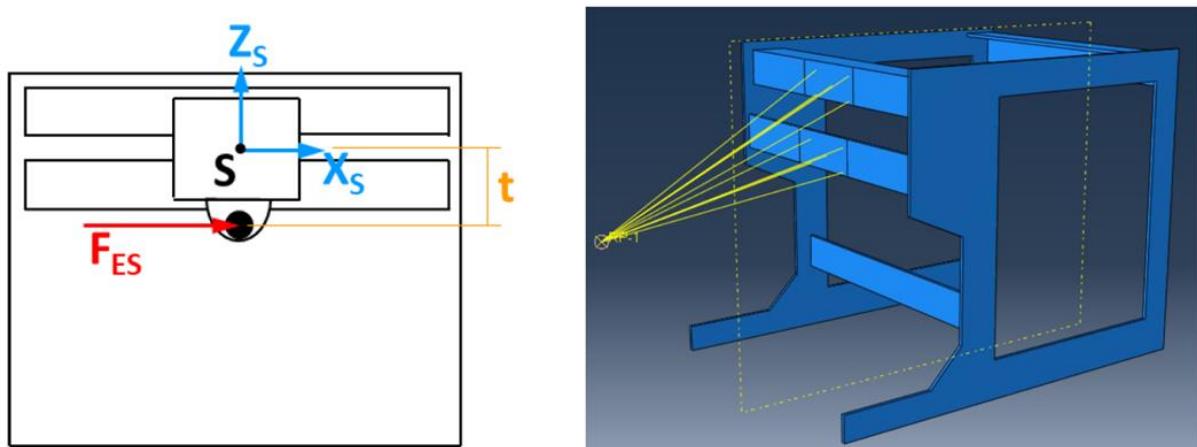


Abbildung 67: Einspannvorgang des Siebträgers

In Abbildung 67 ist links das Modell für die analytische Berechnung dargestellt und rechts das für die FEM-Simulation. Für diese zeigt Abbildung 68 das Ergebnis mit dem Punkt, an dem die maximale Spannung auftritt.

