



Hochschule München

Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik

Projektarbeit

Konstruktion von vier Siebträger-Espressomaschinen

Construction of four portafilter espresso machines

Autoren:

Melissa Schütz	MBB5P	Matrikelnummer: 52885616	melissaschuetz@web.de
Moritz Albrecht	MBB7	Matrikelnummer: 00055217	mo.albrecht@gmx.de
Vladyslav Sosnytskyi	MBB7	Matrikelnummer: 00667316	vlsosnytskyi@gmail.com

Abgabedatum: 14.03.2020

Selbstständigkeitserklärung zur Projektarbeit

Hiermit bestätigen wir, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt wurden. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Abstract

Ziel der vorliegenden Projektarbeit ist die Konstruktion, als auch die Festlegung von Lieferanten für vier verschiedenen Siebträger-Espressomaschinen, anhand der vorhandenen Hydraulikpläne im Anhang (01)-(04) mit den vorgegeben Heizleistungen, sowie der unterschiedlichen Kesselgrößen und der Bauraumanforderung für die Steuerungselektronik. Die Hauptaufgabe der Projektarbeit gliedert sich in die verschiedenen Einzelbereiche Druckbehälter mit Isolierung, Brühgruppe und Grundrahmen mit Gehäuse.

The aim of the present project work is the design and the determination of suppliers for four different portafilter espresso machines, based on existing hydraulic plans with specified heating capacities, as well as the different boiler sizes and the installation space requirements for the control electronics. The main task of the project work is divided into the various individual areas of pressure vessel with insulation, brewing group and base frame with housing.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
Aufl.	Auflage
DC	Direct Current – Gleichstrom
MV	Magnetventil
PTFE	Polytetrafluorethylen
vgl.	vergleiche

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen

A_D	Dichtfläche	mm^2
a	Hebelarm	mm
a_D	Hebelarm der Schraubkraft für den Einbauzustand	mm
b	Breite	mm
b_D	Breite der Dichtung	mm
C	Berechnungsbeiwert	1
C_1	Berechnungsbeiwert	1
c_1	Zuschlag zum Ausgleich der zul. Wanddicken-Unterschreitung	mm
c_1'	Zulässige Wanddicken-Unterschreitung	%
c_2	Zuschlag für Korrosion bzw. Abnutzung	mm
c_5	Konstruktionszuschlag für Vollschaftschrauben	mm
d_a	Außendurchmesser des Rohrs	mm
$d_{a,Flansch}$	Außendurchmesser Flansch	mm
d_D	Lochkreisdurchmesser	mm
d_F	Flankendurchmesser	mm
d'_L	korrigierte Schraubenlochdurchmesser	mm
d_s	Betriebsschraubendurchmesser	mm
d_s	Einbauschraubendurchmesser	mm
d_s	Schraubendurchmesser im Prüfzustand	mm
d_1	Berechnungsdurchmesser	mm
d_2	Flanschinnendurchmesser	mm

E	Elastizitätsmodul	$\frac{N}{mm^2}$
F_{DV}	Schraubenkraft im Einbauzustand	N
F_{SB}	Mindestschraubenkraft im Betriebszustand	N
$F_{SB,Prüf}$	Mindestschraubenkraft im Prüfzustand	N
F_{VM}	Montagevorspannkraft	N
F_{Qges}	Gesamte Querkraft	N
F_Z	Vorspannkraftverlust	N
f_z	Setzbetrag	mm
$h_{f, fest}$	Mindestdicke vom verschweißten Flansch im Einbau	mm
$h_{f, lose}$	Mindestdicke vom verschraubten Flansch im Einbau	mm
K_t	Technologischer Größeneinflussfaktor für Zugfestigkeit/Streckgrenze	1
k_1	Dichtungskennwert	mm
M	Mantelfläche	mm^2
n	Anzahl der Schrauben	1
$p_{a,kr}$	kritischer Beuldruck	$\frac{N}{mm^2}$
$p_{a,zul}$	zulässiger Außendruck	$\frac{N}{mm^2}$
p_B	Druck bei dem Bruch stattfindet	bar
p_{bl}	Druck bei der Dehnung stattfindet	bar
$p_{Prüfdruck}$	Prüfdruck	bar
R_e	Streckgrenze	$\frac{N}{mm^2}$
R_{eN}	Streckgrenze für die Normabmessung	$\frac{N}{mm^2}$
R_m	Zugfestigkeit	$\frac{N}{mm^2}$
R_{mN}	Zugfestigkeit für die Normabmessung	$\frac{N}{mm^2}$
R_{thges}	Thermischer Widerstand	$\frac{K}{W}$
r	mittlere Radius	mm
r_a	Radius Außenwand	mm
r_i	Innenradius	mm
r_1	Innenradius Zylinder	mm
r_2	Außenradius Zylinder	mm

r_3	Außenradius Zylinder mit Isolierung	mm
s	Wandstärke	mm
$S_{\text{Isolierung}}$	Isolierungsdicke	mm
S_{min}	Mindestwandstärke des Bodens	mm
S_{min}	Mindestwandstärke des Boilerrohrs	mm
S_{min}	Mindestwandstärke des Deckels	mm
s_v	Rechnerische Wanddicke ohne Zuschläge	mm
T_a	Temperatur auf der Außenseite	K
T_i	Maximale Temperatur auf der Innenseite	K
T_1	Temperatur Boiler Innenwand	K
T_2	Temperatur Boiler Außenwand	K
T_3	Temperatur Isolierung außen	K
V	Volumen	mm ³
v	Verschwächungsfaktor	1
v	Querdehnungszahl	1
v_N	Wertigkeit der Längs- bzw. Schraubenlinien-Schweißnaht	1
W	Flanschwiderstand	mm ³
Z	Hilfswert für den Betriebszustand	mm ²
Z	Hilfswert für den Schraubendurchmesser im Einbau- und Prüfzustand	mm ²
Z^*	Hilfswert	mm ²
z	Anzahl Schrauben	1
σ	Spannung	$\frac{N}{mm^2}$
α_a	Axialspannung	$\frac{N}{mm^2}$
α_a	Wärmeübergangszahl Luft ruhend	$\frac{W}{m^2 K}$
α_i	Wärmeübergangszahl Wasser im Kessel	$\frac{W}{m^2 K}$
σ	Spannung	$\frac{N}{mm^2}$
σ_l	Mittlere Längsspannung	$\frac{N}{mm^2}$
σ_r	Mittlere Radialspannung	$\frac{N}{mm^2}$
σ_t	Tangentialspannung	$\frac{N}{mm^2}$

σ_v	Mittlere Vergleichsspannung	$\frac{N}{mm^2}$
σ_{zul}	Zulässige Spannung	$\frac{N}{mm^2}$
μ	Reibungszahl	1
δ_s	elastische Nachgiebigkeit der Schraube	$\frac{mm}{N}$
δ_T	elastische Nachgiebigkeit der Teile	$\frac{mm}{N}$
Φ	Kraftverhältnis	1
λ_I	Wärmeleitfähigkeit der Isolierung bei 40°C Mitteltemperatur	$\frac{W}{mK}$
λ_s	Wärmeleitfähigkeit des X2CrNiMo 17-12-2	$\frac{W}{mK}$

Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung zur Projektarbeit.....	2
Abstract	3
Abkürzungsverzeichnis	4
Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen.....	4
1 Einleitung.....	11
3 Konstruktion Druckbehälter mit Isolierung	12
3.1 Gesetzliche Vorgaben für Druckbehälter.....	12
3.2 Aufgaben und Anforderungen an Dampfboiler.....	12
3.3 Aufgaben und Anforderungen an Tee- und Kaffeeboiler	13
3.4 Konzepte der Boiler.....	13
3.5 Auslegungsberechnung Dampfboiler.....	15
3.5.1 Gesetzliche Anforderungen an den Dampfboiler.....	15
3.5.2 Festigkeitsberechnung Dampfboiler	16
3.5.3 Gesetzliche Anforderungen an den Kaffeeboiler und Teeboiler	20
3.5.4 Festigkeitsberechnung Kaffeeboiler und Teeboiler.....	20
3.6 Schraubenauslegung.....	23
3.7 Dichtungsauslegung.....	27
3.8 Flanschauslegungsberechnung	28
3.9 Isolierungsauslegung	31
3.10 Schweißnahtauslegung.....	32
3.11 Heizelemente.....	32
3.11.1 Heizelemente der Dampf-, Kaffee- und Teeboiler.....	33
3.11.1.1 Konzepte der Heizelemente von Dampf-, Kaffee- und Teeboiler.....	33
3.11.1.2 Auslegungsberechnung der Heizelemente von Dampf-, Kaffee- und Teeboiler	34
3.11.2 Heizwendel für den Borosilikatboiler	35
3.11.2.1 Konzept der Heizwendel für den Borosilikatboiler	35
3.11.2.2 Auslegungsberechnung der Heizwendel für den Borosilikatboiler.....	35
3.12 Wasserwendelauslegung	36
3.12.1 Wasserwendeln für die Dampfboiler	36
3.12.1.1 Konzepte der Wasserwendeln für die Dampfboiler.....	36
3.12.1.2 Auslegungsberechnung der Wasserwendeln für die Dampfboiler.....	37
3.12.2 Wasserwendel für den Borosilikatboiler.....	39
3.12.2.1 Konzept der Wasserwendel für den Borosilikatboiler.....	39
3.12.2.2 Auslegungsberechnung der Wasserwendel für den Borosilikatboiler	39
4 Zusammenfassung und Ausblick der Druckbehälter mit Isolierung	40
5 Literaturverzeichnis der Druckbehälter mit Isolierung	41

6 Brühgruppe.....	42
6.1 Einleitung.....	42
6.2 Durchführung.....	42
6.2.1 Analyse der Aufgabenstellung, Erstellung eines Projektplans und der ToDo-Liste.....	42
6.2.2 Abarbeitung der einzelnen Arbeitspakete.....	42
6.2.3 Dokumentation.....	42
6.2.4 Rücksprachen.....	42
7 Hauptteil.....	43
7.1 Konzeptphase.....	43
7.2 Entwurfsphase.....	43
7.3 Kraftmessung.....	43
7.3.1 Messaufbau und Messmittel.....	44
7.3.2 Versuchsdurchführung.....	44
7.3.3 Theoretische Grundlagen.....	44
7.3.4 Ergebnisse.....	44
7.4 Ausarbeitungsphase.....	44
7.4.1 Ausgewählte Teile.....	44
7.4.2 Kostenschätzung.....	44
8 Zusammenfassung und Ausblick der Brühgruppe.....	44
9 Literaturverzeichnis der Brühgruppe.....	44
10 Konstruktion Grundrahmen und Gehäuse.....	45
10.1 Einleitung Grundrahmen.....	45
10.2 Dokumentation Grundrahmen.....	46
10.2.1 Grundrahmen.....	47
10.2.2 Wasserversorgung.....	48
10.2.2.1 Frischwasser.....	48
10.2.2.2 Schmutzwasser.....	49
10.2.3 Boiler.....	49
10.2.4 Brühgruppe.....	50
10.2.4 Pumpe Motor.....	50
10.2.5 Bedienung.....	50
10.2.6 Dampflanze/ Teewasserbezug.....	51
10.2.7 Stromversorgung.....	51
10.2.8 Sensorik.....	51
10.2.9 Steuerung.....	51
10.2.10 Standfuß.....	52
10.3 Dokumentation Gehäuse.....	53
11 Ausblick des Gehäuses und Grundrahmens.....	53

12 Literaturverzeichnis des Gehäuses und Grundrahmens	54
13 Abbildungsverzeichnis.....	55
14 Tabellenverzeichnis.....	56
15 Anhang.....	57

1 Einleitung

Ob im Büro oder in der Freizeit, Kaffeetrinken gehört für die meisten Deutschen zum täglichen Ritual. Jeder Deutsche konsumiert im Schnitt zwei Tassen Kaffee pro Tag, somit zählt der Kaffee noch vor Bier als das beliebteste Getränk in Deutschland [1]. Über die Jahre entwickelte sich der Kaffee, wie auch diverse Zubereitungsarten, vom klassischen Filterkaffee über Kapsel- und Padmaschinen bis hin zur Siebträger-Espressomaschine. Obwohl es derzeit 13 verschiedene Methoden gibt einen Kaffee aufzubrühen, gibt es auf dem Markt keine Espressomaschine, die aus den unterschiedlichen Faktoren den perfekten Kaffeegeschmack zusammensetzt [2]. Daher hat sich das Labor für Maschinendynamik der Fakultät 03 der Hochschule München in Zusammenarbeit mit der „Kaffeewerkstatt München UG“ Konzepte entwickelt die, in den vier Hydraulikplänen im Anhang (01)-(04) einzusehen sind. Die konstruktiven Umsetzungen dieser vier Konzepte werden in diesem Bericht erläutert.

3 Konstruktion Druckbehälter mit Isolierung

Für die bereits erwähnten Hydraulikpläne der Espressomaschinen, gilt es fünf verschiedene Boiler zu konstruieren, drei Dampfboiler und ein Tee- und Kaffeeboiler. Für die Konstruktion von Druckbehälter gelten gesetzliche Grundlagen, die im nachfolgenden Abschnitt erläutert werden. Auf Basis dieser geltenden Gesetze wurden die Boiler Variationen ausgelegt und konstruiert. Die Inhalte aus den Kapiteln 3-5 wurden von Melissa Schütz verfasst.

3.1 Gesetzliche Vorgaben für Druckbehälter

Als gesetzliche Rechtsvorschrift für die Anforderungen an Druckgeräte gilt die „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“ [3]. Diese Rechtsvorschrift gilt hierbei für die Auslegung sowie von Druckgeräten und Baugruppen die einen maximalen Druck von über 0,5 bar aufweisen. [3, Art. 1 Abs. 1 RL 2014/68/EU]. Im Falle der Projektarbeit trifft dies für den Dampfboiler mit einem maximalen Betriebsdruck von 2,7 bar, als auch für den Tee- und Kaffeeboiler mit einem jeweiligen maximalen Betriebsdruck von 16 bar zu.

3.2 Aufgaben und Anforderungen an Dampfboiler

Die Hauptaufgabe der Boiler besteht darin, dass das in ihnen enthaltene Wasser mithilfe eines entsprechenden Heizelements auf die benötigte Temperatur zu bringen und im Boiler für einen gewissen Zeitraum zu speichern. Es werden wie erwähnt drei verschiedene Dampfboiler Varianten ausgeführt, hierbei tragen die Volumina zweimal 1,8 Liter und einmal 3,6 Liter. Diese Daten als auch die Wasservolumina, geforderten Heizleistungen und Aufheizzeiten sind aus den Hydraulikplänen in den Anhängen (01)-(04) zu entnehmen. Alle Boiler bestehen aus dem Material AISI 316L. Für die Rohrdurchmesser wurden von der Firma GIORGI s.r.l mit 77 mm; 88,9 mm; 101,6 mm; 114,3 mm; 154 mm sowie 168,3 mm zur Verfügung gestellt, wobei alle Rohre dieselbe Wandstärke aufweisen sollen. Damit die Boiler möglichst wartungsfreundlich sind, werden diese liegend positioniert.

Die Boiler bestehen alle aus den Komponenten Boilerzylinder, Deckel, Boden, Flansch, Dichtung, Schrauben und Isolierung und enthalten je nach Variante Heizelemente und Wasserwendeln.

Damit die Boiler dicht bleiben, gilt es eine Flachdichtung aus dem Material PTFE zu wählen.

Für den Wasser Zu- und Ablauf in den Boilern werden Elsa Anschlüsse von der Firma AVS-Römer GmbH verwendet. Die Wasser- und Dampfleitungen gilt es aus PTFE mit einem Außendurchmesser von 6mm und einer Wandstärke von 1 mm zu wählen. Um die Temperaturen in den Boilern nicht zu überschreiten, gilt es zur Kontrolle in jedem Boiler einen Einschraubtemperaturfühler mit den Maßen M8x1x17 so einzubauen, dass er in der oberen Wasserhälfte liegt. Zusätzlich benötigt jeder Dampfboiler einen Füllstandsensor der auf einer Boilerhöhe von 2/3 liegen soll.

Informationen zum Borosilkatboiler aus dem Anhang (03) gibt es in [19].

Im Folgenden werden die Aufgaben und den Anforderungen, die für den Tee- und Kaffeeboiler gelten erläutert.

3.3 Aufgaben und Anforderungen an Tee- und Kaffeeboiler

In Kapitel 3.2 ist bereits die Hauptaufgabe der Boiler erwähnt. Für den Tee und Kaffeeboiler wird jeweils nur eine Variante ausgeführt. Aus den Hydraulikplänen in den Anhängen (01)-(04) ist das Volumen von 0,5 Liter für den Kaffeeboiler und 0,7 Liter für den Teeboiler zu entnehmen. Beide werden vollständig mit Wasser befüllt und enthalten Heizelemente deren Heizleistung und Aufheizzeit ebenfalls aus den Anhängen (01)-(04) zu entnehmen ist. Das Material, wie auch die möglichen Rohrdurchmesser sind dieselben wie bei den Dampfboilern aus Kapitel 3.2.

Die Tee- und Kaffeeboiler werden ebenfalls liegend positioniert und enthalten auch Flachdichtung aus PTFE. Die Anschlüsse sind genauso wie in Kapitel 4.2 Elsa Anschlüsse der Firma AVS-Römer GmbH und die Wasser- und Dampfleitungen sollen dieselben Merkmale wie die in Kapitel 3.2 aufweisen. Ebenso benötigen die Boiler Einschraubtemperaturfühler mit den Maßen M8x1x17 welche in der oberen Wasserhälfte liegen sollen, jedoch wird ein Füllstandsensoren in den Tee- und Kaffeeboilern nicht benötigt.

3.4 Konzepte der Boiler

Anschließend werden nun die unterschiedlichen Konzepte zu den Boilern beschrieben.

Alle Boiler besitzen dieselbe Anzahl an Komponenten, sowie prinzipiell den gleichen Aufbau. Die Boilerwände bestehen jeweils aus einem Rohrstück, welches an eine kreisförmige Platte zugeschweißt ist, welche als Boden des Boilers dient. Als Deckel wird eine kreisförmige Platte verwendet die 6 Bohrungen aufweist. Als Gegenstück für den Boilerdeckel ist ein Losflansch auf das Rohr gestülpt und ebenfalls angeschweißt. Der Losflansch besitzt hierbei sechs Bohrungen mit Innengewinde. Auf den Flansch wird nun ein Dichtring aus dem Material PTFE aufgelegt, der koaxiale Bohrungen zum Flansch aufweist. Der Deckel des Boilers enthält dabei koaxiale Bohrungen zum Flansch jedoch ohne Gewinde. Die Platte wird mithilfe von sechs Zylinderschrauben mit Innensechskant an den Flansch befestigt. In Abbildung 1 ist der eben beschriebene Aufbau der Boiler zu erkennen. Alle Komponenten bis auf der Dichtung und der Schrauben bestehen wie bereits erwähnt aus dem Werkstoff AISI 316L. Die Herstellung der Boiler wird bei der Firma GIORGI s.r.l. angefragt.

