

# **Projektarbeit** **Inbetriebnahme labortechnische Espressomaschine**

## **Projektbericht**

Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik und Flugzeugtechnik der  
Hochschule München

Betreuer: Dipl.-Ing Armin Rohnen, LbA

Datum der Abgabe: 17.08.2021

**Verfasser**  
Vonderschmitt Niklas  
Sinn Fabian  
Menrath Manuel

**Studiengang**  
MBB6  
MBB6  
FAB6

**Matrikel-Nr.**  
06878119  
09755718  
05209418

# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichern wir, dass die vorliegende Arbeit von uns selbst und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere, dass wir alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet haben.

Weiterhin erklären wir, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde/Prüfungsstelle vorgelegen hat.

München, 17.08.2021

*Ort, Datum*

*N. Vonderschmitt*

Vonderschmitt, Niklas

*F. Sinn*

Sinn, Fabian

*Manuel Menrath*

Menrath, Manuel

# 1 Kurzfassung

Verfasst von Fabian Sinn

Diese Dokumentation berichtet über die Ergebnisse der Projektgruppe zur Inbetriebnahme der labortechnischen Espressomaschine im Sommersemester 2021. Das Ziel war die Montage aller vorhandenen bzw. im Nachgang bestellten Bauteile, sodass die Baugruppen des Prototypen in naher Zukunft in einen betriebsfähigen Zustand versetzt werden können. Wesentliche Aufgaben waren die Anpassung des Boilerinnenlebens, insbesondere die konstruktive Anpassung von Wasserwendel und Heizelement, damit auch das Bestellen der fehlenden Bauteile und die mechanische Bearbeitung von vorhandenen Teilen. Zuletzt konnte mit diesem geschaffenen Projektstatus die Montage eines Großteils der Bauteile für die labortechnische Espressomaschine durchgeführt werden.

This documentation reports on the results of the project group for the commissioning of the laboratory espresso machine in the summer semester 2021. The destination was, by means of the available components and subsequently ordered components, that the assembly of the prototype can be put into an operational state in the near future. The main tasks were the adaptation of the boiler interior, in particular the constructive adaptation of the water coil and heating element, therefore the ordering of the missing components and the mechanical processing of existing parts. With this created project status, most of the components for the laboratory espresso machine could be assembled.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>III</b>
<b>2</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>3</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>4</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>5</b>	<b>Formelzeichen</b> .....	<b>VIII</b>
<b>6</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>7</b>	<b>Einarbeitung</b> .....	<b>2</b>
<b>8</b>	<b>Anpassung Wasserwendel</b> .....	<b>3</b>
8.1	Konstruktive Gestaltung .....	3
8.2	Thermische Auslegung.....	4
8.3	Länge der konstruierten Wendel.....	8
8.4	Berechnung des Druckverlustes .....	9
8.5	Vergrößerung durch Innendruck.....	10
8.6	Werkstoff .....	10
8.7	Herstellersuche .....	12
<b>9</b>	<b>Anpassung Heizelement</b> .....	<b>15</b>
9.1	Konstruktive Gestaltung .....	15
9.2	Konzeption.....	16
9.3	Lebensdauerabschätzung .....	17
<b>10</b>	<b>Bestellteile</b> .....	<b>19</b>
10.1	3D-Druck-Bauteile.....	19
10.2	Bauteile für den Boiler .....	19
10.2.1	Grundlagen zur Boilerdichtung .....	20
10.2.2	Berechnung und Montage der Boilerdichtung .....	21
10.3	Sonstige Bauteile.....	24
<b>11</b>	<b>Bearbeitung von vorhandenen Bauteilen</b> .....	<b>25</b>
<b>12</b>	<b>Montage</b> .....	<b>27</b>
<b>13</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>29</b>
<b>14</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>30</b>
<b>15</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>31</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>33</b>