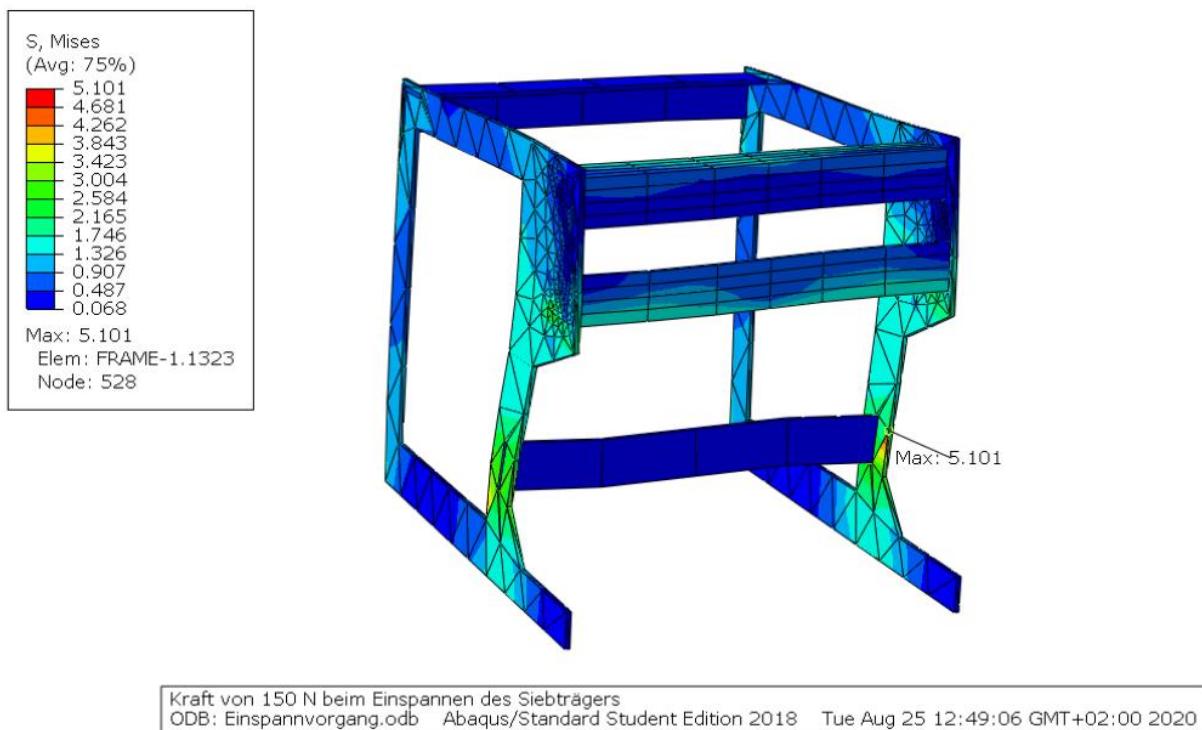


Abbildung 68: Ergebnis der FEM-Simulation für Fall 1

Vergleicht man die auftretende Spannung mit der Streckgrenze des verwendeten Materials, erhält man die Sicherheit des Bauteils. In Tabelle 6 sind diese aufgelistet, wobei die analytische Berechnung für das obere und untere Querprofil jeweils die Sicherheit für Zug- und Druckspannung liefert. Nachdem jede Sicherheit einen Wert größer als 1 hat weist die Rahmenkonstruktion für Fall 1 eine ausreichende Stabilität auf.

Tabelle 6: Sicherheiten für Fall 1

Sicherheiten für Belastungsfall 1: Einspannvorgang des Siebträgers					
Oberes Profil	Zug	$S_{O,Zug}$	16,4	>1	
Unteres Profil	Druck	$S_{O,Druck}$	11,5	>1	
Rahmen gesamt	Zug/Druck	S_{Rahmen}	37,2	>1	

Betrachtet man Fall 2, so ist die Kraft nicht mehr horizontal, sondern vertikal.

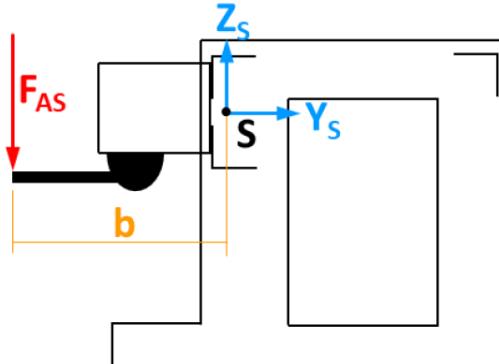


Abbildung 69: Abstützen am Siebträger

Abbildung 69 stellt wie bei Fall 1 das Modell für die analytische Berechnung dar. Für die FEM-Rechnung wurde das gleiche Modell wie in Fall 1 (Abbildung 67) verwendet, wobei sich nur die Richtung der Kraft geändert hat. Das Ergebnis dieser Simulation wird in Abbildung 70 gezeigt.