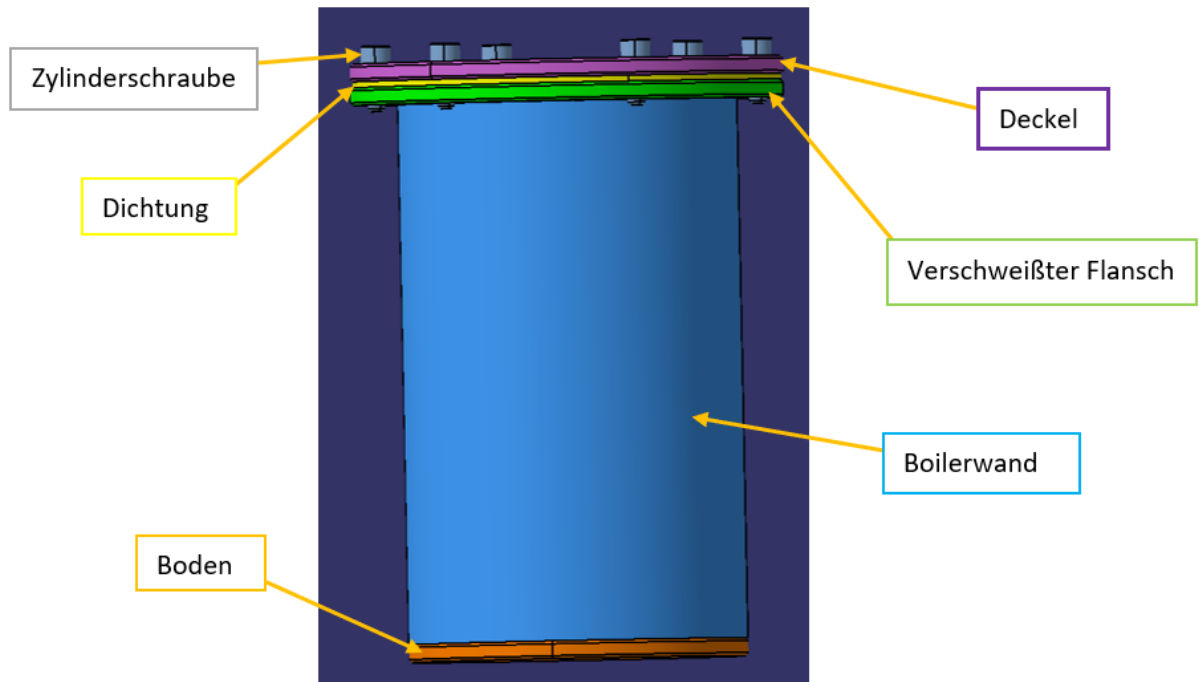


Abbildung 1: Boiler Außenperspektive

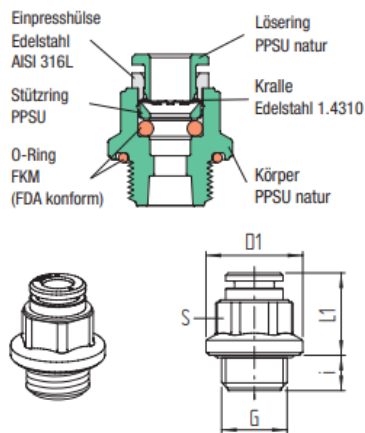


Abbildung 2: Elsa Anschluss (Quelle: AVS Römer)

Da die Boiler auch mit Wasser be- und entfüllt werden müssen, werden sie mit zwei Gewindebohrungen am Deckel versehen. An diese Bohrungen werden die Elsa Anschlüsse mit 6 mm Schläuchen aus der Abbildung 2 verwendet. Ebenso gibt es jeweils ein Gewinde für den Füllstandsensord und Einschraubtemperaturfühler. Der Kaffee-, Tee- sowie 1,8 Liter Dampfboiler mit 1400 W benötigen jedoch keinen Füllstandsensord und haben demnach eine Bohrung weniger. Die Positionen der jeweiligen Bohrungen lassen sich in Abbildung 3 erkennen.

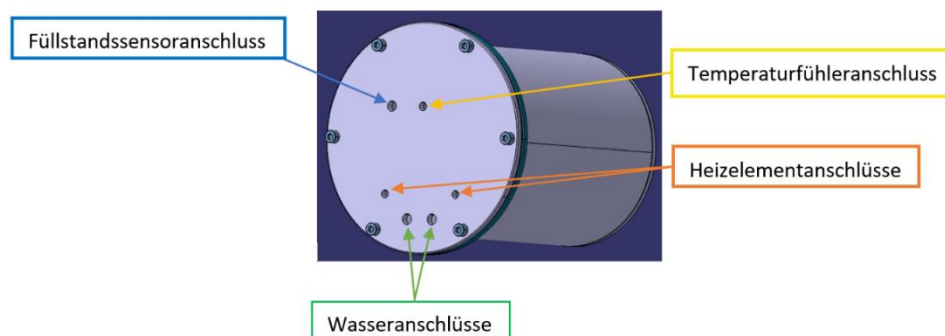


Abbildung 3: Anschlüsse der Boiler vorne

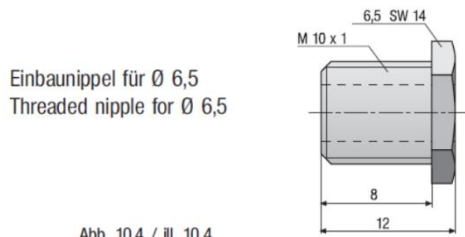


Abb. 10.4 / ill. 10.4

Abbildung 4: Einbaunippel (Quelle: HKEtec)

Außerdem werden die Heizelemente mithilfe von Einschraubnippeln an den Deckel montiert. Ein Lösungsvorschlag hierfür ist in Abbildung 4 zu sehen.

Der 1,8 Liter Dampfboiler mit 1200 W und der 3,6 Liter Dampfboiler haben zusätzlich Wasserwendeln verbaut. Diese werden am Boden der Dampfboiler befestigt. Für den genauen Anschluss hierfür gibt es noch keine genaueren Informationen. Die Positionen hierfür sind in Abbildung 5 zu erkennen.

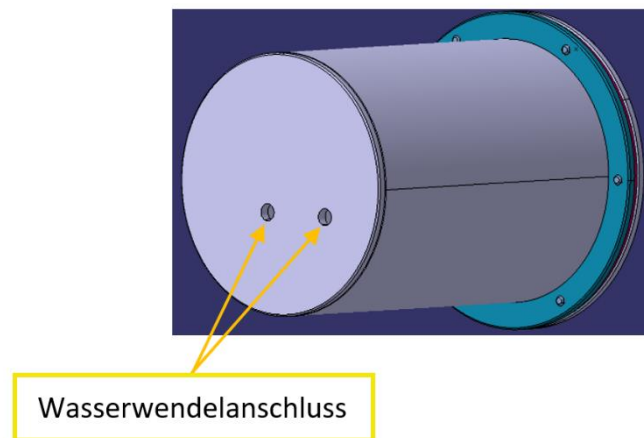


Abbildung 5: Anschlüsse der Boiler hinten

Nach der Festlegung des Konzepts folgen nun die Gesetzlichen Anforderungen, sowie die rechnerische Auslegung der Dampfboiler.

3.5 Auslegungsberechnung Dampfboiler

~~3.5.1 Gesetzliche Anforderungen an den Dampfboiler~~

Die Richtlinie 2014/68/EU gibt vor, das „befeuerte oder anderweitig beheizte Druckgeräte mit Überhitzungsrisiko zur Erzeugung von Dampf oder Heißwasser mit einer Temperatur von mehr als 110 °C und einem Volumen von mehr als 2 Liter sowie alle Schnellkochtöpfe (Anhang II, Diagramm 5)“ die wesentlichen Sicherheitsanforderungen aus dem Anhang der gesetzlichen Grundlage erfüllen müssen. [3, Art. 4 Abs. 1 b) RL 2014/68/EU]. Auf den drei-Liter-Boiler, der mit einem Heizelement bei Temperaturen von bis zu 403,15 K befeuert wird, treffen die genannten Merkmale zu, jedoch weichen die Eigenschaften der beiden 1,8-Liter-Boiler von den erwähnten Charakteristiken ab. Für diese beiden Ausnahmen gilt, dass „Druckgeräte und Baugruppen, die höchstens die Grenzwerte nach Absatz 1 Buchstaben a, b und c sowie Absatz 2 erreichen, müssen in Übereinstimmung mit der in einem Mitgliedstaat geltenden guten Ingenieurpraxis ausgelegt und hergestellt werden, damit gewährleistet ist, dass sie sicher verwendet werden können. Den Druckgeräten und Baugruppen ist eine ausreichende Betriebsanleitung beizufügen.“ [3, Art. 4 Abs. 3 RL 2014/68/EU] Außerdem dürfen diese Druckgeräte oder Baugruppen die CE-Kennzeichnungen aus dem Artikel 18 nicht tragen [3]. Im Anhang I Abs. 2.2.1 wird vorbemerkt, dass bei der Auslegung auf Belastungen die Druckgeräte so ausgeführt werden, dass vor allem die Faktoren Innen- und Ausdruck, sowie

Umgebungs- und Betriebstemperaturen berücksichtigt werden [3]. Die Auslegung auf die erforderliche Belastbarkeit, kann auf der Grundlage von zwei verschiedenen Verfahren erfolgen [3]. Hierzu können nach Anhang I Abs. 2.2.3 die Methoden oder auch Kombination der Auslegung nach Formeln, Auslegung nach Analyseverfahren, als auch die Auslegung nach bruchmechanischen Verfahren angewandt werden. Zusätzlich dazu, muss beachtet werden, dass Haushalts- und Bürogeräte durch die „VERORDNUNG (EU) Nr. 801/2013 DER KOMMISSION vom 22. August 2013“ mit gemeinsamen Energieeffizienzvorgaben versehen sind [8]. In [8] Artikel 8 Abs. 6 ist festgelegt, dass Kaffeemaschinen nach den folgenden Wartezeiten automatisch in die im Anhang II Nummer 2 Buchstabe d genannten Modi und Zustände versetzt werden. „Für Haushaltskaffeemaschinen mit Ausnahme von Filterkaffeemaschinen gilt eine Wartezeit von höchstens 30 Minuten nach Abschluss des letzten Brühzyklus, von höchstens 30 Minuten nach Aktivierung des Heizelements, von höchstens 60 Minuten nach Aktivierung der Tassenvorwärmfunktion und von höchstens 30 Minuten nach Abschluss eines Entkalkungs- oder Selbstreinigungsvorgangs, außer wenn ein Alarm ausgelöst wurde, der ein Eingreifen des Nutzers erfordert, um Schäden oder einen Unfall zu verhindern.“

3.5.2 Festigkeitsberechnung Dampfboiler

Für die Konstruktion von Druckbehältern existieren Regelwerke die sicherheitstechnischen Anforderungen für normale Betriebsverhältnisse enthält wie z.B. das der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“, kurz gesagt das AD 2000-Regelwerk. Mit Hilfe solcher Regelwerke gilt es die Forderungen der Richtlinie 2014/68/EU einzuhalten. Die nachfolgenden Berechnungen basieren auf diesem Regelwerk, sowie auf [4]. Dabei gilt es die Berechnung mit dem maximal zulässigen Druck, als auch dem Prüfdruck durchzuführen [4]. Der in den „AD 2000-Merkblättern verwendete Berechnungsdruck p muss \geq dem maximal zulässigen Druck“ sein. “ [4, Abs. 4.1 AD 2000-Merkblätter B0]. Bei Druckbehältern darf der hydrostatische Prüfdruck des 1,25fachen Werts „der Höchstbelastung des Druckgeräts im Betrieb mit der Berücksichtigung des höchstzulässigen Drucks und der höchstzulässigen Temperatur“ nicht unterschreiten. [3, Anhang I Abs. 7.4 RL 2014/68/EU].

Zunächst wird berechnet bei welchem Druckbereich Bruch stattfindet.

Hierfür wurde die nachfolgende Formel aus [4] Abs. 3.2.3.3 verwendet und die Ergebnisse in Tabelle 1 zusammengetragen:

$$p_B = \frac{R_B * 2}{d_i / S + 1} \quad (1)$$

Tabelle 1: Ergebnisse der Drücke bei denen Bruch stattfindet aller Dampfboiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler
R_{mN}	Zugfestigkeit für die Normabmessung	$410 \frac{N}{mm^2}$	$410 \frac{N}{mm^2}$
K_t	Technologischer Größeneinflussfaktor für Zugfestigkeit	0,99	0,99
R_m	Zugfestigkeit	$450,9 \frac{N}{mm^2}$	$450,9 \frac{N}{mm^2}$
p_B	Druck bei dem Bruch stattfindet	115,251 bar	85,228 bar
$p_{Prüfdruck}$	Prüfdruck	3,375 bar	3,375 bar

Anschließend wurde mit der Formel aus [4] Abs. 3.2.3.3 geprüft bei welchem Druck mit bleibenden Dehnungen gerechnet werden muss:

$$p_{bl} = \frac{R_e * 2}{\frac{d_i}{S} + 1} \quad (2)$$

Die sich daraus ergebenden Werte sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Ergebnisse der Drücke mit bleibenden Dehnungen für alle Dampfboiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler
R_{eN}	Streckgrenze für die Normabmessung	$152 \frac{N}{mm^2}$	$152 \frac{N}{mm^2}$
K_t	Technologischer Größeneinflussfaktor für Streckgrenze	0,87	0,87
R_e	Streckgrenze	$132,24 \frac{N}{mm^2}$	$132,24 \frac{N}{mm^2}$
p_{bl}	Druck bei dem mit bleibenden Dehnungen gerechnet wird	37,548 bar	27,767 bar
$p_{Prüfdruck}$	Prüfdruck	3,375 bar	3,375 bar

Als nächstes wird die benötigte Mindestwandstärke der Boiler berechnet. Dafür wird zuerst die rechnerische Wanddicke ohne Zuschläge mittels der Formel aus [4] Abs. 3.2.4 errechnet:

$$s_v = \frac{d_a}{\left(2 * \frac{\sigma_{zul}}{p_{Prüfdruck}} - 1\right) * v_N + 2} \quad (3)$$

Die hierfür erforderliche zulässige Spannung σ_{zul} ist gleich dem Verhältnis aus $\frac{K}{S}$.

Für die Ermittlung der Mindestwandstärke werden die Zuschläge c_1 , als auch c_2 benötigt. Dabei erfolgt c_1 aus der DIN EN 10 216-5 und c_2 für austenitische Stähle aus [5] Abs. 9.2.3 und bleiben für alle weiteren Berechnungen konstant.

Die benötigte Mindestwandstärke s ergibt sich daraus über die Formel aus [4] Abs.3.2.5.1:

$$s = s_v + c_1 + c_2 \quad (4)$$

Die Ergebnisse hierzu sind in der nun folgenden Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse der Mindestwandstärke aller Dampfboiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler
d_a	Außendurchmesser des Rohrs	114,3 mm	154 mm
σ_{zul}	Zulässige Spannung	$172,381 \frac{N}{mm^2}$	$172,381 \frac{N}{mm^2}$
v_N	Wertigkeit der Längs- bzw. Schraubenlinien-Schweißnaht	1,0	1,0
$p_{Prüfdruck}$	Prüfdruck	3,375 bar	3,375 bar
s_v	Rechnerische Wanddicke ohne Zuschläge	0,112 mm	0,172 mm
c_2	Zuschlag für Korrosion bzw. Abnutzung	0	0
c_1'	Zulässige Wanddicken-Unterschreitung	12,5 %	12,5%
c_1	Zuschlag zum Ausgleich der zul. Wanddicken-Unterschreitung	0,018 mm	0,025 mm
s_{min}	Mindestwandstärke des Boilerrohrs	0,128 mm	0,197 mm

Für die Konstruktion werden 1,6 mm Wandstärke gewählt.

Die im Material vorhandenen Spannungen lassen sich in Längs-, Umfangs-, sowie Radialspannungen aufteilen. Die Grundlage für die Spannungsermittlung bei Druckbeaufschlagung bildet das sogenannte Flächenvergleichsverfahren, das mit der Gleichgewichtsbetrachtung aus [4] Abs.3.2.1 wie folgt darstellen lässt:

$$p * A_p = \sigma * A_\sigma \quad (5)$$

Die gesuchte mittlere Längsspannung lässt sich mit der Formel aus [4] Abs. 3.2.3 berechnen:

$$\sigma_l = \frac{p_{Prüfdruck} * d_i}{4 * s_v} \quad (6)$$

$$\sigma_u = \frac{p_{Prüfdruck} * d_i}{2 * s_v} \quad (7)$$

$$\sigma_r = -\frac{p_{Prüfdruck}}{2} \quad (8)$$

Aus der mittleren Umfangsspannung und der mittleren Radialspannung lässt sich die Vergleichsspannung σ_v ermitteln. Die Formel erhält man aus [4] Abs. 3.2.3.3, die wie folgt lautet:

$$\sigma_v = \sigma_r - \sigma_u \quad (9)$$

Die errechneten Ergebnisse für die jeweiligen Spannungen sind in Tabelle 4 festgehalten.

Tabelle 4: Ergebnisse der berechneten Spannungen aller Dampfboiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler
s	Wandstärke	1,6 mm	1,6 mm
r_i	Innenradius	55,55 mm	75,4 mm
$p_{\text{Prüfdruck}}$	Prüfdruck	3,375 bar	3,375 bar
σ_l	Mittlere Längsspannung	$83,859 \frac{N}{mm^2}$	$84,482 \frac{N}{mm^2}$
σ_u	Mittlere Umfangsspannung	$167,719 \frac{N}{mm^2}$	$168,964 \frac{N}{mm^2}$
σ_r	Mittlere Radialspannung	$-0,169 \frac{N}{mm^2}$	$-0,169 \frac{N}{mm^2}$
σ_v	Mittlere Vergleichsspannung	$167,888 \frac{N}{mm^2}$	$169,133 \frac{N}{mm^2}$

Für die Auslegung des Boilers, spielen außerdem die mindesterforderlichen Deckel- und Bodenwanddicken eine wichtige Rolle. Die Mindestwandstärke der Böden lässt sich mit der Formel für Runde Platten aus [4] Tabelle 4.6 a berechnen:

$$s_{min} = C * d_1 * \sqrt{\frac{p_{\text{Prüfdruck}}}{10 * \frac{K}{S}}} + c_1 + c_2 \quad (10)$$

Der Berechnungsbeiwert C als auch der Berechnungsdurchmesser d_1 erfolgen aus [7] Tafel 1 mit der Ausführungsform h). Der Berechnungsdurchmesser d_1 ist aus der Tafel 1 zu entnehmen der Innendurchmesser des Zylinders.

Die erforderliche Mindestwandstärken der Böden, sowie die dafür erforderlichen Parameter sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Ergebnisse Mindestwandstärke von den Böden aller Dampfboiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler
d_1	Berechnungsdurchmesser	55,55 mm	75,4 mm
C	Berechnungsbeiwert	0,5	0,5
s_{min}	Mindestwandstärke des Bodens	0,793 mm	1,077 mm

Als Wandstärke der Böden werden ebenso 6 mm gewählt. Dieser Wert liegt über der Mindestwandstärke der Böden mit 0,793 mm und 1,077 mm. Die Dimensionierung ist somit ausreichend erfüllt.

Im nächsten Schritt werden die Mindestwandstärken der Deckel bestimmt.

Da die Deckel verschraubt werden gilt die Formel nach [7] Abs. 6.3.1 für runde Platten mit zusätzlichem gleichsinnigem Randmoment:

$$s = C_1 * d_D * \sqrt{\frac{p_{\text{Prüfdruck}}}{10 * \sigma_{zul}}} + c_1 + c_2 \quad (11)$$

Der hierfür benötigte Berechnungsbeiwert C_1 lässt sich aus [7] Tafel 1 mit der Ausführungsform h) ablesen. Der Lochkreisdurchmesser wird mit d_D bezeichnet und erfolgt wie aus [7] im Bild 3 zu erkennen.

Die errechneten Werte für die Mindestwandstärke der Deckel sind in Tabelle 6 zusammengetragen.

Tabelle 6: Ergebnisse Mindestwandstärke von den Deckeln aller Dampfboiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler
d_D	Lochkreisdurchmesser	126,9 mm	164,835 mm
C_1	Berechnungsbeiwert	0,35	0,35
s_{min}	Mindestwandstärke des Deckels	0,637 mm	0,829 mm

Für die Wandstärke der Deckel werden auch 6 mm gewählt.

Dieser Wert liegt über den geforderten 0,637 mm und 0,829 mm. Somit ist eine ausreichende Dimensionierung gewährleistet.

3.5.3 Gesetzliche Anforderungen an den Kaffeeboiler und Teeboiler

Als nächstes wird auf die gesetzlichen Anforderungen die für den Kaffee-, wie auch für den Teeboiler gelten eingegangen. Mit einem Teeboiler Volumen von 0,7 Liter und den 0,5 Liter Volumen im Kaffeeboiler, werden die Voraussetzungen, lediglich für [8] Artikel 8 Abs. 6 erfüllt. Diese Richtlinie wurde bereits in Kapitel 3.5.1 näher beschrieben. Für den Kaffee-, sowie den Teeboiler gilt nach wie vor das AD 2000 Merkblatt.

Anschließend folgt nun die Festigkeitsberechnung der Kaffee- und Teeboiler.

3.5.4 Festigkeitsberechnung Kaffeeboiler und Teeboiler

Auch bei den Kaffee- und Teeboilern wird wie bei den Dampfboilern zuerst berechnet bei welchem Druckbereich Bruch stattfindet. Hierbei wird die Formel (1) verwendet und anschließend werden die Ergebnisse in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Ergebnisse der Drücke bei denen Bruch stattfinden der Kaffee- und Teeboiler

Kenngröße	Beschreibung	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
R_{mN}	Zugfestigkeit für die Normabmessung	$410 \frac{N}{mm^2}$	$410 \frac{N}{mm^2}$
K_t	Technologischer Größeneinflussfaktor für Zugfestigkeit	0,99	0,99
R_m	Zugfestigkeit	$450,9 \frac{N}{mm^2}$	$450,9 \frac{N}{mm^2}$
p_B	Druck bei dem Bruch stattfindet	172,265 bar	172,265 bar
$p_{Prüfdruck}$	Prüfdruck	20 bar	20 bar

Die Ergebnisse zeigen, dass der Prüfdruck weit unter dem Druck liegt, bei dem mit einem Bruch zurechnen ist.

Mit der Formel (2) wird nun geprüft bei welchem Druck mit bleibenden Dehnungen gerechnet werden muss.