## 2 Abkürzungsverzeichnis

CAD	Computer-Aided Design
FKM	Fluor-Kautschuk
FMEA	Fehler-Möglichkeit und Einfluss Analyse
PA12	Polyamid 12
PFA	Perfluoralkoxy-Polymere
PN	Nenndruck
PTFE	Polytetrafluorethylen
PWM	Pulsweitenmodulation
SSR	Solid State Relais

### 3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6.1: CAD-Modell der labortechnischen Espressomaschine .....	1
Abbildung 8.1: Wasserwendel im verbauten Zustand im 3,6l Boiler.....	4
Abbildung 9.1: Wasserwendel und Heizelemente im verbauten Zustand im 3,6l Boiler (links) und im 1,8l Boiler (rechts).....	16
Abbildung 10.1: Potenzielle Lieferanten der Boilerdichtung.....	20

## 4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 8.1: Technische Daten der Wasserwendel .....	9
Tabelle 8.2: Angefragte Hersteller mit deren Resultaten .....	12
Tabelle 8.3: Übersicht über die Preise der potenziellen Wasserwendel-Hersteller .....	13
Tabelle 9.1: Überblick über die technischen Daten des Heizelements.....	17
Tabelle 10.1: Abmessungen der Boilerdichtung .....	21

## 5 Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
$b_D$	[mm]	Halbe wirksame Dichtungsbreite
$c_5$	[mm]	Konstruktionszuschlag
$c_{p,w}$	[J/kgK]	Wärmekapazität des Wassers
$d$	[mm]	Innerer Rohrdurchmesser
$D$	[mm]	Mittlerer Krümmungsdurchmesser
$d_3$	[mm]	Schraubenkerndurchmesser
$d_a$	[mm]	Außendurchmesser Boilerdichtung
$d_{\text{außen}}$	[mm]	Äußerer Rohrdurchmesser
$d_{\text{heiz}}$	[mm]	Durchmesser Rohrheizkörper
$d_i$	[mm]	Innendurchmesser Boilerdichtung
$d_t$	[mm]	Lochkreisdurchmesser Boilerdichtung
$D_w$	[mm]	Mittlerer Wendeldurchmesser
$F$	[N]	Druckkraft auf den Boilerdeckel
$F_B$	[N]	Betriebskraft je Schraube
$F_{DV\_PTFE}$	[N]	Vorverformungskraft für PTFE
$F'_{DV\_PTFE}$	[N]	Ersatzvorverformungskraft für PTFE
$F_{SB\_PTFE}$	[N]	Mindestschraubenkraft für PTFE
$h$	[mm]	Wendelsteigung
$k$	[-]	Steigung
$K$	[-]	Festigkeitsbeiwert bei Betriebstemperatur
$k_0$	[-]	Wert für die Wirkbreite der Dichtung
$k_1$	[mm]	Fiktive Wirkbreite der Dichtung
$K_{20}$	[-]	Festigkeitsbeiwert bei 20°C
$K_D$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Formänderungswiderstand der Dichtung
$l$	[m]	Wendellänge
$l_a$	[mm]	Lochabstand
$l_{\text{kurz}}$	[mm]	Länge der kurzen Heizwendel
$l_{\text{lang}}$	[mm]	Länge der langen Heizwendel
$l_{\text{wendel}}$	[m]	Bogenlänge
$m$	[-]	Dimensionslose Kennzahl
$M_A$	[Nm]	Anzugsmoment
$M_{ADV}$	[Nm]	Anzugsmoment Einbauzustand
$M_{ASB}$	[Nm]	Anzugsmoment Betriebszustand
$\dot{m}_w$	[kg/s]	Massenstrom Wasser
$n$	[-]	Schraubenzahl
$N$	[-]	Wendelwindungen