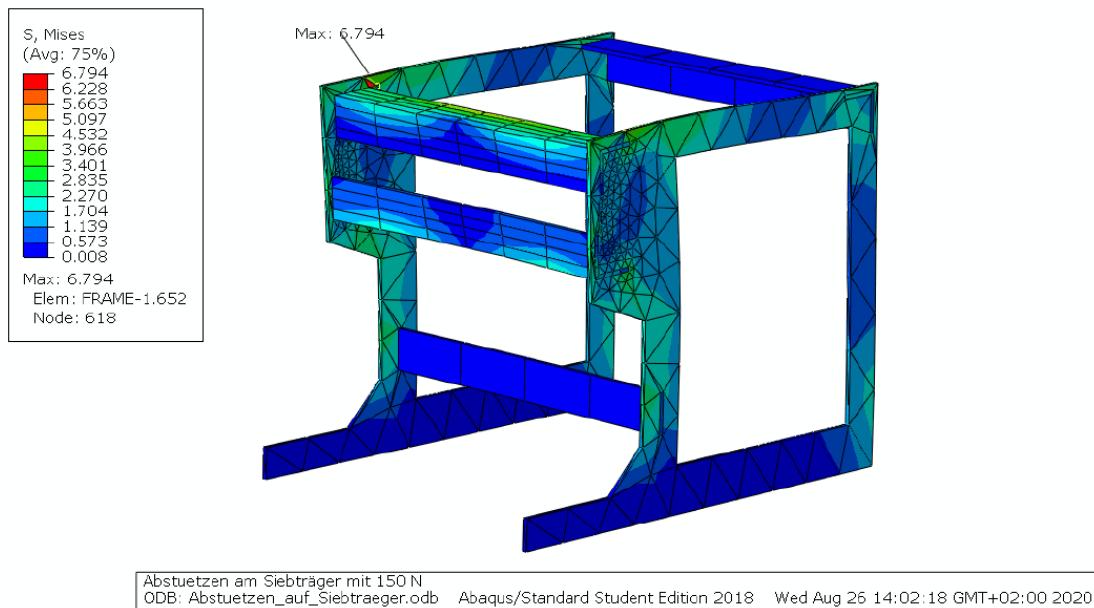


Abbildung 70: Ergebnis der FEM-Simulation für Fall 2

Ebenso wie bei Fall 1 ergeben sich 5 Werte für die Sicherheit (Tabelle 7), welche alle einen Wert größer als 1 haben. Das bedeutet, dass der Rahmen auch der Belastung von Fall 2 standhält.

Tabelle 7: Sicherheiten für Fall 2

Sicherheiten für Belastungsfall 2: Abstützen auf dem Siebträger				
Oberes Profil	Zug Druck	$S_{0,Zug}$ $S_{0,Druck}$	15,4 12,3	>1 >1
Unteres Profil	Zug Druck	$S_{U,Zug}$ $S_{U,Druck}$	11,0 15,4	>1 >1
Rahmen gesamt	Zug/Druck	S_{Rahmen}	28,0	>1

5.2 Variante Style

Verfasst und bearbeitet von Lukas Ankner

Der Grundrahmen der Variante „Style“ basiert im Wesentlichen auf dem Grundrahmen der Varianten „Labor“ und „Home“. Für eine leichtere Fertigung wurde darauf geachtet, dass möglichst viele gleiche Teile, in Bezug zu allen Varianten, verwendet werden. Beim Rahmen selbst unterscheidet sich diese Variante von den anderen beiden in folgenden Punkten:

- Abänderung der Rahmenbleche links und rechts außen
- Abänderung des Blechs für die Halterung von Pumpe mit Motor
- Hinzufügen eines Halteblechs für den Borosilikatglasboiler und den Wassertank

Damit die äußereren Rahmenbleche nicht neben dem Boiler und dem Wassertank aus dem Gehäuse ragen, wurden diese zu einem großen „L“ zugeschnitten. Dadurch verringert sich leider die Stabilität des Rahmens. Die tatsächliche Stabilität bei einer Blechdicke von 4 mm, muss beim Aufbau eines Prototypenrahmens ermittelt werden.

Das Halteblech für die Pumpe mit Motor wurde so umkonstruiert, dass die Pumpe nicht stehend wie bei den anderen Varianten eingebaut werden kann, sondern liegend. Das Halteblech wird auf dem Blech verschraubt, auf welchem sich die elektrischen Komponenten befinden. Die Leitungsverlegung ist dementsprechend auf die geänderte Pumpenposition anzupassen.