Die berechneten Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Ergebnisse der Drücke mit bleibenden Dehnungen für Kaffee- und Teeboiler

Kenngroße	Beschreibung	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
R_{eN}	Streckgrenze für die Normabmessung	$152 \frac{N}{mm^2}$	$152 \frac{N}{mm^2}$
K_t	Technologischer Größeneinflussfaktor für Streckgrenze	0,87	0,87
R_e	Streckgrenze	$132,24 \frac{N}{mm^2}$	$132,24 \frac{N}{mm^2}$
p_{bl}	Druck bei dem mit bleibenden Dehnungen gerechnet wird	56,123 bar	56,123 bar
$p_{Prüfdruck}$	Prüfdruck	20 bar	20 bar

Die Prüfdrücke liegen ebenfalls unter dem Druck, bei dem mit bleibenden Dehnungen gerechnet wird. Auch hier befindet man sich in einem sicheren Bereich.

Im nächsten Schritt wird die die benötigte Mindestwandstärke der Tee- und Kaffeeboiler mit den Formeln (3) und (4) berechnet und im Anschluss daran in der Tabelle 9 festgehalten.

Tabelle 9: Ergebnisse der Mindestwandstärke für Kaffee- und Teeboiler

Kenngroße	Beschreibung	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
d_a	Außendurchmesser des Rohrs	77 mm	77 mm
σ_{zul}	Zulässige Spannung	$172,381 \frac{N}{mm^2}$	$172,381 \frac{N}{mm^2}$
v_N	Wertigkeit der Längs- bzw. Schraubenlinien-Schweißnaht	1,0	1,0
$p_{Prüfdruck}$	Prüfdruck	20 bar	20 bar
s_v	Rechnerische Wanddicke ohne Zuschläge	0,444 mm	0,444 mm
c_2	Zuschlag für Korrosion bzw. Abnutzung	0	0
c_1'	Zulässige Wanddicken-Unterschreitung	12,5 %	12,5%
c_1	Zuschlag zum Ausgleich der zul. Wanddicken-Unterschreitung	0,063 mm	0,063 mm
s_{min}	Mindestwandstärke des Boilerrohrs	0,508 mm	0,508 mm

Für den Zylinder der Kaffee- sowie Teeboiler wird eine Wandstärke von 1,6 mm gewählt. Dieser Wert liegt über den geforderten 0,508 mm und damit hinreichend dimensioniert.

Ein weiterer wichtiger Punkt für die Auslegung von Boilern sind die in den Boilern vorhandenen mittleren Längs-, Radial-, Umfangs- sowie Vergleichsspannungen. Die Grundlage hierfür bildet die Formel (5).

Mit den Formeln (6)-(9) lassen sich die gesuchten Spannungen berechnen. Die Ergebnisse hierzu befinden sich in Tabelle 10.

Tabelle 10: Ergebnisse der berechneten Spannungen für Kaffee- und Teeboiler

Kenngröße	Beschreibung	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
s	Wandstärke	1,6 mm	1,6 mm
r_i	Innenradius	55,55 mm	75,4 mm
$p_{\text{Prüfdruck}}$	Prüfdruck	20 bar	20 bar
σ_l	Mittlere Längsspannung	$83,088 \frac{N}{mm^2}$	$83,088 \frac{N}{mm^2}$
σ_u	Mittlere Umfangsspannung	$166,176 \frac{N}{mm^2}$	$166,176 \frac{N}{mm^2}$
σ_r	Mittlere Radialspannung	$-1 \frac{N}{mm^2}$	$-1 \frac{N}{mm^2}$
σ_v	Mittlere Vergleichsspannung	$167,176 \frac{N}{mm^2}$	$167,176 \frac{N}{mm^2}$

Als nächstes werden die erforderlichen Mindestwandstärken für die Böden der Boiler mithilfe der Formel (10) ermitteln und im Anschluss werden die Ergebnisse in Tabelle 11 festgehalten.

Tabelle 11: Ergebnisse Mindestwandstärke von den Böden für Kaffee- und Teeboiler

Kenngröße	Beschreibung	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
d_1	Durchmesser	73,8 mm	73,8 mm
C	Berechnungsbeiwert	0,5	0,5
s_{min}	Mindestwandstärke des Bodens	1,32 mm	1,32 mm

Die Wandstärke der Böden wird für beide Boiler Varianten auf 6 mm festgelegt, der Grund hierfür ist ...

Anschließend wird die Mindestwandstärke für die Deckel der einzelnen Boiler mittels Formel (11) bestimmt. Die Resultate hierfür werden in Tabelle 12 eingetragen.

Tabelle 12: Ergebnisse Mindestwandstärke von den Deckeln für Kaffee- und Teeboiler

Kenngröße	Beschreibung	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
d_D	Lochkreisdurchmesser	87,561 mm	87,561 mm
C	Berechnungsbeiwert	0,35	0,35
s_{min}	Mindestwandstärke des Deckels	1,107 mm	1,107 mm

Auch die Wandstärke der Deckel wird aus demselben Grund wie bei den Böden auf 6 mm definiert.

Im Anschluss daran folgt nun die Auslegung der Schrauben für den Dampf-, Tee- und Kaffeeboiler.

3.6 Schraubenauslegung

Wie erwähnt werden in diesem Kapitel die Schrauben ausgelegt. Als Schrauben werden Zylinderkopfschrauben mit Innensechskant aus dem Werkstoff X2CrNi19-11 betrachtet.

Nach der Formel aus [9] Abs. 7.1.2.1 setzt sich die Mindestschraubenkraft im Betriebszustand aus den Einzelkomponenten F_{RB} , F_{FB} und F_{DB} zusammen:

$$F_{SB} = F_{RB} + F_{FB} + F_{DB} \quad (12)$$

Die Einzelkomponenten und Sicherheit $S_D = 1,2$ folgen ebenso aus den Formeln von [9] Abs. 7.1.2.1:

$$F_{RB} = \frac{p * \pi * d_i^2}{40} \quad (13)$$

$$F_{FB} = \frac{p * \pi * (d_D^2 - d_i^2)}{40} \quad (14)$$

$$F_{DB} = \frac{p}{10} * \pi * d_D * S_D * k_1 \quad (15)$$

Die Formel für den Dichtungskennwert k_1 ist aus [9] Tafel 1 für PTFE zu entnehmen:

$$k_1 = b_D * 1,1 \quad (16)$$

Es gilt nach [9] Abs. 7.1.1, wenn das Verhältnis aus Zugfestigkeit zu Streckgrenze größer als 0,8 ist, muss zusätzlich die Mindestschraubenkraft im Prüfzustand berechnet werden. Hierfür wurden in den Formeln (12)-(15) lediglich der Druck p mit dem jeweiligen Prüfdruck $p_{Prüfdruck}$ ersetzt. Mit Hilfe der berechneten Schraubenkräfte lassen sich nun die Schraubendurchmesser nach [9] Abs. 7.2 ermitteln. Laut [9] Abs. 2.3.3 soll die Anzahl der Schrauben möglichst groß gewählt werden, weshalb die Schraubenanzahl auf sechs Stück festgelegt wird. Zuerst wird der Betriebsdurchmesser mit der Formel aus [9] 7.2 Gleichung 13 berechnet:

$$d_S = Z * \sqrt{\frac{F_{SB}}{K * n}} + c_5 \quad (17)$$

Der Hilfwert Z im Betriebszustand lässt sich aus [9] Tafel 3 in Abhängigkeit von ϕ bestimmen. Bei bearbeiteter Oberfläche beträgt der Hilfwert ϕ gleich eins, somit folgt aus der eben erwähnten Tafel für den Hilfwert $Z=1,51$. Für den Konstruktionszuschlag c_5 muss nach [9] Abs. 8 Gleichung 17 und 18 geprüft werden, ob das Verhältnis aus $Z * \sqrt{\frac{F_{SB}}{K * n}} \leq 20$ mm oder ≥ 50 mm ist. Für den ersten Fall gilt, dass für c_5 dem Wert 3 mm entspricht, im zweiten Fall sind es 1 mm.

Aus diesen Werten lässt sich nun der Betriebsdurchmesser d_S bestimmen.

Mit derselben Formel lässt sich nach [9] Abs. 7.2 Gleichung 14 der Schraubendurchmesser im Prüfzustand ermitteln. Hierfür muss lediglich für F_{SB} die Kraft F_{SP} eingesetzt werden und der Faktor K mit dem Faktor

K_{20} ersetzt werden. Der Faktor K_{20} entspricht der Streckgrenze der Schraube bei Raumtemperatur und ist nach [18] 640 N/mm^2 groß.

Um den Schraubendurchmesser im Einbauzustand zu berechnen wird nach [9] Abs. 7.2 Gleichung 15 vorgegangen:

$$d_s = Z * \sqrt{\frac{F_{DV}}{K_{20} * n}} \quad (18)$$

Für den Prüfzustand gilt ein neuer Hilfswert Z der ebenfalls mit $\varphi=1,0$ aus [9] Tafel 3 abgelesen wird, mit dem Unterschied, dass nun der Prüfzustand statt dem Betriebszustand gilt. Die restlichen Werte die zur Berechnung der Formel (18) notwendig sind, sind aus dem Kapitel bekannt.

Die aus den Formeln (12)-(18) resultierenden Werte sind in Tabelle 13 festgehalten.

Tabelle 13: Ergebnisse der Mindestschraubenkräfte aller Boiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
b_D	Breite der Dichtung	35,2 mm	37,73 mm	38,278 mm	38,278 mm
k_1	Dichtungskennwert	38,72 mm	41,503 mm	42,106 mm	42,106 mm
d_D	Durchmesser der Dichtnaht	126,9 mm	164,835 mm	87,561 mm	87,561 mm
F_{SB}	Mindestschraubenkraft im Betriebszustand	841,629 N	1,273 kN	3,187 kN	3,187 kN
F_{DV}	Schraubenkraft im Einbauzustand	83,912 kN	117,636 kN	75,82 kN	75,82 kN
$F_{SB,Prüf}$	Mindestschraubenkraft im Prüfzustand	1,052 kN	1,591 kN	3,984 kN	3,984 kN
n	Anzahl der Schrauben	6	6	6	6
Z	Hilfswert für den Betriebszustand	1,51	1,51	1,51	1,51
c_5	Konstruktionszuschlag für Vollschäftschrauben	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm
d_s	Betriebsschraubendurchmesser	3,77 mm	3,946 mm	4,498 mm	4,498 mm
Z	Hilfswert für den Schraubendurchmesser im Einbau- und Prüfzustand	1,27	1,27	1,27	1,27
d_s	Einbauschraubendurchmesser	5,937 mm	3,946 mm	5,643 mm	5,643 mm
d_s	Schraubendurchmesser im Prüfzustand	0,665 mm	0,817 mm	1,294 mm	1,294 mm

Den Ergebnissen zufolge dürfen die Durchmesser der Schrauben nicht unter dem Wert 5,937 mm liegen, weshalb für alle Boiler M6 Schrauben gewählt wird.

Anschließend ergibt sich die notwendige Montagevorspannkraft nach [14, S.72] Nr. 32 aus:

$$F_{VM} = k_A * [F_{Kl} + F_B(1 - \Phi) + F_Z] \quad (19)$$

Die hierbei erforderliche Klemmkraft F_{Kl} ergibt sich aus [14, S. 70] Nr. 20:

$$F_{Kl} = \frac{F_{Qges}}{\mu * z} \quad (20)$$

Als Querkraft wirkt der Prüfdruck mal der Dichtfläche A_D , für die Reibungszahl μ folgt aus [15] Tabelle 4-1 der Wert 0,3 und z entspricht hier der Anzahl an Schrauben. Die für die Berechnung erforderliche Betriebskraft entsteht Infolge des inneren Drucks im Boiler und berechnet sich somit aus dem Prüfdruck mal der Zylinderbodenfläche.

Für den Vorspannkraftverlust infolge Setzens wird nach der Formel in [14, S.70] Nr. 21 vorgegangen:

$$F_Z = \frac{f_z}{\delta_s + \delta_T} \quad (21)$$

Die elastische Nachgiebigkeit der Schraube δ_s lässt sich aus [14, S.69] Nr. 8 ermitteln:

$$\delta_s = \frac{1}{E_s} \left(\frac{0,4d}{A_N} + \frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} + \frac{l_3}{A_3} + \frac{0,5d}{A_3} + \frac{0,4d}{A_N} \right) \quad (22)$$

Das Elastizitätsmodul des Schraubengewindes E_s folgt hierbei aus [15] Tabelle 1-1 bis 1-3 und A_3 aus [15] Tabelle 8-1 bzw. Tabelle 8-2.

Der Nennquerschnitt der Schraube A_N wird aus [14, S.73] wie folgt berechnet:

$$A_N = \frac{d^2 * \pi}{4} \quad (23)$$

Die elastische Nachgiebigkeit der verspannten Teile δ_T erfolgt aus [14, S.73] Nr. 9:

$$\delta_T = \frac{l_k}{A_{ers} * E_T} \quad (24)$$

Für den hierfür erforderlichen Ersatzquerschnitt A_{ers} werden die drei Fälle aus [S. 73] Nr. 10, Nr. 11 und Nr. 12 geprüft. Das nun noch erforderliche Kraftverhältnis Φ ergibt sich aus [14, S.70] mit der Nr. 19:

$$\Phi = n * \frac{\delta_T}{\delta_s + \delta_T} \quad (25)$$

Wobei der Richtwert n sich aus [14, S.74] ergibt und 0,3 beträgt.

Die Ergebnisse aus diesen Formeln sind in Tabelle 14 zusammengetragen.

Tabelle 14: Ergebnisse der Montagevorspannkkräfte aller Boiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Boiler	3,6 Liter Boiler	0,5 Liter Kaffeboiler	0,7 Liter Teeboiler
d	Gewindedurchmesser	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm
d_1	Kopfdurchmesser	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
d_w	Außendurchmesser der ebenen Kopfauflagefläche	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
D_A	Außendurchmesser der Dichtung	144,5 mm	183,7 mm	107,372 mm	107,372 mm
z	Anzahl der Schrauben	6	6	6	6
n	Krafteinleitungsfaktor	0,7	0,7	0,7	0,7
k_A	Anziehungsfaktor	1,4	1,4	1,4	1,4
S_K	Sicherheit für die Dichtung	2	2	2	2
A_N	Nennquerschnitt der Schraube	28,274 mm ²	28,274 mm ²	28,274 mm ²	28,274 mm ²
A_3	Kernquerschnitt	17,89 mm ²	17,89 mm ²	17,89 mm ²	17,89 mm ²
l_3	Länge der federnden Einzelemente der Schraube	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm
l_k	Klemmlänge	12 mm	12 mm	12 mm	12 mm
E_T	Elastizitätsmodul der verspannten Teile	$420 \frac{N}{mm^2}$	$420 \frac{N}{mm^2}$	$420 \frac{N}{mm^2}$	$420 \frac{N}{mm^2}$
E_S	Elastizitätsmodul des Schraubengewindes	$210000 \frac{N}{mm^2}$	$210000 \frac{N}{mm^2}$	$210000 \frac{N}{mm^2}$	$210000 \frac{N}{mm^2}$
A_{ers}	Querschnittsfläche eines Ersatzhohlzylinders mit der gleichen elastischen Nachgiebigkeit wie die der verspannten Teile	122,134 mm ²	122,134 mm ²	122,134 mm ²	122,134 mm ²
δ_T	elastische Nachgiebigkeit der verspannten Teile	$2,339^* \cdot 10^{-4} \frac{mm}{N}$	$2,339^* \cdot 10^{-4} \frac{mm}{N}$	$2,339^* \cdot 10^{-4} \frac{mm}{N}$	$2,339^* \cdot 10^{-4} \frac{mm}{N}$
δ_S	elastische Nachgiebigkeit der Schraube	$3,204^* \cdot 10^{-6} \frac{mm}{N}$	$3,204^* \cdot 10^{-6} \frac{mm}{N}$	$3,204^* \cdot 10^{-6} \frac{mm}{N}$	$3,204^* \cdot 10^{-6} \frac{mm}{N}$
Φ	Kraftverhältnis $\frac{F_{BS}}{F_B}$	0,691	0,691	0,691	0,691
f_z	Setzbetrag	0,01 mm	0,01 mm	0,01 mm	0,01 mm
F_z	Vorspannkraftverlust infolge Setzens im Betrieb	42,169 N	42,169 N	42,169 N	42,169 N

F_{Qges}	Gesamtquerkraft von der Schraubenverbindung aufzunehmende, senkrecht zur Schraubenachse gerichtete Kraft	2,363 kN	3,375 kN	10 kN	10 kN
F_{Bges}	Gesamtbetriebskraft in Längsrichtung der Schraube	3,167 kN	5,606 kN	7,354 kN	7,354 kN
F_{Kl}	Klemmkraft, die für Dichtfunktionen, Reibschluss und Verhinderung des einseitigen Anhebens an der Trennfuge erforderlich ist	2,625 kN	3,75 kN	11,111 kN	11,111 kN
F_{VM}	Montagevorspannkraft	3,963 kN	5,714 kN	16,146 kN	16,146 kN

Im Folgenden Kapitel werden die Dichtungen für die Boiler ausgelegt.

3.7 Dichtungsauslegung

Die Dichtung wird zwischen dem verschweißten Flansch und dem zu verschraubenden Deckel bei jedem einzelnen Boiler platziert. Um das ungewollte austreten von Flüssigkeiten zu gewährleisten, wird die Dichtung gegen Fließen berechnet, da ab der Fließgrenze ein Werkstoff beginnt sich plastisch zu verformen [10].

Das für die Dichtung verwendete Material PTFE besitzt eine Fließgrenze von $10 \frac{N}{mm^2}$ [11]. Die gewählte Wandstärke der Dichtung sind 2 mm. Die Vorspannkraft ist aus dem Kapitel 3.8 zu entnehmen.

Mit der Formel aus [12] lässt sich die Spannung ermitteln:

$$\sigma = \frac{F_{VM}}{A_D} \quad (26)$$

Die berechneten Ergebnisse stehen in Tabelle 15.

Tabelle 15: Ergebnisse aller Spannungen der Dichtungen

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
s	Wandstärke	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm
A_D	Auflagefläche	0,007 m ²	0,01 m ²	0,005 m ²	0,005 m ²
F_{VM}	Montagevorspannkraft	3,963 kN	5,714 kN	16,146 kN	16,146 kN
σ	Vorhandene Spannung	$0,567 \frac{N}{mm^2}$	$0,587 \frac{N}{mm^2}$	$3,086 \frac{N}{mm^2}$	$3,086 \frac{N}{mm^2}$

Zu erkennen ist, dass die vorhandenen Spannungen unter der 1% Fließgrenze des Materials liegen und somit eine plastische Verformung der Dichtungen auszuschließen ist.

Anschließend werden nun die Flansche für die Boiler dimensioniert.

3.8 Flanschauslegungsberechnung

An den Boilern befinden sich jeweils zwei Flansche. Einer der am jeweiligen Zylinder der Boiler verschweißt ist und der andere der als Deckel an den Boiler verschraubt wird. Somit werden die Minstdicken des verschweißten als auch die des verschraubten Flansches berechnet.

Die folgenden Berechnungen für den verschweißten Flansch, stammen aus [4] Tabelle 4.9 B8. Zuerst wird der Flanschwiderstand W für den Betrieb folgt berechnet:

$$W = \frac{F_{SB}}{\frac{K}{S}} * a \quad (27)$$

Der Hebelarm der Schraubkraft für den Prüf- und Betriebszustand geht hierbei mit dem Faktor a ein.

Der Flanschwiderstand für den Einbau lässt sich jedoch mit der folgenden Formel ermitteln:

$$W = \frac{F_{DV}}{\frac{K}{S'}} * a_D \quad (28)$$

Für die Berechnung der Flanschdicke spielen ebenso die Variable Z^* als auch die Breite b eine Rolle.

Z^* lässt sich wie folgt berechnen:

$$Z^* = (d_i + s_1) * \quad (29)$$

Die Breite b erfolgt aus der Formel:

$$b = d_{a,Flansch} - d_2 - 2 * d'_L \quad (30)$$

Der korrigierte Schraubenlochdurchmesser d'_L setzt sich aus $d'_L = v * d_L$ zusammen. Der Faktor v lässt sich aus der Gerade, die in Bild 2 dargestellt ist abhängig vom Innendurchmesser ablesen.