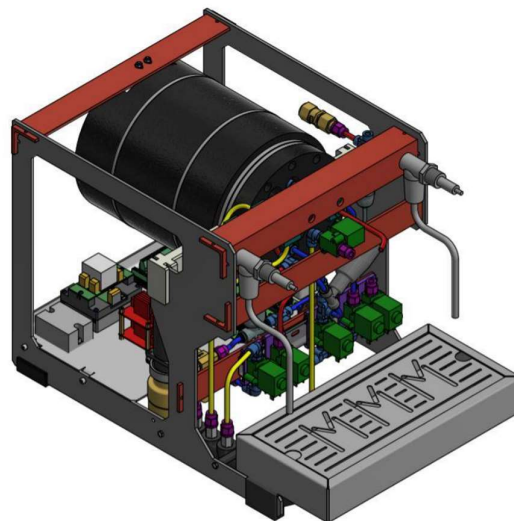
Nu	[ - ]	Nusselt-Zahl
$p_{\text{Boiler}}$	[bar]	Boilerdruck
$P_{\text{groß}}$	[W]	Leistung der großen Heizwendel
$P_{\text{heiz,A}}$	[W/cm <sup>2</sup> ]	Oberflächenbelastung des Rohrheizkörpers
$P_{\text{Heiz,alt}}$	[W]	Leistung des alten Heizelementes
$P_{\text{klein}}$	[W]	Leistung der kleinen Heizwendel
$p_{\text{Rohr,max}}$	[bar]	Wasserwendeldruck
$p_{\text{über}}$	[bar]	Innerer Überdruck in Druckgeräten
$Pr$	[ - ]	Prandtlzahl für Wasser
$Pr_{\text{W}}$	[ - ]	Prandtlzahl an Wand
$\Delta p$	[Pa]	Druckverlust
$Q_{\text{w}}$	[W]	Wärmestrom
$R_{\text{heiz}}$	[ $\Omega$ ]	Innenwiderstand des Rohrheizkörpers (20°C)
Re	[ - ]	Tatsächliche Reynoldszahl
$Re_{\text{krit}}$	[ - ]	Kritische Reynoldszahl
$\Delta r_{\text{x}}$	[mm]	Vergrößerung durch Innendruck
$S_{\text{D}}$	[ - ]	Sicherheitsbeiwert
$T_{\text{aus}}$	[ °C ]	Wassertemperatur am Wendelausgang
$T_{\text{Boiler}}$	[ °C ]	Boilertemperatur
$T_{\text{ein}}$	[ °C ]	Wassertemperatur am Wendeleingang
$T_{\text{Wand}}$	[°C]	Wandtemperatur
$\Delta T_{\text{In}}$	[K]	Logarithmische Temperaturdifferenz
$U$	[ - ]	Wärmedurchgangskoeffizient
$U_{\text{heiz}}$	[V]	Betriebsspannung Rohrheizkörper
$V$	[m/s]	Gemittelte Strömungsgeschwindigkeit
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	Volumenstrom
$X$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Multiplikationsfaktor abhängig vom Werkstoff
$Z$	[ - ]	Hilfsgröße
$\alpha_{\text{a}}$	[W/m <sup>2</sup> K]	Wärmeübergangskoeffizient Wendel – Wasser
$\alpha_{\text{i}}$	[W/m <sup>2</sup> K]	Wärmeübergangskoeffizient
$\lambda_{\text{V2A}}$	[W/mK]	Wärmeleitfähigkeit Edelstahl V2A
$\lambda_{\text{w}}$	[W/mK]	Wärmeleitfähigkeit Wasser
$\zeta_{\text{w}}$	[ - ]	Widerstandsbeiwert für laminare Strömung
$\kappa$	[1/mm]	Krümmung
$\nu_{\text{w}}$	[m <sup>2</sup> /s]	Kinematische Viskosität des Wassers

## 6 Einleitung

Verfasst von Niklas Vonderschmitt

Um den Einfluss verschiedener Ausführungen von Siebträger-Espressomaschinen auf die Zubereitung und den daraus resultierenden Geschmack von Espresso untersuchen zu können, ohne dabei auf das Zusammenspiel konkreter Hardware zurückgreifen zu müssen, begann Stach [1] vor knapp drei Jahren, in Kooperation mit der *Kaffeewerkstatt München*, den Prototypen einer labortechnischen Espressomaschine zu entwickeln. Dieser soll als messtechnische Basis für eben jene Untersuchungen dienen.