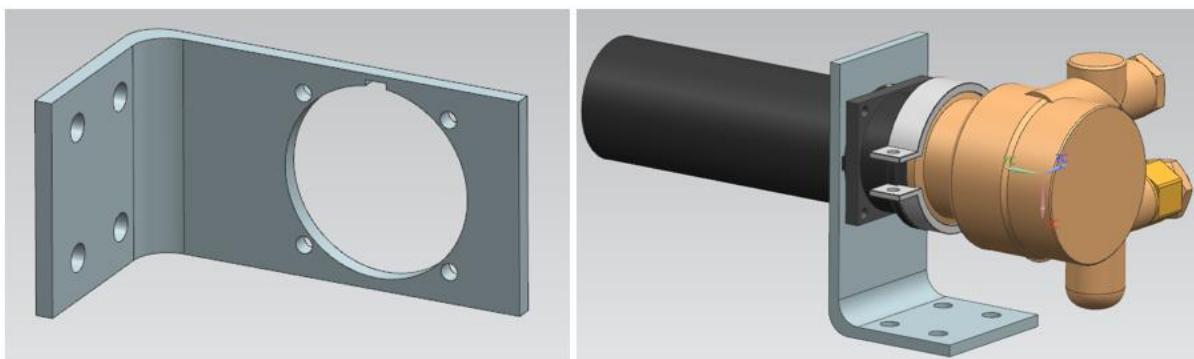


Abbildung 71: Halteblech für den Motor mit Pumpe

Da der Borosilikatglasboiler, anders wie der Edelstahlboiler der Varianten „Home“ und „Labor“, sichtbar an der Maschine positioniert werden soll, ist ein separates Halteblech vorgesehen.

Das Blech wird an den kleinen Laschen unten mit den Rahmenblechen links und rechts außen verschraubt.

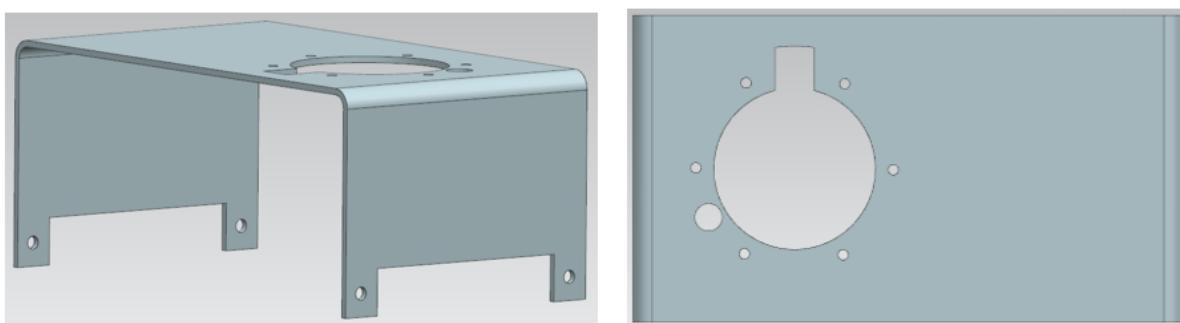


Abbildung 72: Halteblech für den Borosilikatglasboiler und den Wassertank

Der Borosilikatglasboiler wird durch Stäbe, welche mit vorgespannten Federn verbunden sind, zusammengehalten. Durch die Verlängerung der Stäbe mit einem Gewinde kann dieser auf dem Blech positionsgenau befestigt werden. Es wurden auch Ausschnitte am Blech für die benötigten Anschlüsse konstruiert.

Die Befestigung des Wassertanks direkt neben dem Boiler ist bis auf weiteres offen, da die Konzipierung und Ausarbeitung des Wassertanks noch nicht realisiert wurde.

Bei der Variante „Style“ werden zwei verschiedene Aufbauten angeboten. Eine mit Festwasseranschluss und eine ohne Festwasseranschluss.