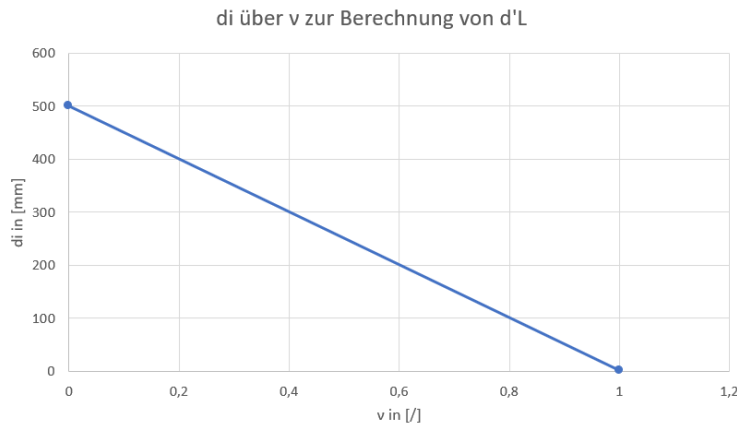


Abbildung 6: di über v

Die gesuchte Flanschdicke lässt sich nun mit den vorher berechneten Werten wie folgt berechnen:

$$h_{f.fest} = \sqrt{\frac{1,42 * W - Z^*}{b}} \quad (31)$$

Die Ergebnisse für alle Boiler Varianten sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 16: Ergebnisse aller Mindestdicken der verschweißten Flansche für alle Boiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
s_1	Zylinderwanddicke	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm
d_2	Flanschinnendurchmesser	114,3 mm	154 mm	77 mm	77 mm
v	Verschwächungsfaktor	0,778	0,698	0,852	0,852
a	Hebelarm der Schraubenkraft für den Prüf- und Betriebszustand	8,674 mm	8,674 mm	8,693 mm	8,693 mm
b	Breite zur Berechnung der Mindestdicke	22,366 mm	23,319 mm	21,471 mm	21,471 mm
W	Flanschwiderstand im Betrieb	20,279 mm ³	30,661 mm ³	76,964 mm ³	76,964 mm ³
W	Flanschwiderstand im Einbau	949,099 mm ³	2062 mm ³	1182 mm ³	1182 mm ³
Z^*	Hilfswert	288,512 mm ²	390,144 mm ²	193,024 mm ²	193,024 mm ²
$d_{a.Flansch}$	Außendurchmesser vom Flansch	146 mm	185,7 mm	108,7 mm	108,7 mm
$h_{f.fest}$	Mindestdicke vom verschweißten Flansch im Einbau	5,882 mm	6,0 mm	6,0 mm	6,0 mm

Für den aufgeschraubten Flansch gilt nach [13] Abs. 8.4.12, dass die erforderliche Dicke $h_{f.lose}$ nach der Formel aus [13] Abs. 8.4.6 Gleichung 30 analog zu einem Losflansch berechnet wird:

$$h_{f.lose} = \sqrt{1,27 * \frac{W}{b}} \quad (32)$$

Der Flanschwiderstand W im Einbau und Betrieb, als auch die Breite b können aus der Berechnung für den verschweißten Flansch aus dem Kapitel 3.10 übernommen werden.

Zusätzlich gilt nach [13] Abs. 8.4.12, dass das Gewinde auf Abscheren wie folgt überprüft wird:

$$\frac{K}{S} \geq \frac{2 * F_{SB}}{h_{f.lose} * \pi * d_F} \quad (33)$$

Das Verhältnis von $\frac{K}{S}$ wird aus dem Kapitel 3.8.2 entnommen und F_{SB} lässt sich durch die bereits erwähnte Formel (12) ermittelt.

Die jeweiligen Variablen und berechneten Flanschkicken für den Losflansch sind in Tabelle 17 zusammengefasst

Tabelle 17: Ergebnisse aller Mindestdicken der verschraubten Flansche für alle Boiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
a_D	Hebelarm der Schraubenkraft für den Einbauzustand	1,1574 mm	2,457 mm	2,613 mm	2,613 mm
$\frac{K}{S}$	Zulässige Spannung	$360 \frac{N}{mm^2}$	$360 \frac{N}{mm^2}$	$360 \frac{N}{mm^2}$	$360 \frac{N}{mm^2}$
$\frac{2 * F_{SB}}{h_{f.lose} * \pi * d_F}$	Bruch aus Formel (24) ausgerechnet	$0,781 \frac{N}{mm^2}$	$0,872 \frac{N}{mm^2}$	$2,959 \frac{N}{mm^2}$	$2,959 \frac{N}{mm^2}$
d_F	Flankendurchmesser	114,3 mm	154 mm	77 mm	77 mm
$h_{f.lose}$	Mindestdicke vom verschraubten Flansch im Einbau	6,0 mm	6,0 mm	6,0 mm	6,0 mm

Da der höchste Wert für die Mindestdicke der Flansche 6,0 mm beträgt, wird für die Flanschkicken aller Boiler 6 mm gewählt.

Nachfolgend werden die Isolierungsdicken für eine gute Isolierung der Boiler berechnet.

3.9 Isolierungsauslegung

Zur Beurteilung wie gut eine Isolierung ist, spielt die Temperatur außerhalb der Isolierung die entscheidende Rolle. Hierfür wird erstmals eine Isolierungsdicke von 20 mm festgelegt. Die konkreten Rechenschritte können im Anhang (25) nachgeschlagen werden. Die errechneten Werte sind in Tabelle 18 festgehalten.

Tabelle 18: Ergebnisse der Temperatur außerhalb der Isolierung für alle Boiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeboiler
λ_s	Wärmeleitfähigkeit des X2CrNiMo 17-12-2	$15 \frac{W}{mK}$	$15 \frac{W}{mK}$	$15 \frac{W}{mK}$	$15 \frac{W}{mK}$
λ_I	Wärmeleitfähigkeit der Isolierung bei 40°C Mitteltemperatur	$0,045 \frac{W}{mK}$	$0,045 \frac{W}{mK}$	$0,045 \frac{W}{mK}$	$0,045 \frac{W}{mK}$
T_i	Maximale Temperatur auf der Innenseite	403,15 K	403,15 K	403,15 K	403,15 K
T_a	Temperatur auf der Außenseite	293 K	293 K	293 K	293 K
α_i	Wärmeübergangszahl Wasser im Kessel	$1140 \frac{W}{m^2K}$	$1140 \frac{W}{m^2K}$	$1140 \frac{W}{m^2K}$	$1140 \frac{W}{m^2K}$
α_a	Wärmeübergangszahl Luft ruhend	$174 \frac{W}{m^2K}$	$174 \frac{W}{m^2K}$	$174 \frac{W}{m^2K}$	$174 \frac{W}{m^2K}$
$s_{\text{Isolierung}}$	Isolierungsdicke	20 mm	20 mm	20 mm	20 mm
r_1	Innenradius Zylinder	55,55 mm	75,4 mm	36,9 mm	36,9 mm
r_2	Außenradius Zylinder	57,15 mm	77 mm	38,5 mm	38,5 mm
r_3	Außenradius Zylinder mit Isolierung	77,15 mm	97 mm	58,5 mm	58,5 mm
R_{thges}	Thermischer Widerstand	$5,785 \frac{K}{W}$	$4,1 \frac{K}{W}$	$9,144 \frac{K}{W}$	$12,817 \frac{K}{W}$
Q	Wärmestrom	19,042 W	26,867 W	12,047 W	8,594 W
T_1	Temperatur Boiler Innenwand	402,893 K	402,904 K	402,872 K	402,872 K
T_2	Temperatur Boiler Außenwand	402,862 K	402,874 K	402,839 K	402,839 K
T_3	Temperatur Isolierung außen	294,214 K	294,254 K	294,149 K	294,149 K

Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer Isolierungsdicke von 20 mm die Außentemperatur an der Isolierung lediglich um 1,214 K größer ist, als die äußere Umgebungstemperatur des Boilers. Somit ist die Isolierung ausreichend dimensioniert.

Im nächsten Schritt werden die Schweißnähte zwischen Boden und Zylinder, sowie Flansch und Zylinder ausgelegt.

3.10 Schweißnahtauslegung

Wie bereits erwähnt, existieren am Boiler zwei Schweißnähte. Diese werden nach [16], aber auch nach [17] ausgelegt.

Die vorhandenen Spannungen lassen sich mit der folgenden Formel aus [16] berechnen:

$$\sigma = \frac{F}{a * L} \quad (34)$$

Wobei die Kraft F sich aus dem Produkt der belasteten Fläche und dem vorhandenen Prüfdruck zusammensetzt. Somit gilt für die Kraft F:

$$F = p_{\text{Prüfdruck}} * \pi * \left(\frac{d_i}{2}\right)^2 \quad (35)$$

Die dabei zulässige Spannung σ_w folgt ebenso aus [16] mit:

$$\sigma_w = \frac{\alpha_w * R_e}{\gamma_M} \quad (36)$$

Aus dem Verhältnis von $\frac{\sigma_w}{\sigma}$ ergibt sich die Sicherheit S, die jeweils für alle Boiler in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst ist.

Tabelle 19: Schweißnaht Sicherheiten aller Boiler

Kenngröße	Beschreibung	beide 1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
a	Schweißnahtdicke	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm
d_i	Innendurchmesser	111,1 mm	150,8 mm	73,8 mm	73,8 mm
L	Nahtlänge	114,3 mm	154 mm	77 mm	77 mm
σ	vorhandene Spannung	$17,891 \frac{N}{mm^2}$	$24,464 \frac{N}{mm^2}$	$69,442 \frac{N}{mm^2}$	$69,442 \frac{N}{mm^2}$
σ_w	zulässige Spannung	$120,218 \frac{N}{mm^2}$	$120,218 \frac{N}{mm^2}$	$120,218 \frac{N}{mm^2}$	$120,218 \frac{N}{mm^2}$
S	Sicherheit	6,72	4,914	1,731	1,731

Zu erkennen ist, dass alle berechneten Sicherheiten größer als 1,5 sind und somit hält die ausgelegte Schweißnaht. Nachfolgend werden die Konzepte der verschiedenen Heizelemente erläutert.

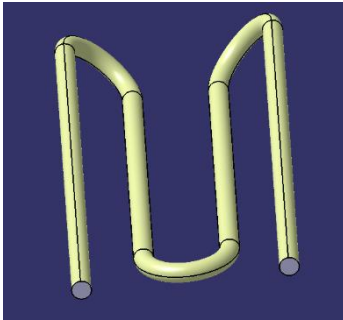
3.11 Heizelemente

Um das Wasser in den Boilern auf die gewünschte Temperatur zu bekommen, werden in den Boilern Heizelemente verbaut. Diese werden für den Dampf-, Kaffee-, Tee- als auch für den Borosilikatboiler benötigt und nun im Folgenden näher erläutert.

3.11.1 Heizelemente der Dampf-, Kaffee- und Teeboiler

~~Zuerst werden die Heizelemente der Dampf-, Kaffee- als auch Teeboiler betrachtet.~~

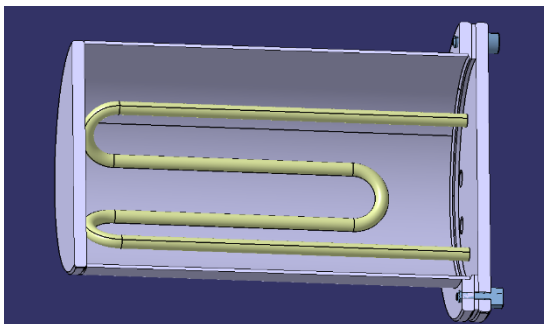
~~3.11.1.1 Konzepte der Heizelemente von Dampf-, Kaffee- und Teeboiler~~



Für die Heizelemente stehen Rohre mit dem Durchmesser von 6,5 mm zur Verfügung. Dieses Rohr wird wie in Abbildung 7 dargestellt gebogen, um möglichst viel Wasser gleichmäßig erwärmen zu können und damit das Heizelement in den entsprechenden Boilern Platz findet. Dabei liegt das Heizelement nicht in einer Ebene, sondern wird ungefähr an die Form des Boilerzylinders angepasst. Für Boiler die Wasserwendeln benötigen, werden diese in die erzeugte Mulde des Heizelementes gelegt. Das hat den Vorteil, dass das Heizelement, das in der Wasserwendel enthaltene Wasser kontinuierlich beheizt.

Abbildung 7: Heizelement der Boiler

Die nachfolgenden Abbildungen 8-12 zeigen die in Gelb gefärbten verschiedenen Heizelemente der vier Boiler Varianten.



Die Geometrie der Heizelemente der hier genannten Boiler ist im Wesentlichen dieselbe. Die Unterschiede bestehen lediglich in den Maßen der jeweiligen Heizelemente.

Abbildung 8: Heizelement 1,8 Liter Dampfboiler mit 1400 W

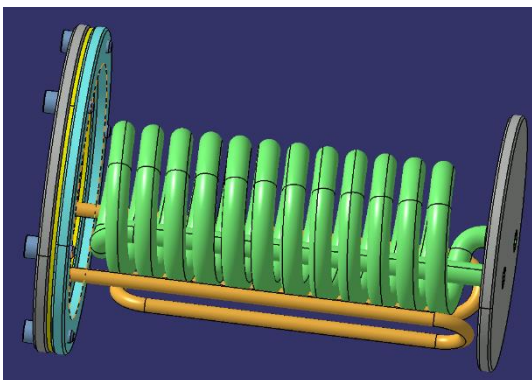


Abbildung 9: Heizelement mit Wasserwendel 1,8 Liter Dampfboiler mit 1200 W

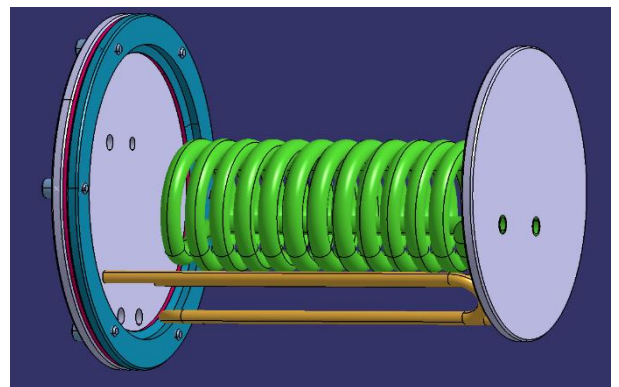


Abbildung 10: Heizelement mit Wasserwendel 3,6 Liter Dampfboiler

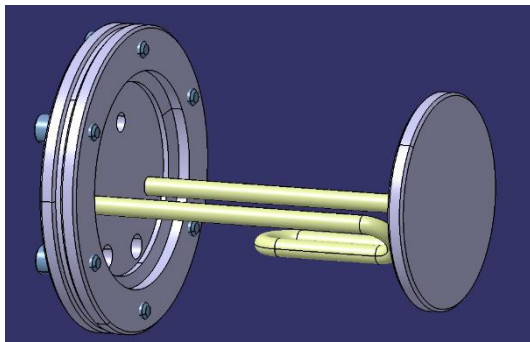


Abbildung 12: Heizelement des Kaffeeboilers

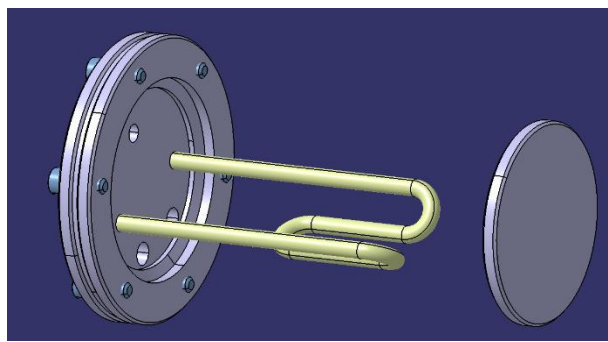


Abbildung 11: Heizelement des Teeboilers

Im Anschluss daran, folgen nun die Daten zur Auslegungsberechnung der Heizelemente von Dampf-, Kaffee- und Teeboiler.

3.11.1.2 Auslegungsberechnung der Heizelemente von Dampf-, Kaffee- und Teeboiler

Für die Auslegung der Heizelemente wird zuerst berechnet wie lang die Heizelemente sein müssen, um die geforderten Leistungen zu erreichen. Hierfür zählt die Außenfläche des Rohres, welches der Mantelfläche eines Zylinders entspricht und sich wie folgt berechnen lässt:

$$M = 2 * h * r * \pi \quad (37)$$

Da von 10 Watt pro Quadratzentimeter ausgegangen wird, lässt sich daraus die erforderliche Höhe des Rohres berechnen. Jedoch gilt es bei der Konstruktion zu beachten, dass das Heizelement keinen Radius der kleiner als 18 mm ist. Zudem wurde darauf geachtet, dass der unbeheizte und beheizte Bereich des Heizelements vor einer Biegung mind. 15 mm beträgt.

Die Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 21 einzusehen.

Tabelle 20: Daten der Heizelemente aller Dampf-, Tee- und Kaffeeboiler

Beschreibung	1,8 Liter Dampfboiler	1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler	0,7 Liter Teeboiler	0,5 Liter Kaffeeboiler
Leistung aus dem Hydraulikplan	1400 W	1200 W	1600 W	700 W	700 W
Umgesetzte Leistung	1400 W	1457 W	1599 W	700 W	700 W
unbeheizter Bereich bis zur Außenseite des Deckels	15 mm	15 mm	15 mm	20 mm	20 mm
Mindest erforderliche Beheizte Gesamtlänge	685,6 mm	587,7 mm	783,6 mm	342,8 mm	342,8 mm
Umgesetzte beheizte Gesamtlänge	685,6 mm	713 mm	783 mm	342,8 mm	342,8 mm

Im Anschluss daran wird nun die Heizwendel für den 3 Liter Borosilikatboiler beschrieben.

3.11.2 Heizwendel für den Borosilikatboiler

~~In diesem Abschnitt wird wie bereits erwähnt auf die Heizwendel des Borosilikatboilers eingegangen. Hierbei wird das Konzept der Heizwendel, sowie die dafür erforderliche Auslegungsberechnung vorgestellt.~~

~~3.11.2.1 Konzept der Heizwendel für den Borosilikatboiler~~

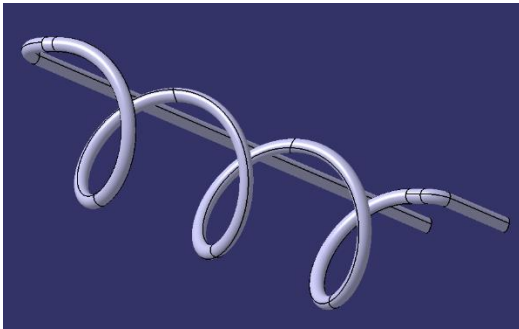


Abbildung 13: Heizwendel des Borosilikatboilers

Die Geometrie des Heizelements des Borosilikatboilers unterscheidet sich mit denen der restlichen Boiler, da diese in Form einer Wendel konstruiert ist. Das hat den Hintergrund, dass der Borosilikatboiler aus Borosilikat besteht und somit in den Boiler hineingesehen werden kann. Jedoch ist die Entscheidung der Form des Heizelements als Wendel nicht nur aus ästhetischen Gründen gefallen, sondern hat auch den Hintergrund, dass die in der Heizwendel liegende Wasserwendel dadurch noch gleichmäßiger beheizt wird.

Diese Lösung ist jedoch nur für den 3 Liter Borosilikatboiler realisierbar, da die kleineren Variante mit 1,5 Liter nicht den dafür notwendigen Durchmesser besitzt. Für die Berechnung der Rohrlänge wurde wie nach der Formel (37) vorgegangen. Im Unterschied zum Abschnitt 3.11.1.2 wird bei der Heizwendel die Abwickellänge der Helix zusätzlich benötigt. Hierfür wurden zuerst die Steigung, der Durchmesser und der Umdrehungswinkel der Helix festgelegt um im Anschluss daran mit [17] die Abwickellänge der Helix zu berechnen. Für die Heizwendel gelten dieselben Regeln bezüglich der maximalen Biegeradien und der unbeheizten Bereiche wie in Abschnitt 3.11.1.2.

Im nächsten Abschnitt wird erläutert, wie die festgelegten Maße der Heizwendel entstanden sind.

3.11.2.2 Auslegungsberechnung der Heizwendel für den Borosilikatboiler

Auch für die Heizwendel spielt hauptsächlich die geforderte Heizleistung und somit die Länge der Heizwendel eine entscheidende Rolle. Für die Berechnung der Rohrlänge wurde wie nach der Formel (37) vorgegangen. Im Unterschied zum Abschnitt 3.11.1.2 wird bei der Heizwendel die Abwickellänge der Helix zusätzlich benötigt. Hierfür wurden zuerst die Steigung, der Durchmesser und der Umdrehungswinkel der Helix festgelegt um im Anschluss daran mit [17] die Abwickellänge der Helix zu berechnen. Für die Heizwendel gelten dieselben Regeln bezüglich der maximalen Biegeradien und der unbeheizten Bereiche wie in Abschnitt 3.11.1.2.

In Tabelle 22 sind die festgelegten bzw. berechneten Daten festgehalten.

Tabelle 21: Daten zur Heizwendel des Borosilikatboilers

Beschreibung	Borosilikatboiler
Leistung aus dem Hydraulikplan	1200 W
Umgesetzte Leistung	1864 W
Anzahl an Windungen	3
Steigung der Helix	75 mm
Höhe der Helix	225 mm
Radius der Helix	30 mm
Abwickellänge der Helix	608,61 mm
unbeheizter Bereich bis zur Außenseite des Deckels	15 mm
Mindest erforderliche Beheizte Gesamtlänge	587,7 mm
Umgesetzte beheizte Gesamtlänge	913 mm

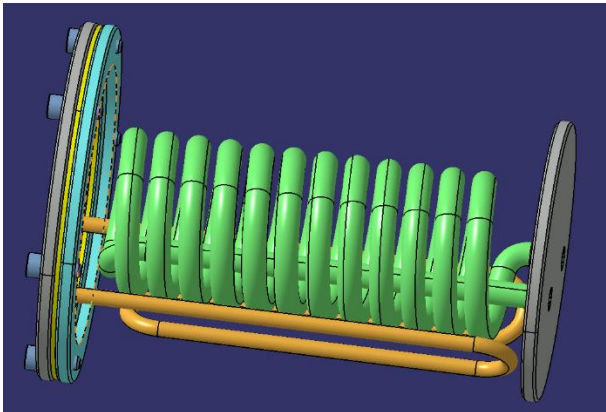
Im nun folgenden Abschnitt 3.12 wird auf die Wasserwendeln eingegangen.

3.12 Wasserwendelauslegung

~~3.12.1 Wasserwendeln für die Dampfboiler~~

~~Zuerst werden die Konzepte und die Auslegungsberechnung der Wasserwendel vorgestellt.~~

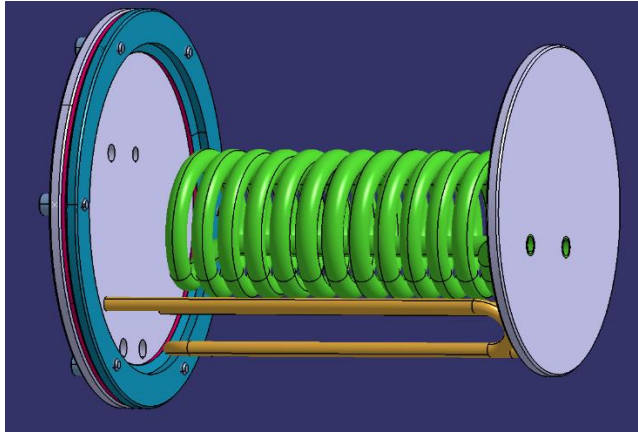
~~3.12.1.1 Konzepte der Wasserwendeln für die Dampfboiler~~



Für alle Wasserwendeln steht ein 10x1 Rohr zur Verfügung, bei dem ein Volumen von mind. 100 cm³ angestrebt wurde, da mit bis zu 60 cm³ Wasser für den Kaffeebezug und 20 cm³ für die Wasseraufnahme des Kaffees gerechnet werden muss. Die übrigen 20 cm³ bleiben für das Totvolumen und den Einschwingvorgang des Wassermischers. Die für den Boiler notwendige Wasserwendel wird wie bereits erwähnt in die Mulde des Heizelements wie in den Abbildungen 14 und 15 zu sehen ist, gelegt.

Abbildung 14: Wasserwendel mit Heizelement 1,8 Liter Dampfboiler

Da die Boiler mit 2/3 Wasser befüllt werden, werden die Wasserwendeln auch auf einer Höhe von 2/3 positioniert. Im Unterschied zum Heizelement, wird die Wasserwendel an den Boden des Boilers befestigt.



Zu erkennen ist, dass das Konzept vom 1,8 Liter Dampfboiler in Abbildung 14, dem 3,6 Liter Dampfboiler aus der Abbildung 15 sehr stark ähnelt. Der einzige Unterschied in den Abbildungen liegt in den Dimensionen der einzelnen Bauteile.

Abbildung 15: Wasservendel mit Heizelement 3,6 Liter Dampfboiler

3.12.1.2 Auslegungsberechnung der Wasserwendeln für die Dampfboiler

Das Volumen des Rohres wird mithilfe der Zylindervolumen Formel berechnet:

$$V = h * r^2 * \pi \quad (38)$$

Da das Wasser der Wasserwendel mithilfe einer Pumpe fließt, muss die Wasserwendel bis zu 16 bar Druck aushalten.

Die Daten der erreichten Wasservolumina und der relevanten Kennzahlen zur Wasserwendel Konstruktion sind in der nachfolgenden Tabelle 23 einzusehen.

Tabelle 22: Daten zu den Wasserwendeln des 1,8 und 3,6 Liter Dampfboiler

Beschreibung	1,8 Liter Dampfboiler	3,6 Liter Dampfboiler
Gewünschtes Zylindervolumen	0,2 Liter	0,2 Liter
Umgesetztes Zylindervolumen	0,127 Liter	0,127 Liter
Anzahl an Windungen	12	12
Steigung der Helix	13 mm	13 mm
Radius der Helix	30 mm	30 mm
Höhe der Helix	156 mm	156 mm
Abwickellänge der Helix	2267,32 mm	2267,32 mm
Mindest erforderliche Rohrlänge für das gewünschte Zylindervolumen	3979 mm	3979 mm
Umgesetzte Rohrlänge	2517 mm	2517 mm

Im nächsten Schritt wird die Vergleichsspannung nach der Gestalt-Energie-Hypothese und die kritische Beulspannung nach [20] berechnet.

Hierfür wird erstmal die Tangentialspannung bei Außendruck berechnet:

$$\sigma_t = -p_a * \frac{r_a^2}{r_a^2 - r_i^2} * \left(1 + \frac{r_i^2}{r_x^2} \right) \quad (39)$$

Die Radialspannung bei Außendruck lässt sich mithilfe der folgenden Formel ermitteln:

$$\sigma_r = -p_a * \frac{r_a^2}{r_a^2 - r_i^2} * \left(1 - \frac{r_i^2}{r_x^2}\right) \quad (40)$$

Anschließend erfolgt die Berechnung der Axialspannung mit der nun folgenden Formel:

$$\sigma_a = \frac{(p_i * r_i^2 - p_a * r_a^2)}{(r_a^2 - r_i^2)} \quad (41)$$

Daraus lässt sich nun die Vergleichsspannung wie folgt berechnen:

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_t^2 + \sigma_r^2 + \sigma_a^2 - \sigma_t * \sigma_r - \sigma_r * \sigma_a - \sigma_a * \sigma_t)} \quad (42)$$

Da es sich um ein dünnwandiges Rohr handelt wird nun noch die kritische Beulspannung berechnet.

Hierfür wird zuerst der kritische Beuldruck berechnet:

$$p_{a,kr} = \left[\frac{E}{4 * (1 - \nu^2)} \right] * \left(\frac{s^3}{r} \right) \quad (43)$$

Im Anschluss daran erfolgt die Berechnung des zulässigen Außendrucks:

$$p_{a,zul} = \frac{p_{a,kr}}{S} \quad (44)$$

In der nachfolgenden Tabelle 23 sind die Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 23: Spannungen der Wasserwendeln

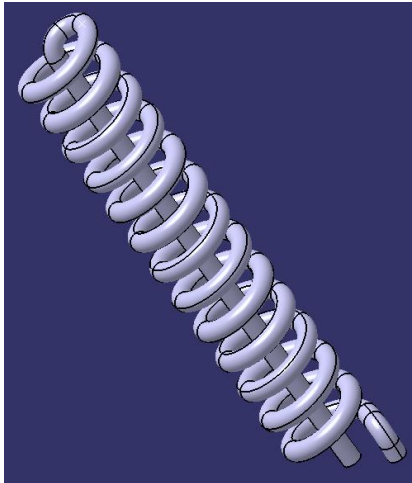
Kenngröße	Beschreibung	Wasserwendel
r_i	Radius Innenwand	4 mm
r_a	Radius Außenwand	5 mm
E	Elastizitätsmodul	$210000 \frac{N}{mm^2}$
ν	Querdehnungszahl	$0,3 \frac{N}{mm^2}$
s	Wanddicke	1 mm
S	Sicherheit	3
σ_a	Axialspannung	$-0,938 \frac{N}{mm^2}$
σ_r	Radialspannung	$-0,197 \frac{N}{mm^2}$
σ_t	Tangentialspannung	$-1,678 \frac{N}{mm^2}$
σ_v	Vergleichsspannung	$1,283 \frac{N}{mm^2}$
$p_{a,kr}$	kritischer Beuldruck	$9,014 * 10^6 \frac{N}{mm^2}$
$p_{a,zul}$	zulässiger Außendruck	$3,005 * 10^6 \frac{N}{mm^2}$

Die Ergebnisse zeigen, dass der zulässige Außendruck unter dem kritischen Beuldruck liegt und die Vergleichsspannung unter der zulässigen Spannung liegt.

Im nächsten Schritt wird das Konzept und die Auslegungsberechnung der Wasserwendel für den 3 Liter Borosilikatboiler erläutert.

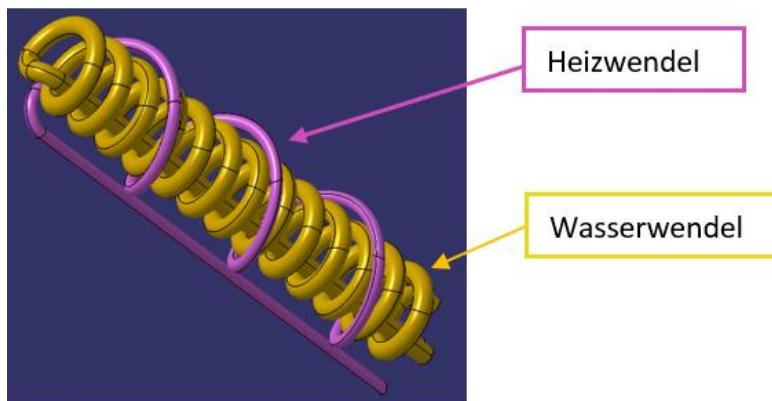
3.12.2 Wasserwendel für den Borosilikatboiler

3.12.2.1 Konzept der Wasserwendel für den Borosilikatboiler



Die Wasserwendel des Borosilikatboilers hat im Unterschied zu denen der Dampfboiler ein kleineres Zylindervolumen und somit weniger Wasser in der Wasserwendel zur Verfügung. Das liegt daran, dass der Durchmesser und die Heizwendel des Borosilikatboilers den Durchmesser der Wasserwendel beeinflussen. In Abbildung 16 ist die Wasserwendel des Borosilikatboilers zu sehen.

Abbildung 16: Wasserwendel des Borosilikatboilers



In der nebenstehenden Abbildung 17 ist das Prinzip der Kombination aus Heiz- und Wasserwendel des Borosilikatboilers veranschaulicht.

Abbildung 17: Wasser- und Heizwendel des Borosilikatboilers

Im nächsten Schritt erfolgt die Auslegungsberechnung der Wasserwendel für den Borosilikatboiler.

3.12.2.2 Auslegungsberechnung der Wasserwendel für den Borosilikatboiler

Die Errechnung der Maße für die Wasserwendel des Borosilikatboilers erfolgen ebenfalls wie in Abschnitt 3.12.1.2.

Die dabei errechneten und festgelegten Werte sind in Tabelle 24 einzusehen.

Tabelle 24: Daten zur Wasserwendel des Borosilikatboilers

Beschreibung	Borosilikatboiler
Gewünschtes Zylindervolumen	0,1 Liter
Umgesetztes Zylindervolumen	0,1 Liter
Anzahl der Windungen	13
Steigung der Helix	20 mm
Höhe der Helix	260 mm
Radius der Helix	30 mm
Abwickellänge der Helix	1654,19 mm
Mindesterforderliche Rohrlänge für das gewünschte Zylindervolumen	1989 mm
Umgesetzte Rohrlänge	1986 mm

Im nächsten Schritt wird die Vergleichsspannung nach der Gestalt-Energie-Hypothese und die kritische Beulspannung nach den Formeln aus Kapitel berechnet. Die Ergebnisse entsprechen denen aus 3.12.1.2.

Im Anschluss daran, erfolgt die Zusammenfassung und der Ausblick aller Boiler mit Isolierung.

4 Zusammenfassung und Ausblick der Druckbehälter mit Isolierung

Zusammenfassend wurden fünf Boiler mit unterschiedlichen Volumina mit ihren Dichtungen, Deckel, Boden, Boilerzylinder, Flansch, Schrauben, Isolierungen und Heizelemente sowie Wasserwendeln in den letzten Kapiteln konstruiert und ausgelegt. Die Isolierung der Boiler wurde aus Armaflex mit 20 mm Dicke ausgelegt, die Konstruktion hierzu fehlt derzeit. Die genannten Boiler funktionieren nach den Hydraulikplänen aus den Anhängen 01-04. Es existieren an den Boiler je nach Boilerart die vier unterschiedlichen Anschlüsse für den Wasser Ein- und Ausgang, die Befestigung der Heizelemente, die Befestigung der Wasserwendel, ein Einschraubtemperaturfühler sowie den Füllstandsensoren. Die Heizelemente werden mithilfe eines Einbaunippels aus Abbildung 4 der an das Heizelement geschweißt oder gelötet wird befestigt. Für den Wasser Ein- und Auslauf dienen Elsa Anschlüsse aus der Abbildung 2.

Die tatsächliche Länge der Wasserwendel müsste idealerweise über Versuche geklärt werden, mit dem Hintergrund das die Wasseraustrittstemperatur nahe der Boilertemperatur ist. Zusätzliche müsste die Geometrie des Querschnitts ausprobiert werden, da Wasser kein guter Wärmeleiter ist und eine schnelle Wärmeleitung eine große Oberfläche benötigt.

Die Heizelemente wurden mit 10 Watt pro cm^2 ausgelegt, sollen nun jedoch laut dem Lieferanten auf 7 Watt pro cm^2 erfolgen. Zusätzlich muss der unbeheizte Bereich mindestens 30 mm betragen.

5 Literaturverzeichnis der Druckbehälter mit Isolierung

- [1] <https://www.die-kaffeeseite.de/kaffeeverbrauch.php> (abgerufen am 07.02.2020)
- [2] <https://www.stern.de/genuss/trinken/kaffeemaschinen-13-arten-seinen-kaffee-zu-bruechen-3886160.html> (aufgerufen am 07.02.2020)
- [3] 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
- [4] Wagner, Walter: Festigkeitsberechnungen im Apparate- und Rohrleitungsbau. 9. Aufl.. Vogel Communications Group GmbH & Co-Verlag, 2018. -ISBN 978-3-8343-3432-9. S. 1-182
- [5] AD 2000-Merkblatt B0 „Berechnung von Druckbehältern“ Ausgabe November 2014
- [6] AD 2000-Merkblatt B1 „Zylinder- und Kugelschalen unter innerem Überdruck“ Ausgabe Oktober 2000
- [7] AD 2000-Merkblatt B5 „Ebene Böden und Platten nebst Verankerungen“ Ausgabe September 2016
- [8] VERORDNUNG (EU) Nr. 801/2013 DER KOMMISSION vom 22. August 2013 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign- Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 642/2009 im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Fernsehgeräten
- [9] AD 2000-Merblatt B7 „Schrauben“ Ausgabe September 2016
- [10] <https://www.chemie.de/lexikon/Fließgrenze.html> (aufgerufen am 09.02.2020)
- [11] https://plasticker.de/recybase/docs/32662_1489389447.pdf (aufgerufen am 09.02.2020)
- [12] www.maschinenbau-wissen.de/skript3/mechanik/festigkeitslehre/151-spannung (aufgerufen am 09.02.2020)
- [13] AD 2000-Merkblätter B8 „Flansche“ Ausgabe Juni 2017
- [14] Wittel, Herbert; Muhs, Dieter; Jannasch, Dieter; Voßiek, Joachim: Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung. 10. Aufl.. Springer-Verlag, 2010. -ISBN 978-3-8348-1328-2. S. 1-295
- [15] Wittel, Herbert; Muhs, Dieter; Jannasch, Dieter; Voßiek, Joachim: Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch. 20. Aufl.. Springer-Verlag. -ISBN 978-3-8348-1454-8. S. 1-240
- [16] <https://www.schweizer-fn.de/maschinenelemente/schweissnaht/schweissverbindung.php> (abgerufen am 30.11.2019)
- [17] <https://www.alleberechnungen.com/geometrie/evoluten-helix.php> (abgerufen am 29.12.2019)
- [18] <https://www.theo-schrauben.de/blog/festigkeitsklasse-von-schrauben/> (aufgerufen am 18.11.2019)
- [19] Tritschler, Tobias: Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine, Hochschule München
- [20] <https://www.schweizer-fn.de/rohr/festigkeit/festigkeit.php#einbeulen> (aufgerufen am 29.12.2019)

6 Brühgruppe

6.1 Einleitung

Da die Arbeitspaket „Brühgruppe“ unabhängig von Hydraulikplänen ist, wurde er auf 3 Entwicklungsphasen aufgeteilt:

- Konzeptphase
- Entwurfphase
- Ausarbeitungsphase

6.2 Durchführung

6.2.1 Analyse der Aufgabenstellung, Erstellung eines Projektplans und der ToDo-Liste

Zuerst wird eine Analyse der Aufgabestellung durchgeführt und ein Arbeitspaket erstellt.

Für den Arbeitspaket Brühgruppe muss zuerst die Vorhandene Brühgruppekonstruktion analysiert.

Hierbei wird besonders auf die vollständige Erfüllung von technischen Anforderungen beachtet. Als nächstes wird die Konstruktion Konzepte entwickelt, bewertet und ausgewählt. Verbindungskonzept mit der Grundrahmen muss entwickelt konstruiert und ausgewählt werden. Die Konstruktion muss an die andere Baugruppen angepasst werden. Alle Verbindungselemente müssen mit den entsprechenden Berechnungen auf die Festigkeit überprüft werden. Konstruktion der Halteblech für die Brühgruppebefestigung musste der Platzraum für die Leitungen und Verbindungselemente vorhandeln sein.

Hieraus wird in Verbindung mit dem persönlichen Terminkalender ein Projektplan erstellt.

6.2.2 Abarbeitung der einzelnen Arbeitspakete

Nach der Analyse erfolgt die Abarbeitung der einzelnen Arbeitspakete der Abschlussarbeit. Hierbei werden sich unter Umständen Veränderungen im Projektlauf ergeben.

6.2.3 Dokumentation

Die Dokumentation ist ein wichtiger Bestandteil der Projektarbeit. Die Dokumentation wurde kontinuierlich entlang der Abarbeitung erstellt. Die ausgearbeiteten Aufgaben sind im „Tagebuch“ mit zugehörigen Arbeitsstunden abgebildet. Dazu sind die Konstruktionszeichnungen, Kaufteilekatalog und Montagepläne erstellt.

6.2.4 Rücksprachen

Durch den kontinuierlichen Kontakt zum Betreuer wurde sichergestellt, dass die Aufgabenstellung im Sinne des Aufgabenstellers erfolgt. Hierzu sind in zwei- maximal dreiwöchigen Abständen Rücksprachen mit dem Betreuer geplant. Die Tagesordnung der jeweiligen Rücksprache umfasst immer den aktuellen Stand des Projektplans sowie der ToDo-Liste. Für die jeweilige Rücksprache wurde eine Tagesordnung und ein kurzes Besprechungsprotokoll erstellt.

7 Hauptteil

7.1 Konzeptphase

Es wurde zuerst die Konstruktion von der Baumgruppe angeschaut von vorheriger Probearbeit. Gleich wurden neue Konzepte entwickelt und vorgestellt.

Bei der Rücksprache ist eine Lösung ausgewählt. Bei der weiteren Ausarbeitung sind konstruktive Probleme aufgetaucht, die weitere Arbeitsschritte nicht möglich gemacht haben. Deswegen es wurde entschieden ein neues Konzept zu entwickeln.

Folgende Konzept wurde für die Ausarbeitung ausgewählt.

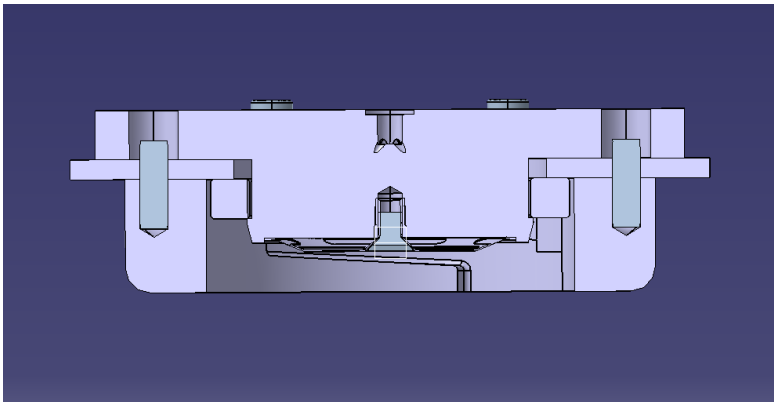


Abbildung 18: Brühgruppe Schnitt

Auf dem Abb.5 sieht man wie die Brühgruppe aufgebaut ist. Die Kunststoffeinheit ist von oben mit der Buchse aus Messing verbunden. Zwischen Kunststoffeinheit und Buchse befindet sich Stahlblech.