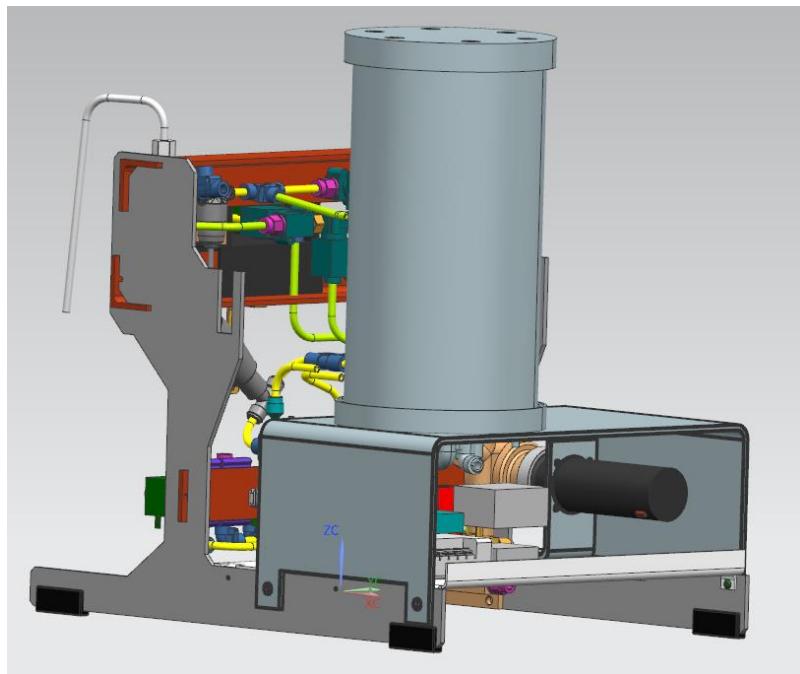


Abbildung 73: Variante Style für Wassertankbefüllung

Ohne Festwasseranschluss sollte der Tank über den Deckel befüllt werden. Da hier keine Trennung eines Anschlusses von der Maschine zum Festwasser über ein Ventil benötigt wird, sind alle benötigten Ventile genauso wie in den Varianten „Home“ und „Labor“ verbaut.

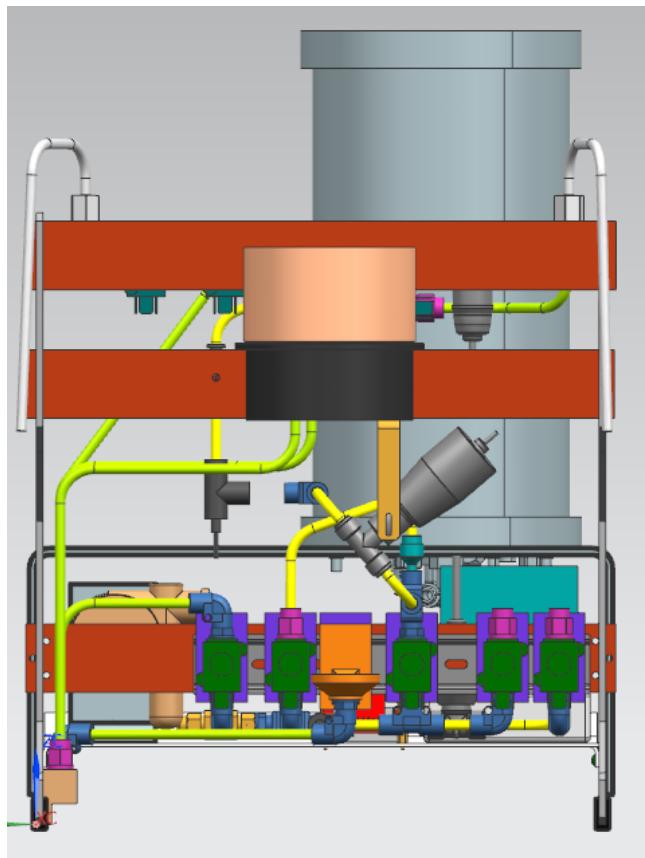


Abbildung 74: Variante Style für Wassertankbefüllung von vorne

Bei der Variante mit Festwasseranschluss ist die Trennung über ein Sperrventil jedoch vorzusehen. Dieses wird auf dem Blech für elektrische Komponenten direkt unter dem Wassertank befestigt, um lange Leitungswege zu umgehen. Durch dieses zusätzliche Ventil wird anstatt eines Ruhe-Sperrventils ein Wechselventil benötigt, um die vorgegebene Anzahl von zehn elektrisch angesteuerten Ventilen nicht zu überschreiten. Dieses Ventil ist Ventil Y02 im Hydraulikplan und wird ebenfalls vorne unten bei den anderen Ventilen platziert. Dadurch, dass dieses Wechselventil einen zusätzlichen Eingang am Kopf besitzt, muss eine geeignete Platzierung des Ventils beim Prototypenbau gefunden werden. Vorzugsweise wird dieses am äußeren Rahmen befestigt.

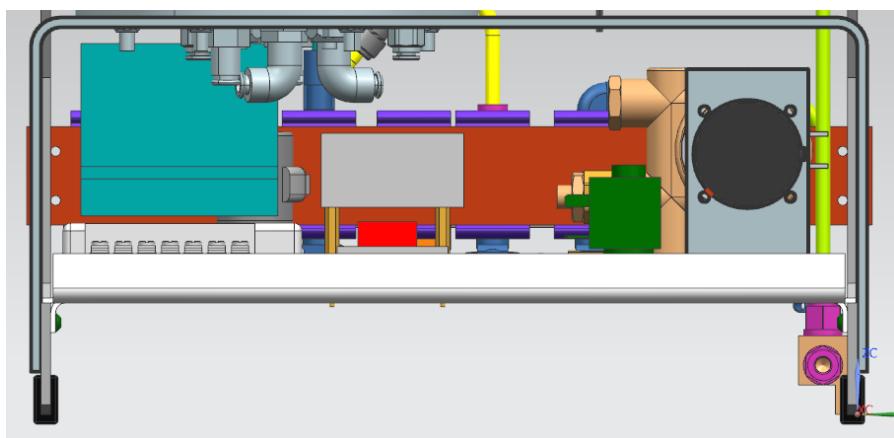


Abbildung 75: Variante Style mit Festwasseranschluss und Sperrventil hinten (grün)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: gerendertes CAD-Modell des Borosilikatglasboilers.....	2
Abbildung 2: Innenleben des Borosilikatglasboilers: 1: Druckrohr (orange), 2: Steigrohr (gelb), 3: Temperatursensoren (lila), 4: Füllstandsonde (türkis), 5: Heizelement (rot), 6: Wasserwendel (grau)	3
Abbildung 3: Verspannung und Abdichtung Borosilikatglasboiler.....	4
Abbildung 4: Ansicht des Boiler-Bodens und der Durchführungen des Borosilikatglasboilers: 1: Druckrohr (orange), 2: Steigrohr (gelb), 3: Temperatursensoren (lila), 4: Füllstandsonde (türkis), 5: Heizelement (rot), 6: Wasserwendel (grau), 7: Entwässerung (grün), 8: Entlüftung (blau)	5
Abbildung 5: Innenleben der Edelstahlboiler: 1: Heizelement 2: Einfüllrohr 3: Füllstandsensor 4: Wasserauslass 5: Temperatursensor 6: Dampfwanze 7: Wasserwendel.....	8
Abbildung 6: Isolierung 3,6l Boiler Vorderseite	10
Abbildung 7: Isolierung 3,6l Boiler Rückseite	10
Abbildung 8: Manschetten	11
Abbildung 9: Innenleben 1,8l Boiler	12
Abbildung 10: 3,6l Boiler Innenleben	12
Abbildung 11: Deckel 3,6l Boiler	13
Abbildung 12: Einfüllrohr	14
Abbildung 13: Anschluss Wasserwendel.....	14
Abbildung 14: Wasserwendel.....	15
Abbildung 15: Beispiel Anschluss AVS Römer 1 [11]	15
Abbildung 16: Beispiel Anschluss AVS Römer 2 [11]	15
Abbildung 17: Boden Boiler 3,6l.....	16
Abbildung 18: Aufhängung Boiler Boden	16
Abbildung 19: 7,2l Boiler	17
Abbildung 20: Innenleben 7,2l Boiler	17
Abbildung 21: Boden 7,2l Boiler	18
Abbildung 22: Heizelement	20
Abbildung 23: Schnitt der Wasserwendel mit Anschläßen	21
Abbildung 24: Siebträger-Innenring, Schnitt.....	27
Abbildung 25: Siebträger-Außenring, Schnitt.....	28
Abbildung 26: Siebträger-Auslauf, 2-fach	28
Abbildung 27: Alternativ Siebträger-Auslauf, 1-fach.....	29
Abbildung 28: Siebträger-Auslauf-kombiniert, 2-fach	29
Abbildung 29: Siebträger 3D-Druck, 1-fach.....	30
Abbildung 30: Siebträger 3D-Druck von oben, 1-fach.....	30
Abbildung 31: Flügel des Siebträgers	31
Abbildung 32: Links: Draufsicht auf den Brühgruppeneinsatz, Rechts: Untenansicht auf den Brühgruppeneinsatz	32
Abbildung 33: Schnitt Brühgruppeneinsatz.....	33
Abbildung 34: Siebträgeraufnahme	33
Abbildung 35: Trägerblech	34
Abbildung 36: Brühgruppe komplett aus PA12	35
Abbildung 37: Schnitt durch die Brühgruppe aus PA12	35
Abbildung 38: Draufsicht und Unteransicht auf die Brühgruppe aus PA12.....	35
Abbildung 39: Flügelfläche vom Siebträger	38