Um eine Verbindung zwischen Teile realisieren, werden Schrauben und Passstifte benutzt.

7.2 Entwurfsphase

Für die ausgewählte Konzept und weitere Ausarbeitungen müssen wir die Berechnungen durchführen, um die Konstruktion sicher Auslegen zu können.

Es wurde zusätzliche Kraftmessung im Labor durchgeführt, um die auftretenden Kräfte auf die Brühgruppe zu bestimmen.

Angenommen wir, dass Stahlblech hat 4 mm. Stärke

7.3 Kraftmessung

7.3.1 Messaufbau und Messmittel

7.3.2 Versuchsdurchführung

7.3.3 Theoretische Grundlagen

7.3.4 Ergebnisse

Die gemessene 400 N, die an die Messingteil wirken, ermöglichen die weitere Auslegung von Teilen durchzuführen.

7.4 Ausarbeitungsphase

Als weiteres schritt wurde, die Gesammelte Information zusammengefasst und weiterausgearbeitet. Es wurden alle Teile festgelegt. Auch werden alle Zeichnungen und Stücklisten erstellt. Zum Schluss ist die Dokumentation zum Projekt erstelt.

7.4.1 Ausgewählte Teile

7.4.2 Kostenschätzung

8 Zusammenfassung und Ausblick der Brühgruppe

Als Ergebnis der Projektarbeit „Entwicklung Konstruktion einer Esspressomaschiene“ wurde eine Kalte Brühgruppe entwickelt. Die gesamten Unterlagen für die Konstruktionszeichnungen, Kaufteilekatalog und Montagepläne erstellt. Als nächster Schritt muss der Kontakt mit Lieferanten aufgenommen werden. Dann können die Prototypenteile hergestellt werden.

9 Literaturverzeichnis der Brühgruppe

- [21] Wolf Dieter Pietruszka, MATLAB® und Simulink® in der Ingenieurpraxis, Springer Vieweg © Springer Fachmedien Wiesbaden 2005, 2006, 2012, 2014, ISBN 978-3-658-06419-8
- [22] Martin Werner, Digitale Signalverarbeitung mit MATLAB®, © Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2012, ISBN 978-3-8348-1473-9

10 Konstruktion Grundrahmen und Gehäuse

~~In den folgenden Kapiteln werden, die für die Konstruktion des Grundrahmens und Gehäuses relevanten Aspekte und Ergebnisse erläutert.~~

10.1 Einleitung Grundrahmen

Der Grundrahmen bildet das Hauptstück der Maschine. Hier werden ~~die Anzahl~~, Position und Anbindung der einzelnen Bauteile definiert.

Folgende Schnittstellen zum Grundrahmen sind bei der Entwicklung zu berücksichtigen und werden im nächsten Kapitel beschrieben:

- Wasserversorgung (Frischwasserzufuhr und Schmutzwasserabfuhr)
- Stromversorgung
- Pumpe und Motor
- Boiler (Teewasser und Dampf)
- Brühgruppe
- Abtropfschale
- Bedienung und Anzeigen
- Dampfzuleitung/ Teewasseranschluss
- Elektronik
- Sensorik

Als Vorlage dienen hierbei die vier Hydraulikpläne, die im Anhang 01-04 einzusehen sind. Außerdem werden Ergebnisse und Konstruktionen früherer Projektgruppen und Arbeiten [22,23] berücksichtigt.

Da Kaffee ein Lebensmittel ist, gelten für Kaffeemaschinen, durch die Lebensmittelbestimmungen strenge Vorschriften. Diese sind bei der Wahl der Werkstoffe zwingend zu berücksichtigen. Welche Stahlsorten mit Lebensmitteln in Berührung kommen dürfen sind in [24] festgelegt. In Frage kommen somit für diese Anwendung die Edelstahlsorten 1.4301, 1.4404. Diese zeichnen sich durch Lebensmittelfreundlichkeit und hohe Korrosionsbeständigkeit aus und sind somit sehr gut zu reinigen.

Als allgemeine Vorgabe gilt, die gesamte Länge der Maschine darf 55 cm nicht überschreiten, dies entspricht den Abmaßen von gängigen Arbeitsplatten. Des Weiteren soll die Maschinenbreite nicht unter 31,5 cm liegen. Zum Vergleich werden Referenzwerte von hochwertigen Maschinen wie *ECM Controvento*, *Dalla Corte Mina*, *Slayer* und *Beszena BZ99* hinzugezogen.

Von allen Einzelteilen werden 3D-Daten erstellt, aus denen wiederum 2D-Fertigungszeichnungen und Stücklisten abgeleitet werden. Diese werden als Grundlage für die Lieferantenrecherche und Auswahl verwendet.

In der vorangegangenen Arbeit [23] ist bereits ein erster Prototyp einer Labortechnischen Siebträgermaschine entwickelt worden. Hierbei handelt es sich um eine Mehrboiler- und -kreislauf Maschine. Der Grundrahmen ist hierbei aus *MayTech*-Profilen zusammengesetzt. Der Borosilikat-Boiler wurde parallel von einer weiteren Projektgruppe bearbeitet. Im Folgenden wird somit speziell auf die Konstruktion des Grundrahmens für die Zweikreis-Varianten, deren Hydraulikpläne im Anhang 01f. zu finden sind eingegangen. Hierbei wird sich zunächst auf das Konzept mit 3,6 Liter Volumen Boiler fokussiert, da dieser Boiler deutlich größer ist als bei der im Anhang 02 beschriebenen low-cost Variante und somit beide Varianten ermöglicht.

10.2 Dokumentation Grundrahmen

Um den benötigten gesamten Bauraum des Grundrahmens zu ermitteln wird zunächst eine vorläufige Stückliste mit allen bereits bekannten und benötigten Einzelteilen erstellt. Diese ist im Anhang 22 aufgeführt. Im Anschluss wird für alle Bauteile eine sogenannte Blackbox mit den zu erwartenden Abmessungen konstruiert. Diese wurden im Zuge des Projektes kontinuierlich angepasst und ergänzt. ~~Die Erstellung der 3D-Daten und anschließende Zeichnungsableitung erfolgte in Catia V5.~~ In Abbildung 19 ist der aktuelle Stand der 3,6l Zweikreis- Variante mit der Stückliste entsprechender Nummerierung aufgeführt. Hierauf wird in den nächsten Unterkapiteln Bezug genommen und die Positionierung, Anbindung und Funktion der einzelnen Komponenten beschrieben.

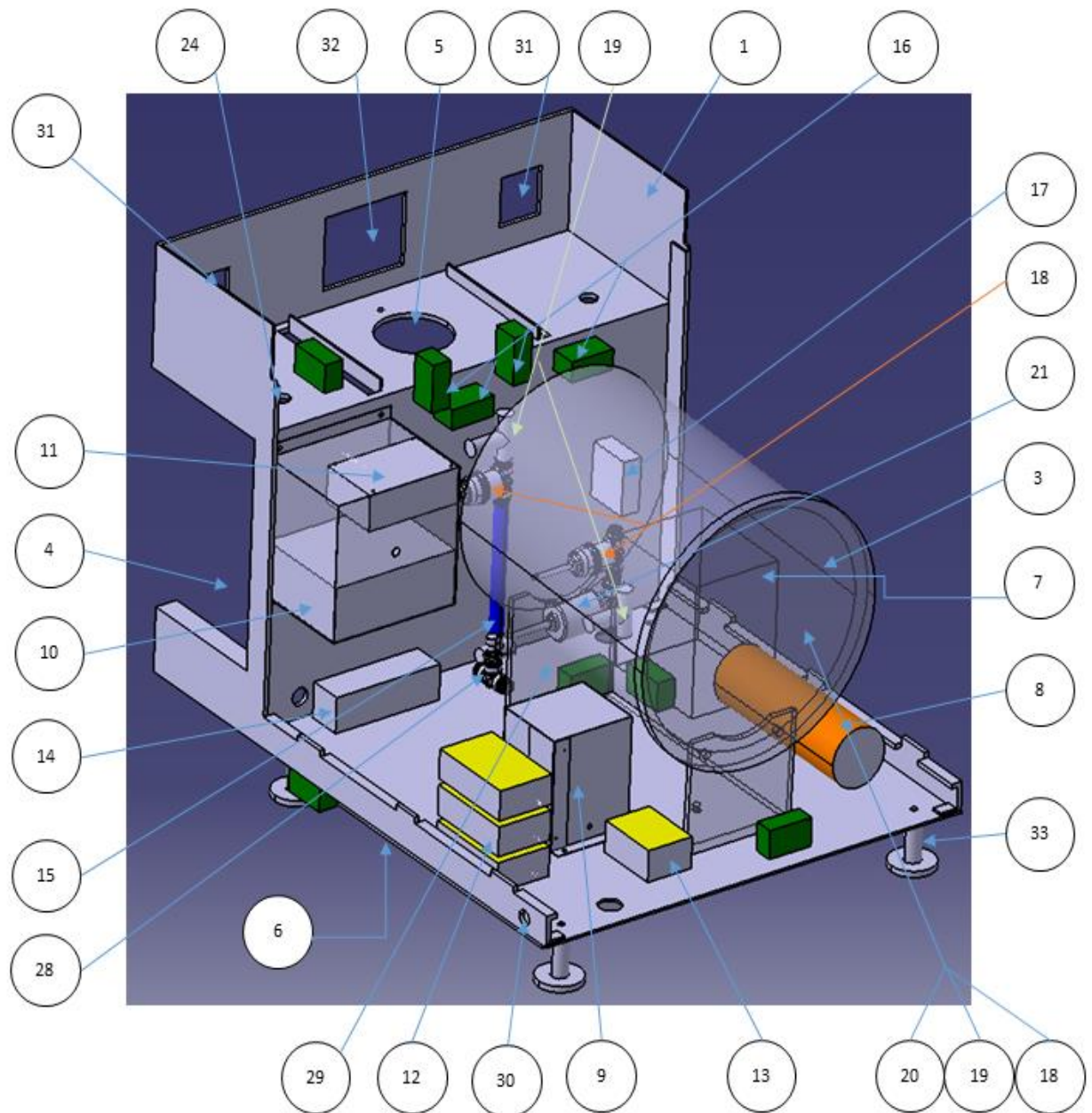


Abbildung 19: Blackbox Modell - Zweikreis 3,6l-Variante

10.2.1 Grundrahmen



Der Grundrahmen (1) wird, nach Vorgabe als Faltkonstruktion aus Edelstahl konstruiert. Der gesamte Rahmen kann hierbei aus einem Blech gefaltet werden. Zur Veranschaulichung ist das vereinfachte Faltschema sowie das fertig gefaltete Ergebnis in Abbildung 20 dargestellt und wird im Folgenden erläutert.

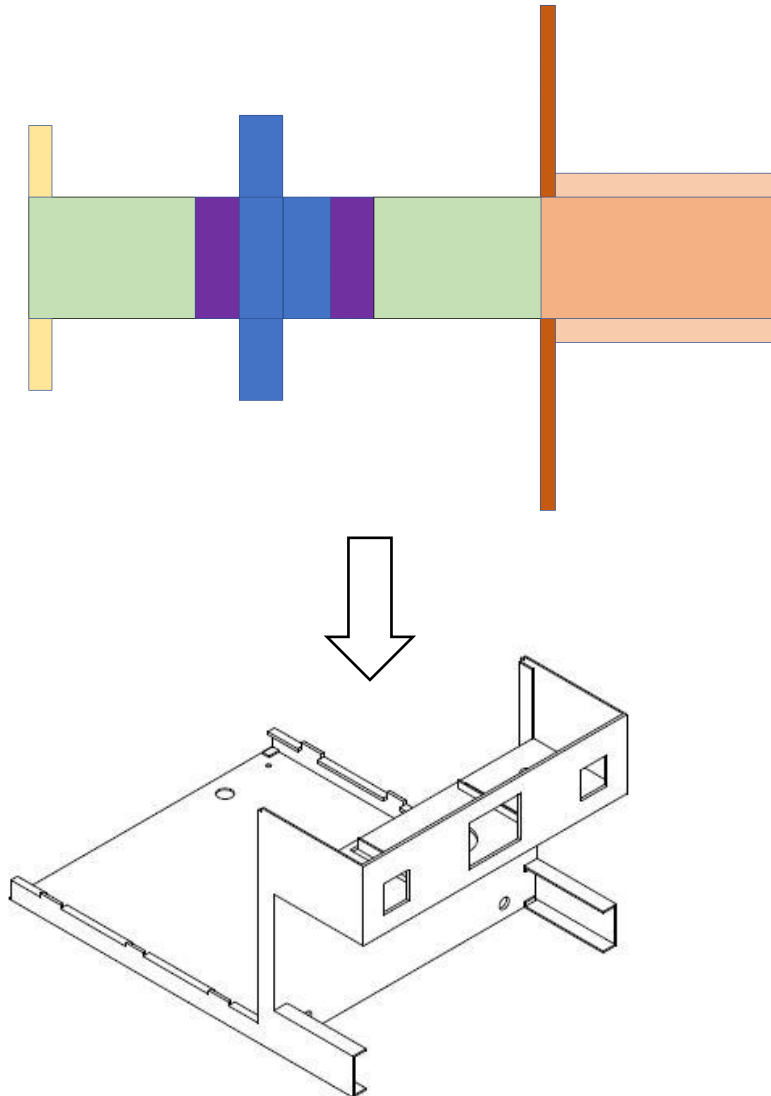


Abbildung 20: Faltschema Grundrahmen

Die gelben Flächen ergeben die Anbindung der Abtropfschale. Die senkrechten Frontseiten (grün und blau), sowie die horizontale Balkonfläche (violett) werden doppelt gefaltet. In diesem Bereich befindet sich die Anbindung der Brühgruppe. Durch die, beim Einspannen des Siebträgers, entstehenden Scherkräfte ist dies die höchstbelastete Stelle der Maschine. Der hintere Teil (orange) bildet die Bodenplatte und die Aufhängung des Gehäuses. Zur Verbesserung der Steifigkeit verbinden zwei senkrechte Leisten (rot) den hinteren und vorderen Teil des Grundgestells (vgl. Abb. 20). Die gesamte Zeichnung des Grundrahmens ist im Anhang 23 beigefügt.

Die einzelnen Flächen und Kanten werden an den Schweißstellen, per Punktschweißen, miteinander verbunden (vgl. Abb. 21). Da es beim Schweißen von Edelstahl zum Anlaufen und Verfärbungen kommen kann, ist hierbei darauf zu achten, dass diese Stellen von außen nicht sichtbar sind, bzw. vom Gehäuse verdeckt werden.

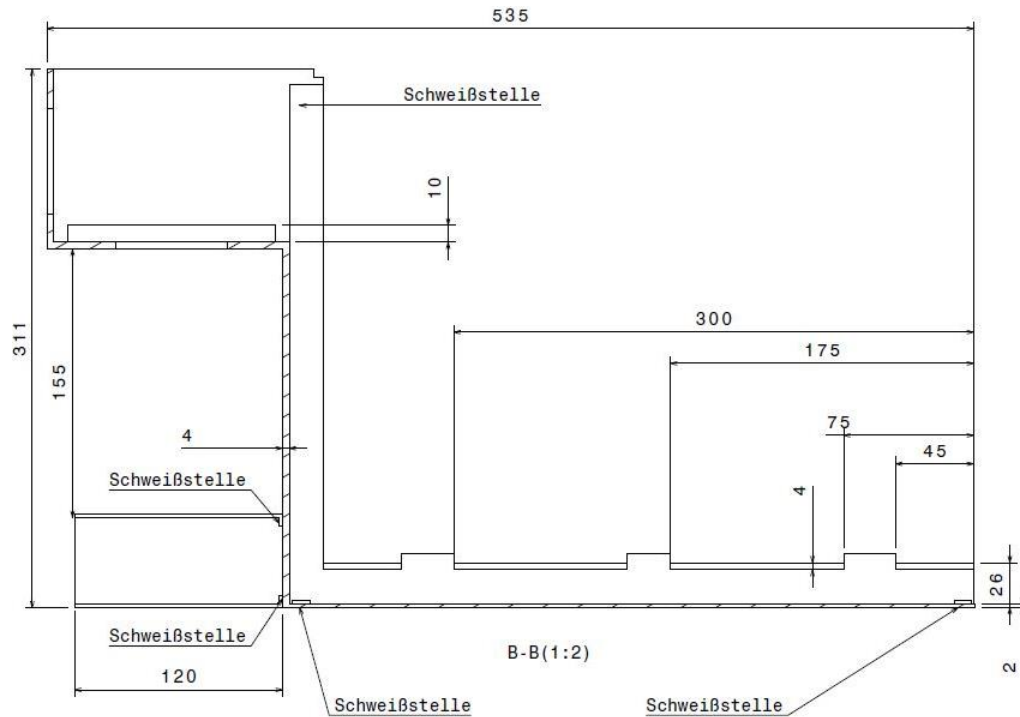


Abbildung 21: Schnittansicht B-B Grundrahmenzeichnung

10.2.2 Wasserversorgung

Die Wasserversorgung und –ableitung ist für einen Betrieb ohne sowohl als auch mit Festwasseranschluss konzipiert. Um eine Nutzung ohne Wasseranschluss zu gewährleisten muss ein Speicher für Frischwasser, sowie auch für Schmutzwasser, vorhanden sein. Für beides gilt als Referenzwert das Fassungsvermögen von vergleichbaren Produkten, was bei 2,5- 3,5 Litern liegt. Für den Betrieb am Festnetz wird zudem eine Entkalker-Patrone im Zulauf angeschlossen. Dies wird vorausgesetzt um das Verkalken als Versagenskriterium des Boilers und aller anderen Bauteile auszuschließen.

10.2.2.1 Frischwasser

Um den Betrieb der Maschine, auch ohne vorhandenen Festwasseranschluss zu gewährleisten, ist ein Frischwasserspeicher nötig. Bei den meisten Maschinen ist dieser als stehende Variante ausgeführt. Die Befüllung dieser Tanks erfolgt von oben. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Tank bis zur Oberkante der Maschine reichen muss, um ein problemloses Befüllen zu gewährleisten. Im Folgenden wurde ein Entwurf für eine liegende Variante des Wassertanks (6), der unter die Bodenplatte des Grundrahmens platziert wird, konzipiert.

Es handelt sich hierbei jedoch um eine Sonderanfertigung, deren Nutzen klar den entstehenden Kosten bei einer geringen Stückzahl gegenübergestellt werden muss. Der Tank kann aus Kunststoff oder auch aus Blech gefertigt werden. Bei der Auswahl des Werkstoffes ist zwingend auf Lebensmittelfreundlichkeit zu achten. Er hat ein Volumen von drei Litern (vgl. Abb. 22). Bei einer dick gewählten Wandstärke von 2 mm ergibt sich so ein Fassungsvermögen von 2,5 Liter. Er besitzt zwei Anschlüsse. Die Zulauföffnung, an der Oberseite, ist mit der Abtropfschale verbunden und ermöglicht ein einfaches Befüllen von vorne. Um den Tank für den Transport der Maschine zu entleeren wurde eine weitere Öffnung, an der Vorderseite, zum Wasserablassen vorgesehen.

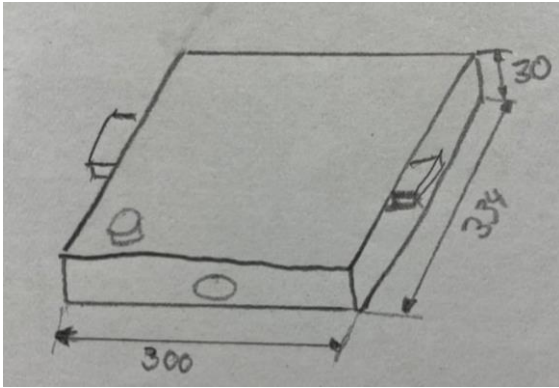


Abbildung 22: Entwurfsskizze Wassertank

Die Befestigung an der Unterseite der Grundplatte erfolgt über die seitlichen Flügel mittels M6 Verschraubung. Der Flügel ist wiederum geneigt am Wassertank fest angebracht, sodass sich nach Einbau an diesem eine Neigung von 2° in Richtung der Entwässerungsöffnung einstellt.

Der Anschluss für den Betrieb am Festwassernetz erfolgt über die Unterseite der Maschine. Im vorderen Bereich der Grundplatte ist hierfür eine Bohrung vorgesehen (vgl. Abb. 24).