Abbildung 40: Skizze Brühgruppe mit Siebträger.....	40
Abbildung 41: Draufsicht auf die Brühgruppe.....	41
Abbildung 42: Draufsicht auf die Brühgruppe mit der horizontalen Kraft F	42
Abbildung 43: Querschnittsfläche vom Trägerblech.....	44
Abbildung 44: Skizze Siebträgergriff.....	45
Abbildung 45: Aufbau Variante Labor (isometrische Ansicht)	47
Abbildung 46: Auszug aus dem Hydraulikplan [16] für Wasserversorgung der Maschine	48
Abbildung 47: Wassertank (rechts) und Schlauch (grün) als Verbindung zu Ventil Y01	48
Abbildung 48: Magnetventile auf Hutschiene (Frontansicht)	49
Abbildung 49: Zuleitung der Pumpe (Frontansicht unten)	49
Abbildung 50: Entwässerung, Boilerbefüllung und Kaffee- / Teebezug (Frontansicht unten).....	50
Abbildung 51: Auszug aus dem Hydraulikplan [16] für Wassernutzung	51
Abbildung 52: Mischen von Kalt- und Warmwasser (Frontansicht)	52
Abbildung 53: Espresso- und Teewasserauslass (seitliche Draufsicht).....	53
Abbildung 54: Auszug aus dem Hydraulikplan [16] für die Dampfleitung	54
Abbildung 55: Dampfleitungen (seitliche Draufsicht)	55
Abbildung 56: Abwassersammelblock (Isometrische Ansicht)	56
Abbildung 57: Schnittansicht Abwassersammelblock.....	56
Abbildung 58: Auffangtrichter für Wasser aus der Tropfschale.....	56
Abbildung 59: Gesamtaufbau Variante Labor	58
Abbildung 60: Verspannen durch Spannstifte.....	59
Abbildung 61: Aussparung L-Profil	59
Abbildung 62: Grundgerüst Rahmen inkl. Boilerbefestigung	60
Abbildung 63: Boilerbefestigung	60
Abbildung 64: Befestigung Brühgruppe	61
Abbildung 65: Hutschienenbefestigung	61
Abbildung 66: Bodenblech	62
Abbildung 67: Einspannvorgang des Siebträgers	63
Abbildung 68: Ergebnis der FEM-Simulation für Fall 1.....	64
Abbildung 69: Abstützen am Siebträger.....	65
Abbildung 70: Ergebnis der FEM-Simulation für Fall 2.....	65
Abbildung 71: Halteblech für den Motor mit Pumpe.....	66
Abbildung 72: Halteblech für den Borosilikatglasboiler und den Wassertank	66
Abbildung 73: Variante Style für Wassertankbefüllung	67
Abbildung 74: Variante Style für Wassertankbefüllung von vorne	68
Abbildung 75: Variante Style mit Festwasseranschluss und Sperrventil hinten (grün)	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Randbedingungen und Ausgangsgrößen für die thermische Auslegung der Wasserwendl	22
Tabelle 2: Ergebnisse der wichtigsten Kennzahlen der thermischen Auslegung der Rohrwendel	24
Tabelle 3: Druckverlust bei verschiedenen Wendeldurchmessern bei einer Wendellänge von 2,9	24
Tabelle 4: Zulässige Scherkraft	37
Tabelle 5: PA12-Datenblatt, Quelle: [19]	44
Tabelle 6: Sicherheiten für Fall 1	64
Tabelle 7: Sicherheiten für Fall 2	65