10.2.2.2 Schmutzwasser

Zusätzlich zu dem Frischwassertank ist ein Schmutzwassertank für den Betrieb ohne Festwasseranschluss nötig. Dieser ist in der Konstruktion der Abtropfschale vorgesehen. Der Schmutzwasserausgang der Abtropfschale (4) ist mit der Schmutzwassersammelleiste (14) verbunden. In dieser werden alle Schmutzwasserausgänge der gesamten Maschine gebündelt und zunächst in die Abtropfschale geleitet. Für den Betrieb am Festwassernetz ist unter der Sammelleiste eine Bohrung für den Anschluss ans Abwassernetz vorgesehen. Über diesen wird dann das gesammelte Schmutzwasser abgeleitet. Beim Betrieb ohne Festwasseranschluss muss der Schmutzwasserbehälter manuelle entleert werden.

10.2.3 Boiler

Für den Einbau des Boilers gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten. Einen Einbau in stehender Position, d.h. die Längsachse des Boilers liegt vertikal oder in liegender Position, also die Längsachse verläuft horizontal. Hierbei entscheidend ist die Geometrie der Heizwendel im Inneren des Boilers. Zu Beginn des Projekts wird ~~sonit~~ eine liegende Positionierung durch Definition des Heizelements vorgeschrieben.



Bei dem hier eingebauten Boiler (3) handelt es sich um den Größten, den in Kapitel 3.4 beschriebene 3,6 Liter Boiler, inklusive Isolierung. Für den Boiler wurde wie bereits erwähnt Verkalkung als Versagenskriterium ausgeschlossen. Ein Wiederausbau ist nach Inbetriebnahme somit nicht vorgesehen, lediglich das in ihm **verbauten** Heizelement muss wartbar sein. Die Positionierung wurde dementsprechend so gewählt, dass das Heizelement des Boilers vom hinteren Teil der Maschine zugänglich, gewartet werden kann. Um die Heißwasserstrecke bis zur Brühgruppe zu minimieren wurde der Boiler erhöht befestigt. **Das maximale Totvolumen der Heißwasserstrecke liegt bei 10-15 cm³. Bei einem Leitungsinwenddurchmesser von 4 mm ergibt sich somit eine gestreckte Länge von 1194 mm. Ein Innendurchmesser von 2 mm führt zu einer maximalen Strecke von 4777 mm (vgl. Anhang 01).**

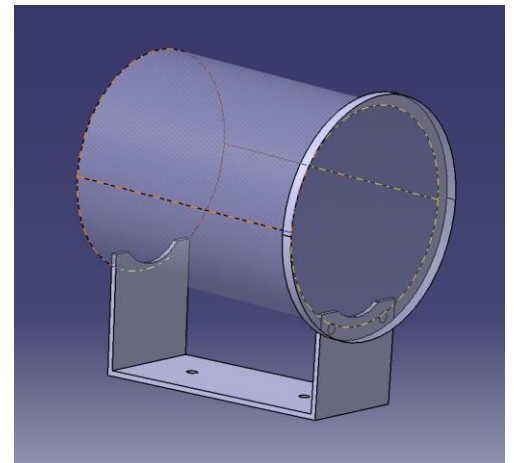


Abbildung 23: Anbindung Boiler

Die Anbindung des Boilers ist in Abbildung 23 dargestellt. Das Flansch besitzt zwei Auflageflächen, die in die Isolierung des Boilers eingreifen. Der Boiler wird mit zwei M6 Schrauben an dem vorderen, niedrigeren Teil des Flansches angeschraubt. Der Flansch wird wiederum über zwei weitere M6 Schrauben auf der Bodenplatte des Grundrahmens fixiert. Um die Entwässerung zu erleichtern wurde eine Neigung, von 2° in Richtung der Entwässerungsöffnung, beim Einbau vorgesehen. Dies wird zum einen durch den Höhenunterschied beider Flanken sowie durch eine zusätzliche Neigung der Anbindungsfläche ermöglicht. Die exakten Maße sind der Zeichnung in Anhang 24 zu entnehmen.

10.2.4 Brühgruppe

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Brühgruppe ist hier nicht erneut dargestellt. Die Brühgruppe (5) wird mit vier M5 Schrauben sowie zwei Passstiften fixiert. Sie befinden sich gleichmäßig verteilt auf einem Radius von 48 mm, bezogen auf den Mittelpunkt der Brühgruppenöffnung. Zudem ist besondere Aufmerksamkeit auf den Abstand zwischen Brühgruppen Unterkante zur Abtropfschale zulegen. Hier ist ein Abstand von mindestens 150 mm empfohlen. Des Weiteren ist die Parallelität zwischen diesen Flächen, sowie zum Boden, erforderlich.

10.2.4 Pumpe Motor



Es gibt eine **Vielzahl** unterschiedlicher Pumpentypen, die für Kaffeemaschinen am gängigsten verwendeten sind Rotations- oder Vibrationspumpen. Rotationspumpen zeichnen sich durch ihre geringere Geräuschbelastung gegenüber Vibrationspumpen aus und werden somit bevorzugt. Im Verlauf des Projekts wurde die Wahl des Pumpenzulieferers von *Fluid-o-tech* auf *procon* geändert. Die Außenmaße dieser Pumpe bleiben aber vergleichbar. Die Pumpe (7) wird direkt an den Motor (8) angeflanscht und bildet so eine Einheit, die wiederum auf der Grundplatte verschraubt wird. Der Motor wird mit einer Nennspannung von 24 V DC betrieben.



10.2.5 Bedienung

Das Ein- und Ausschalten der Maschine erfolgt über den Hauptschalter der Maschine. Die Bohrung (30) für den Kippschalter befindet sich seitlich am hinteren Teil der Maschine.

Die Steuerung und Kontrolle der Maschine erfolgt über drei Touchpanel-Displays an der Frontseite. Diese setzen sich aus den zueinander passenden Touchpanel, Display und Beleuchtung der Firma *Electronic Assembly* zusammen. Die Produktbezeichnung aller Einzelkomponenten sind in Stückliste 1 im Anhang 22 aufgeführt. Bei den äußeren Displays (31) handelt es sich um zwei Displays der *Visions DOC S-102-6* Serie. Hiermit lassen sich zum einen der Dampfdruck anzeigen

sowie der Dampfbezug steuern. Zum anderen kann die Einstellung der Temperatur sowie das Volumen des Teewassers erfolgen, sowie die Soll- und Ist- Temperatur des Teewassers abgelesen werden. Als weitere Funktion wird der manuelle Teewasserbezug oder Bezug nach Vorgabe ermöglicht. Die mittige Aussparung (32) ist für ein Display der *Visions DOC X2-160-7*-Serie vorgesehen. Hiermit wird die Brühgruppe bedient und überwacht. Es werden die Bezugstemperatur, die Preinfusionszeit und der Verlauf des Druckes und der Flowrate angezeigt. Des Weiteren kann der Bezug von einer oder zwei Tassen Espresso, das Spülen bzw. Reinigen, als auch das Setup-Menu dadurch gesteuert werden. Die Display-Einheiten werden mit dem Grundrahmen verklebt.

10.2.6 Dampfplanze/ Teewasserbezug

Für die Verfeinerung diverser Kaffeegetränke wie z.B. Milchaufschäumen für Cappuccino ist der separate Bezug von Dampf über eine Dampfplanze (24) vorgesehen. Zudem ist für Herstellung weiterer Heißgetränke der direkte Bezug von Teewasser gefordert.

Hierfür sind in der horizontalen Balkonfläche Bohrungen für Dampf (links) und Teewasser (rechts) vorgesehen (vgl. Abb. 19). Die Dampfplanze inkl. Absperrventil, bzw. Teeleitung sind hier noch nicht dargestellt.

10.2.7 Stromversorgung

Über die Bohrung links an der unteren Kante der Bodenplatte wird die Maschine über das Netzteil (9) an das Stromnetz angeschlossen (vgl. Abb. 19). Das Netzteil *HDR-100-24* befindet sich in unmittelbarer Nähe der Leistungsregler bzw. SSR- Inseln (12), (13) und versorgt diese, sowohl auch alle weiteren elektrischen Bauteile mit Energie.

Um das Netzteil gegenüber den anderen elektrischen Bauteilen abzuschirmen ist hierfür eine zusätzliche Einhausung vorgesehen. Die exakten Maße der Einhausung sind der Zeichnung im Anhang 26 zu entnehmen. Für das Netzteil ist, durch die Herstellerangaben definiert, als Anbindung ein zusätzliches *DIN TS35/7.5 oder TS35/15* Profil, mit der Länge 72 mm nötig. Dieses wird an der Innenseite der Einhausung befestigt.

10.2.8 Sensorik

Um die Eigenschaften des Wassers, sowie die allgemeine Funktion der Maschine beurteilen zu können, müssen Sensoren vorgesehen werden. Die nötigen Angaben hierzu lassen sich aus Anhang 01 entnehmen. Zunächst wird im Frischwasserzulauf über den Leitfähigkeitssensor (21) der Firma *AVS Römer-ICS-958P3-6FF-S8* die Zusammensetzung des Wassers beurteilt. Dieser wird über die Federklammer mit innerer Weite \varnothing 30-32 mm, entsprechend den Herstellerangaben fixiert. Die Federklammer wird wiederum über eine M4 Schraube an die senkrechte Platte des Grundrahmens geschraubt. Außerdem wird hier über den **Drucksensor** (18) *AVS Römer-IPS-958P3-6FF-04-S8* die **Eingangstemperatur** erfasst. Die Anbindung entspricht hier der des Leitfähigkeitssensors mit dem Unterschied, dass die Federklammer hier eine innere Weite von \varnothing 18-22 mm aufweist. Des Weiteren ist vor der Pumpe das Durchflussmessgerät (17) der Firma *Digimesa* verbaut. Eine weitere Messstelle für die Temperatur (19) befindet sich im Anschluss an den Pumpen-Ausgang. Zudem befinden sich wie in Kapitel 3.4 bereits beschrieben, am Deckel des Boilers, weitere Messstellen. Hier wird der Druck in der Dampfleitung, die Temperatur und mittels eines Kontaktstabes der Füllstand des Boilers bestimmt. Außerdem werden im Anschluss an den Mischer (15) entsprechende Messgeräte für Temperatur und Druck verbaut.

10.2.9 Steuerung

Die Steuerung der Prozesse erfolgt mit Hilfe der Steuerungsplatine (10) und des Controllers (11). Beide Bauteile müssen gegenüber der elektrischen Versorgung abgeschirmt werden. Dies erfolgt durch einen Blechkasten mit einer Wandstärke



von 0,5 mm. Die Platine und der Controller werden an die Einhausung geschraubt, die wiederum an die senkrechte Platte des Grundrahmens geschraubt wird (vgl. Abb. 19). Am Deckel befindet sich eine Öffnung für die Kabelführung. Die exakten Maße sind in Anhang 25 aufgeführt.

Die Schaltung des Hydraulikkreislaufs erfolgt mittels Magnetventile (16). Deren Positionierung und Bezeichnung ist, entsprechend Anhang 01, in Abbildung 24 in grün dargestellt. Dabei handelt es sich, mit Ausnahme des MV für den Mischer-Überlauf, um NC-Ventile, d.h. sie sind stromlos geschlossen. Nur das MV-Mischer-Überlauf ist stromlos geöffnet und schließt erst wenn der gewünschte Druck sowie auch Temperatur an der Brühgruppe erreicht ist.

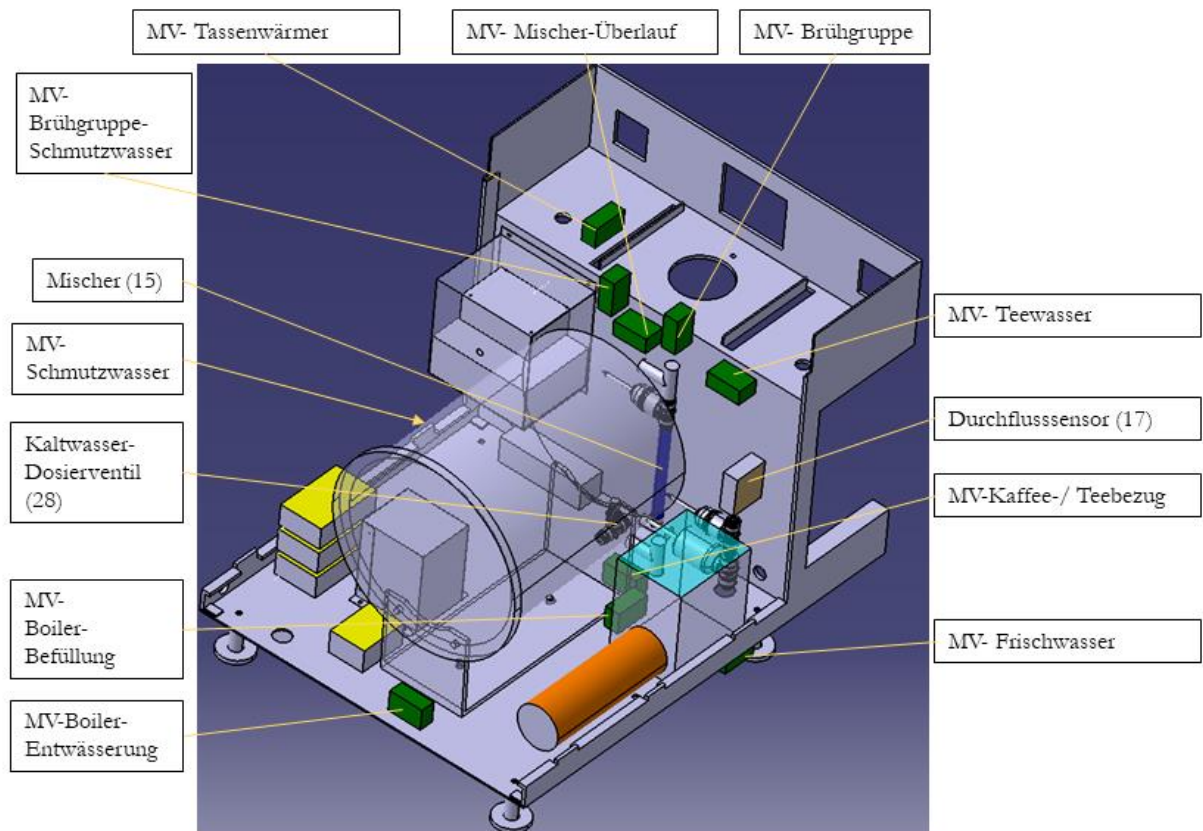


Abbildung 24: Positionierung: Magnetventile (MV, grün), Durchflusssensor (braun), Mischer (blau)

Das Magnetventil für den Frischwasser-Zulauf ist unterhalb des Grundrahmens positioniert. Gleiches gilt auf der gegenüberliegenden Seite für das Magnetventil des Schmutzwasser- Ablaufs. Nach dem MV- Kaffee-/ Teebezug teilt sich der Wasserstrom auf und durchläuft das Kaltwasser Dosierventil (28) und über die Warmwasserdüse (hier nicht dargestellt vgl. Abb. 19 (29) für den reservierten Bauraum), die Wasserwendel im inneren des Boilers. Beide Ströme werden im Anschluss über den Mischer (15) wieder miteinander vermischt. Bei dem hier verwendeten Mischer handelt es sich um den bereits in [18] Kapitel, 6.2. konzipierten statischen Mischer mit zuvorgeschalteten T-Mischer. Die exakten Abmaße sind in [18] Anhang 44 einzusehen.

10.2.10 Standfuß

Für einen sicheren Stand sorgen vier Gewindestandfüße (33) in jeder Ecke der Grundplatte. Diese haben einen Durchmesser von 40 mm und eine Höhe von 45 mm. Sie werden in den Durchgangsbohrungen mittels zwei M8 Muttern befestigt. Um die Vibrationen der Maschine nicht zu übertragen ist bei der Auswahl des Werkstoffes in den Kontaktflächen auf ausreichende Dämpfung, z.B. durch Gummi oder Neopren, zu achten oder diese gegebenenfalls zusätzlich anzubringen.

10.3 Dokumentation Gehäuse

Das Gehäuse verdeckt das Innenleben und ist für das Erscheinungsbild der fertigen Maschine bedeutend. Zudem wird der unbefugte Zugriff ins Innere der Maschine verhindert. Neben der Funktionalität nehmen Fertigbarkeit, bzw. Kosten und Design den höchsten Stellenwert dieser Konstruktionen ein.

Bei herkömmlichen Maschinen wird die am Boiler entstehende Abwärme durch die Decke abgeleitet und für die Tassenerwärmung genutzt. Durch die hier angebrachte Isolierung des Boilers ist dies ausgeschlossen. Als Material für die Außenflächen des Gehäuses ist opakes Glas festgelegt. Des Weiteren ist eine verspiegelte Glasplatte an der Maschinenfront gefordert.

Das Gehäuse wird aus opakem Glas gefertigt. Durch ein gelochtes Blech an der innen Seite des Gehäuses, was das Gegenstück zur Zahnleiste des Grundrahmens ergibt, werden die beiden Komponenten verbunden. Über eine weitere Nut, an der Vorderkante der Deckenplatte, wird das Gehäuse an der oberen Frontkante der Maschine ein gehangen. Durch den direkten Kontakt von Glas auf Stahl, kann es durch die Vibrationen der Maschine zu unerwünschter Geräuschbelastung kommen. Der Kontakt wird somit durch dämpfende Gummistreifen unterbunden. Es wird außerdem eine verspiegelte Glasplatte, in dem Bereich zwischen Abtropfschale und Balkon angebracht. Diese wird mit der Frontplatte des Grundrahmens verklebt.

Bei dem in Abb. 25 dargestellten Gehäuse handelt es sich um eine Übergangslösung für die Zwei-/ Mehrkreislauf-Varianten mit liegenden Boilern. Für die Variante mit Borosilikatboiler ist ein stehender Einbau vorgeschrieben. Um nicht die gesamte Höhe der Maschine zu vergrößern, kann hierbei eine Aussparung in der Deckenplatte des Gehäuses vorgesehen werden. Somit wäre ein Teil des Boilers und sein Arbeitsverhalten auch von außen sichtbar.

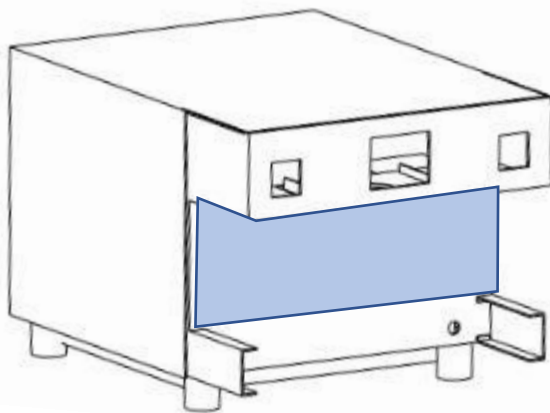


Abbildung 25: Grundrahmen inklusive Gehäuse und Frontplatte

11 Ausblick des Gehäuses und Grundrahmens

Um die Konstruktion abzuschließen ist die Festlegung aller Bauteillieferanten nötig. Die exakte Anbindung der Einzelteile ist dann entsprechend der Herstellerangaben in die Zeichnung des Grundrahmens einzuarbeiten. Hierfür müssen zunächst noch alle weiteren Kleinteile wie, z.B. Schrauben, Muttern und *ELSA* Anschlüsse in die Stückliste übernommen werden. Zudem sind in Absprache mit Lieferanten für Blechumformung, Radien, Blechstärken und -werkstoffe zu bestimmen und in der Fertigungszeichnung des Grundrahmens anzupassen.

Die Anbindungen für Boiler und Pumpenmotor können durch zusätzliche Ausschnitte und Umformungen gegeben falls direkt aus der Grundbodenplatte erfolgen. Hierbei ist bei steigender Komplexität des Grundrahmens das Fertigungsverfahren bzw. die Umform-Maschine genauer zu betrachten.

Um die Entwässerung und den Abwassertransport zu verbessern, kann eine Neigung des gesamten hinteren Grundrahmens in Erwägung gezogen werden. Hierbei muss darauf geachtet werden die Parallelität der Brühgruppe zur Abtropfschale und zum Boden zu waren. Außerdem dürfen von außen keine schrägen Kanten ersichtlich sein. Die gesamten Außenmaße der Maschine können durch die genauere Definition der Blackbox-Modelle weiter reduziert werden.

Für die Konstruktion des Gehäuses sind die Anforderungen und Wünsche erneut abzuklären und diese dementsprechend anzupassen.