Literaturverzeichnis

- [1] M. Schütz, M. Albrecht und V. Sosnytskyi, „Konstruktion von vier Siebträger-Espressomaschinen,“ 2020.
- [2] T. Tritschler, „Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine,“ 2019.
- [3] F. Fritz, S. O'Reilly, T. Kittelmann und J. Kastner, „Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung an einem Borosilikatdampfboiler,“ 2020.
- [4] A. Rohnen, *Hydraulikplan MMM Style*, 2020.
- [5] H.-J. Kretzschmar und W. Wagner, „D2.1 Thermophysikalische Stoffwerte von Wasser,“ in *VDI Wärmeatlas*, P. Stephan, S. Kabelac, M. Kind, D. Mewes, K. Schaber und T. Wetzel, Hrsg., Springer Vieweg, 2019, pp. 201-218.
- [6] K. Matthias, B. Joshua und B. Christoph, *Simulationsmodell einer Siebträger Kaffeemaschine*.
- [7] *RICHTLINIE 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt*, 2014.
- [8] Parker Hannifin GmbH, „O-Ring Handbuch,“ [Online]. Available: https://www.parker.com/literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_O-Ring-Handbook_PTD5705-DE.pdf.
- [9] Dichtelemente arcus GmbH, „O-Ringe,“ 17 Februar 2017. [Online]. Available: https://static.o-ring.de/data/or_XXX_EPDM_XXX_XXX_1.pdf?1487338244079. [Zugriff am 20 August 2020].

- [10] „NTC- Heißleiter,“ Elektronik Kompendium, [Online]. Available: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0208031.htm>. [Zugriff am 20 August 2020].
- [11] o.V., „AVS Römer,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.avs-roemer.de/de/unternehmen/qualitaet/kataloge/katalog-2019-01-de.pdf>. [Zugriff am 18 08 2020].
- [12] W. Wagner, Festigkeitsberechnungen im Apparate- und Rohrleitungsbau, Würzburg: Vogel Buchverlag, 2007.
- [13] A. Schweizer, „Wärmeübergangskoeffizienten - Flüssigkeiten,“ [Online]. Available: https://www.schweizer-fn.de/stoff/wuebergang_fluessigkeit/wuebergang_fluessigkeit.php. [Zugriff am 20 August 2020].
- [14] V. Gnielinski, „G3 Wärmeübertragung bei erzwungener Konvektion: Durchströmte Rohrwendeln,“ in *VDI Wärmeatlas*, P. Stephan, S. Kabelac, M. Kind, D. Mewes, K. Schaber und T. Wetzel, Hrsg., Springer Vieweg, 2019, pp. 823-825.
- [15] H. Nirschl, „L1.2 Druckverlust in durchströmten Rohren,“ in *VDI Wärmeatlas*, P. Stephan, S. Kabelac, M. Kind, D. Mewes, K. Schaber und T. Wetzel, Hrsg., Springer Vieweg, 2019, pp. 1357-1360.
- [16] M. Arendt, „Bachelorarbeit: Konstruktion der kalten Brühgruppe,“ 2018.
- [17] „Projektarbeit: Konstruktion einer Espressomaschine“.
- [18] Roloff/Matek, Maschinenelemente Tabellenbuch, Springer Vieweg.
- [19] „<https://www.ensingerplastics.com/>,“ Ensinger GmbH, [Online]. Available: https://www.ensinger-online.com/modules/public/sheet/createsheet.php?SID=661&FL=1&FILENAME=TECAMID_12_natural_1.PDF&ZOOM=1.2. [Zugriff am 2020].
- [20] A. Rohnen, „Hydraulikplan Labor u Home,“ 2020.
- [21] F. Michal, „Statischer Nachweis Grundrahmen,“ 2020.