12 Literaturverzeichnis des Gehäuses und Grundrahmens

- [23] Arendt, Marc: Neukonstruktion einer Kaffeemaschinenbrühgruppe, ~~unveröffentlichte~~ Bachelorarbeit, Hochschule München, 2018
- [24] Stach, Kilian: Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine, ~~unveröffentlichte~~ Bachelorarbeit, Hochschule München, 2018
- [25] Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Oktober 2004 über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen und zur Aufhebung der Richtlinien 80/590/EWG und 89/109/EWG



13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Boiler Außenperspektive.....	14
Abbildung 2: Elsa Anschluss (Quelle: AVS Römer).....	14
Abbildung 3: Anschlüsse der Boiler vorne.....	14
Abbildung 4: Einbaunippel (Quelle: HKEtec).....	15
Abbildung 5: Anschlüsse der Boiler hinten.....	15
Abbildung 6: di über v.....	29
Abbildung 7: Hezelement der Boiler.....	33
Abbildung 8: Hezelement 1,8 Liter Dampfboiler mit 1400 W.....	33
Abbildung 9: Hezelement mit Wasserwendel 1,8 Liter Dampfboiler mit 1200 W.....	33
Abbildung 10: Hezelement mit Wasserwendel 3,6 Liter Dampfboiler.....	33
Abbildung 12: Hezelement des Kaffeeboilers.....	34
Abbildung 11: Hezelement des Teeboilers.....	34
Abbildung 13: Heizwendel des Borosilikatboilers.....	35
Abbildung 14: Wasserwendel mit Hezelement 1,8 Liter Dampfboiler.....	36
Abbildung 15: Wasserwendel mit Hezelement 3,6 Liter Dampfboiler.....	37
Abbildung 16: Wasserwendel des Borosilikatboilers.....	39
Abbildung 17: Wasser- und Heizwendel des Borosilikatboilers.....	39
Abbildung 18: Brühgruppe Schnitt.....	43
Abbildung 19: Blackbox Modell - Zweikreis 3,6l-Variante.....	46
Abbildung 20: Faltschema Grundrahmen.....	47
Abbildung 21: Schnittansicht B-B Grundrahmenzeichnung.....	48
Abbildung 22: Entwurfsskizze Wassertank.....	49
Abbildung 23: Anbindung Boiler.....	50
Abbildung 24: Positionierung: Magnetventile (MV, grün), Druchflusssensor (braun), Mischer (blau).....	52
Abbildung 25: Grundrahmen inklusive Gehäuse und Frontplatte.....	53

14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der Drücke bei denen Bruch stattfindet aller Dampfboiler.....	16
Tabelle 2: Ergebnisse der Drücke mit bleibenden Dehnungen für alle Dampfboiler.....	17
Tabelle 3: Ergebnisse der Mindestwandstärke aller Dampfboiler	18
Tabelle 4: Ergebnisse der berechneten Spannungen aller Dampfboiler.....	19
Tabelle 5: Ergebnisse Mindestwandstärke von den Böden aller Dampfboiler.....	19
Tabelle 6: Ergebnisse Mindestwandstärke von den Deckeln aller Dampfboiler	20
Tabelle 7: Ergebnisse der Drücke bei denen Bruch stattfinden der Kaffee- und Teeboiler.....	20
Tabelle 8: Ergebnisse der Drücke mit bleibenden Dehnungen für Kaffee- und Teeboiler	21
Tabelle 9: Ergebnisse der Mindestwandstärke für Kaffee- und Teeboiler.....	21
Tabelle 10: Ergebnisse der berechneten Spannungen für Kaffee- und Teeboiler	22
Tabelle 11: Ergebnisse Mindestwandstärke von den Böden für Kaffee- und Teeboiler	22
Tabelle 12: Ergebnisse Mindestwandstärke von den Deckeln für Kaffee- und Teeboiler.....	22
Tabelle 13: Ergebnisse der Mindestschraubenkräfte aller Boiler.....	24
Tabelle 14: Ergebnisse der Montagevorspannkräfte aller Boiler	26
Tabelle 15: Ergebnisse aller Spannungen der Dichtungen	27
Tabelle 16: Ergebnisse aller Mindestdicken der verschweißten Flansche für alle Boiler.....	29
Tabelle 17: Ergebnisse aller Mindestdicken der verschraubten Flansche für alle Boiler	30
Tabelle 18: Ergebnisse der Temperatur außerhalb der Isolierung für alle Boiler	31
Tabelle 19: Schweißnaht Sicherheiten aller Boiler.....	32
Tabelle 20: Daten der Heizelemente aller Dampf-, Tee- und Kaffeeboiler.....	34
Tabelle 21: Daten zur Heizwendel des Borosilikatboilers	36
Tabelle 22: Daten zu den Wasserwendeln des 1,8 und 3,6 Liter Dampfboiler	37
Tabelle 23: Spannungen der Wasserwendeln	38
Tabelle 24: Daten zur Wasserwendel des Borosilikatboilers	40

15 Anhang

Anhang 01: Zweikreis Hydraulikplan

Anhang 02: Zweikreis Hydraulikplan Low Cost

Anhang 03: Zweikreis Borosilikatboiler Hydraulikplan

Anhang 04: Dreiboiler Hydraulikplan

Anhang 05: Konzept der Dichtungen für beide 1,8 Liter Dampfboiler

Anhang 06: Konzept der Dichtung des 3,6 Liter Dampfboilers

Anhang 07: Konzept der Dichtung des Teeboilers

Anhang 08: Konzept der Dichtung des Kaffeeboilers

Anhang 09: Konzepte der beiden 1,8 Liter Dampfboilers

Anhang 10: Konzept des 3,6 Liter Dampfboilers

Anhang 11: Konzept des Teeboilers

Anhang 12: Konzept des Kaffeeboilers

Anhang 13: Konzept für das Heizelement mit 1400 W für den 1,8 Liter Dampfboiler

Anhang 14: Konzept für das Heizelement mit 1200 W für den 1,8 Liter Dampfboiler

Anhang 15: Konzept für das Heizelement mit 1600 W für den 3,6 Liter Dampfboiler

Anhang 16: Konzept für das Heizelement mit 700 W für den Teeboiler

Anhang 17: Konzept für das Heizelement mit 700 W für den Kaffeeboiler

Anhang 18: Konzept für die Heizwendel mit 1200 W für den 3,6 Liter Borosilikatboiler

Anhang 19: Konzept für die Wasserwendel des 1,8 Liter und 3,6 Liter Dampfboilers

Anhang 20: Konzept der Wasserwendel für den 3,6 Liter Borosilikatboiler

Anhang 21: Konzept des Heizwendel mit Wasserwendel des Borosilikatboilers

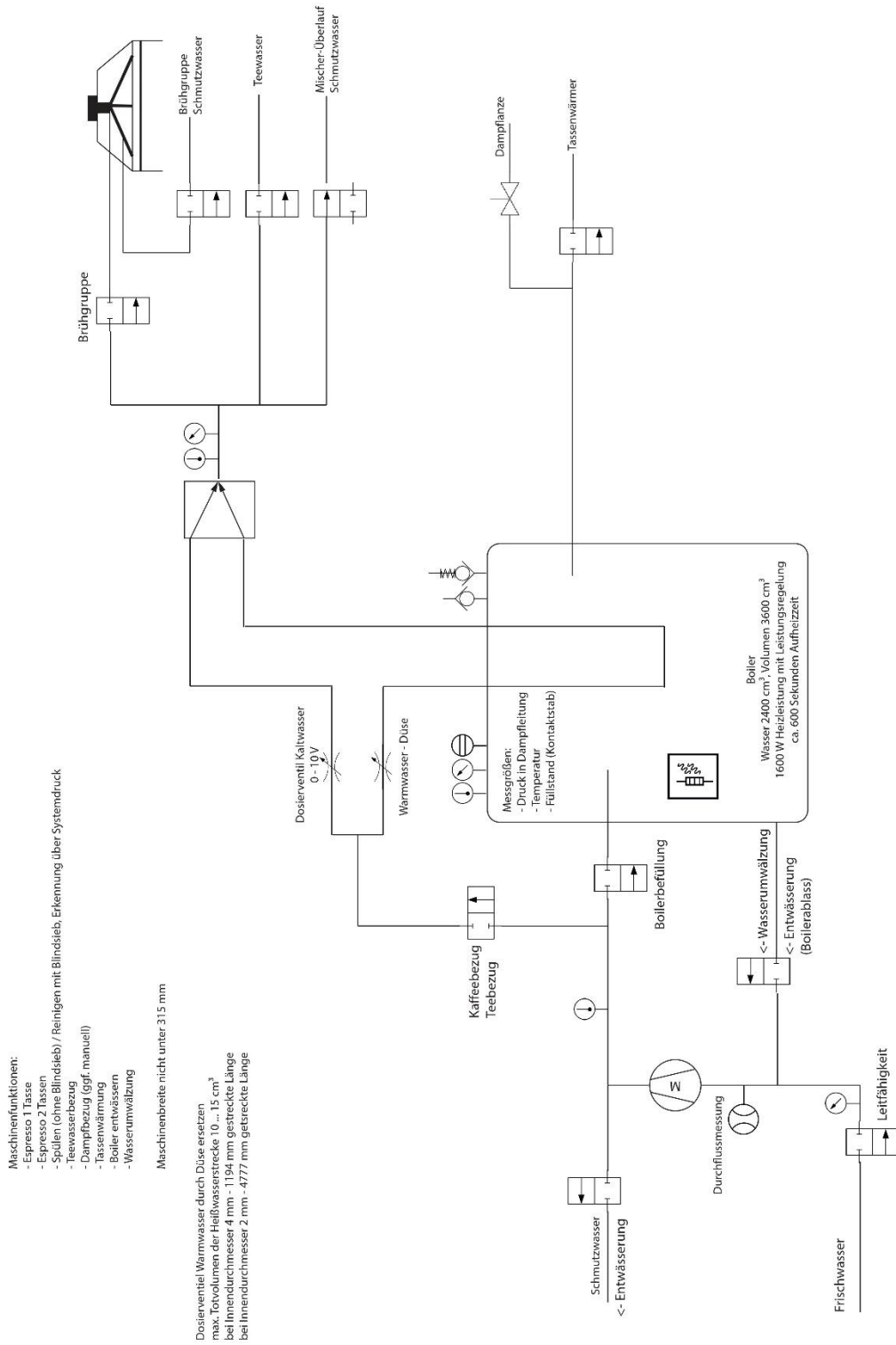
Anhang 22: Stückliste 3,6 L-Zweikreis-Variante

Anhang 23: Fertigungszeichnung Grundrahmen

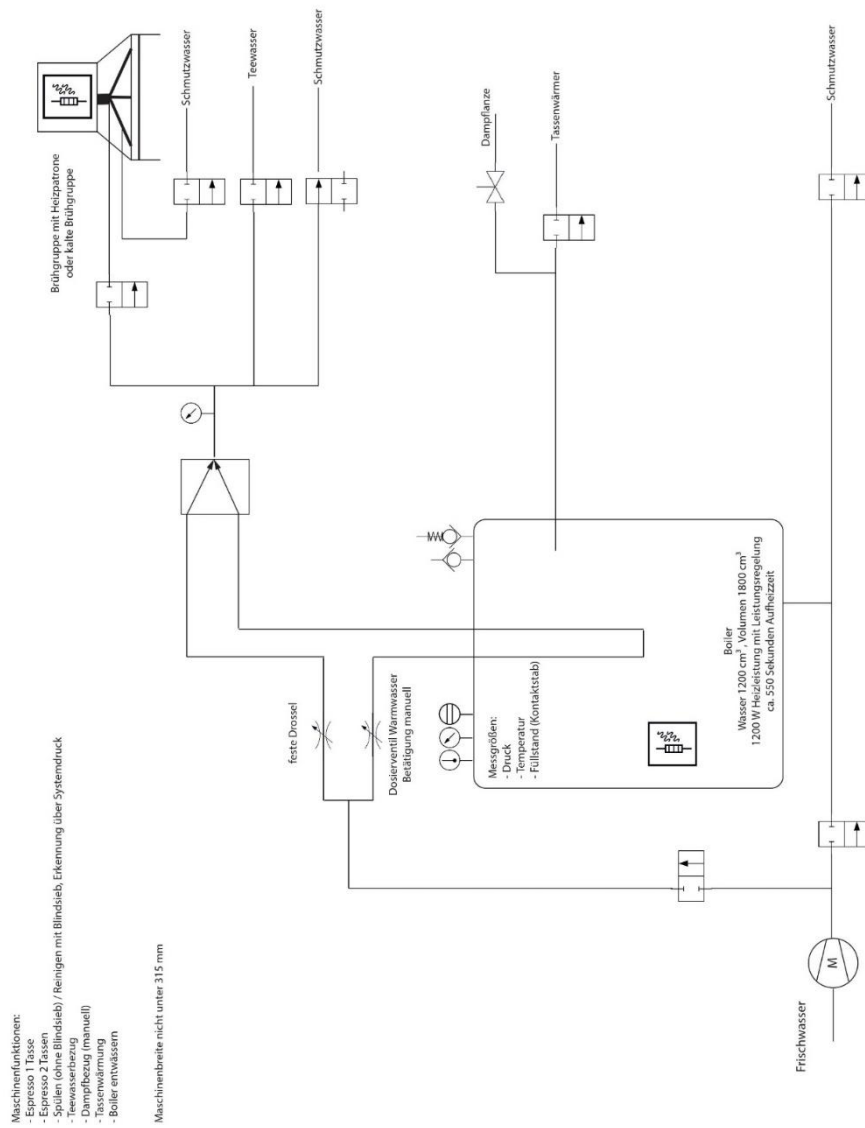
Anhang 24: Zeichnung Anbindung-Flansch-Boiler

Anhang 25: Zeichnung Einhausung für Steuerungsplantine und Controller

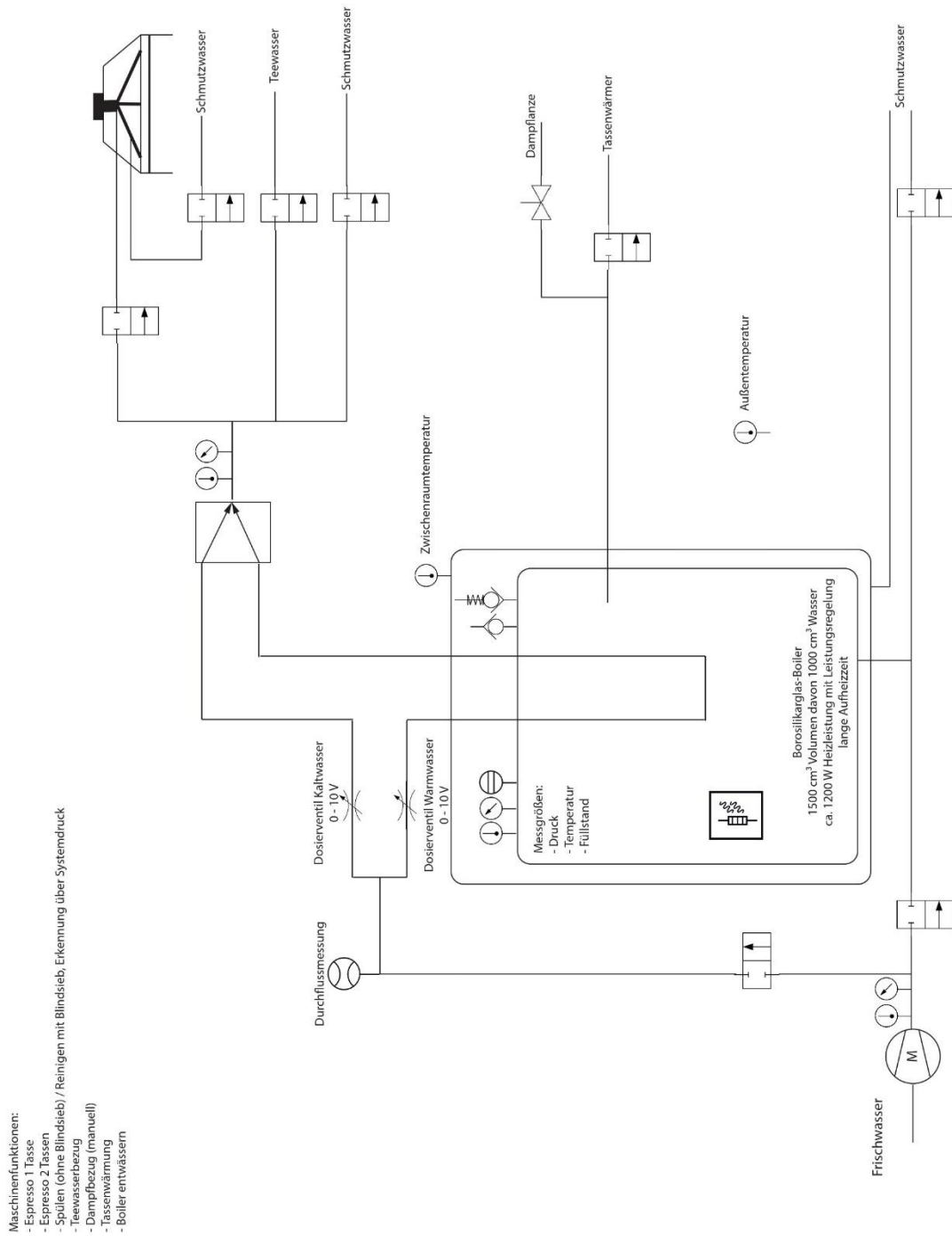
Anhang 26: Zeichnung Einhausung für Netzteil

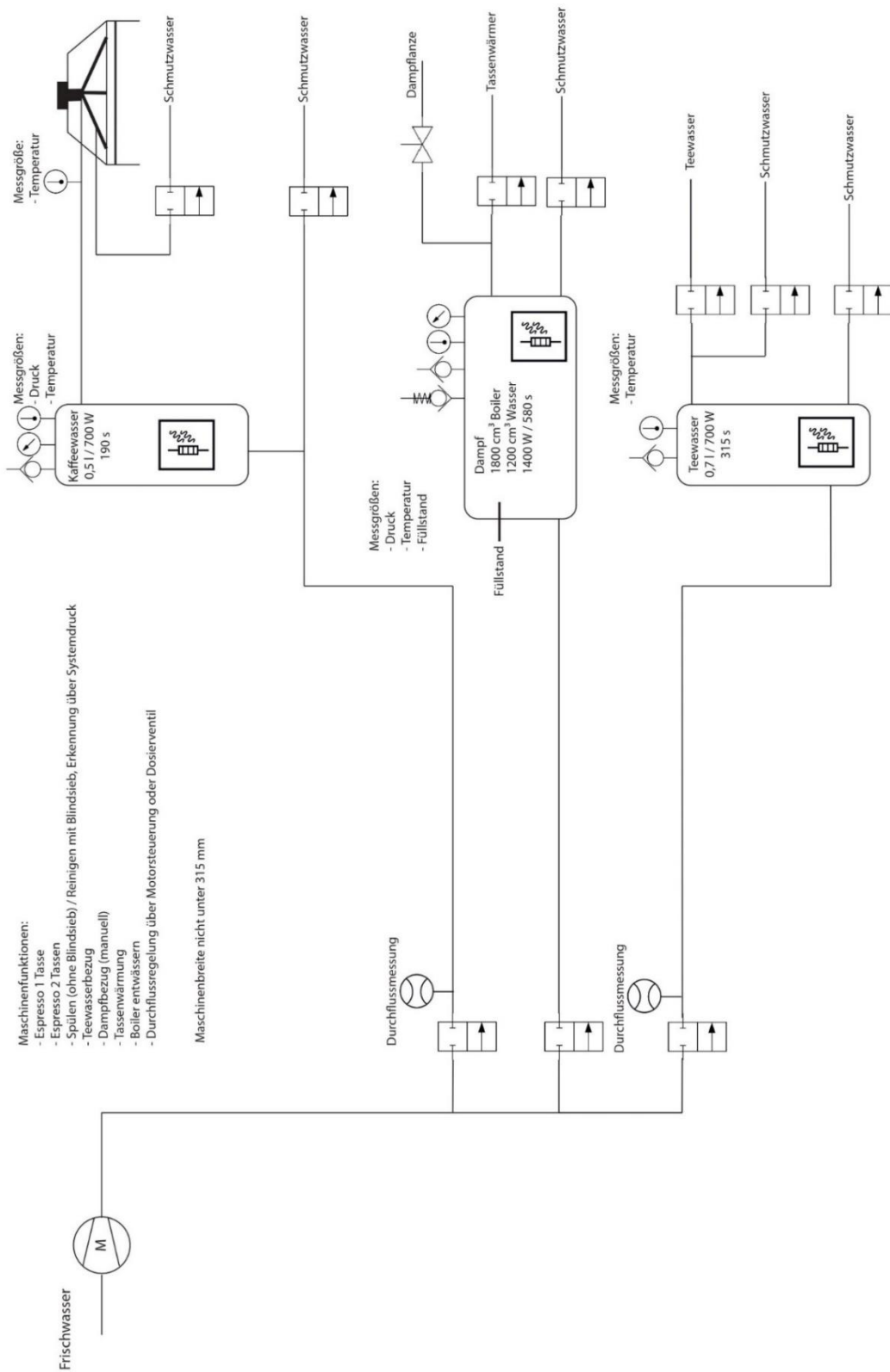


Quelle: Dipl.-Ing. Armin Rohnen



Quelle: Dipl.-Ing. Armin Rohnen





Quelle: Dipl.-Ing. Armin Rohnen