Im Laufe der vergangenen Jahre wurde das Vorhaben auf Basis von [1] stetig angepasst, weiterentwickelt und optimiert. Da nun nahezu alle Konstruktionsunterlagen und weitestgehend die benötigten Bauteile zur Komplettierung der Kaffeemaschine vorliegen, war es im Sommersemester 2021 die Aufgabe dieser Projektgruppe, an den gegebenen Stand anzuknüpfen und die labortechnische Espressomaschine in Betrieb zu nehmen. Anhand [2 – 6] konnte der theoretische Auf- bzw. Zusammenbau nachvollzogen, angepasst und entsprechend durchgeführt werden. *Abbildung 6.1* zeigt die labortechnische Espressomaschine als CAD-Modell.



*Abbildung 6.1: CAD-Modell der labortechnischen Espressomaschine*

Bei der Bestandsaufnahme im Zuge des ersten Laborbesuchs hat sich jedoch ein anderes Bild gezeigt, als die Aufgabenstellung sowie die vorangegangenen Ausarbeitungen vermittelt haben. Es musste mehr Zeit in die Überarbeitung des ursprünglichen Konzepts für das Innenleben des Boilers investiert werden, als ursprünglich angenommen. Dieser Sachverhalt zusammen mit der Bestellung einer Vielzahl an noch fehlenden Bauteilen, die in der bereits erstellten Stückliste auszumachen waren, führte zu Projektverzögerungen. Es war daher unausweichlich, Arbeitspakete, die gegen Ende des Projekts anstanden, per Beschluss abubrechen und für künftige Projektgruppen offen zu lassen.

Diese Projektarbeit gliedert sich in das Forschungsprojekt „Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee – Entwicklung Espressomaschine“ ein und erfolgte größtenteils im (provisorischen) Labor für Schwingungstechnik und Maschinendynamik.

# 7 Einarbeitung

Verfasst von Manuel Menrath

Für einen erfolgreichen Start in das Projekt war eine ausführliche Einarbeitung erforderlich. Dafür musste zunächst der aktuelle Projektstand anhand vorliegender Dokumentationen nachvollzogen werden. Hierzu stehen diverse Projekt- und Bachelorarbeiten zu den unterschiedlichen Bereichen rund um das Thema der labortechnischen Espressomaschine zur Verfügung. Sie beschreiben die vorangegangenen erzielten Fortschritte und geben einen Ausblick auf das weitere Vorgehen [1 – 6].

Um einen Überblick über den tatsächlichen Arbeitsstand zu bekommen, war es zudem unumgänglich, zeitnah nach Projektstart eine Laborbesichtigung durchzuführen. Parallel dazu war es von Nöten, die vorliegende Stückliste auf Vollständigkeit zu kontrollieren und zu ergänzen. So konnte der Bestand der Bauteile erfasst werden. Im Anschluss wurde auf dieser Wissensbasis das Arbeitspensum abgeschätzt, konkrete Arbeitspakete formuliert und gerecht im Team verteilt, sowie das weitere Vorgehen festgelegt und festgehalten. Eine ausführliche Zusammenstellung der Aufgaben ist in der ToDo-Liste wiederzufinden.

# 8 Anpassung Wasserwendel

Verfasst von Niklas Vonderschmitt

Zum Start der Projektarbeit war ein Großteil der Bauteile für die Baugruppe des 3,6l-Wasserboilers bereits vorhanden. So lagen bereits die Boilerkörper und -deckel, die Wasserwendel, sowie die beiden Heizelemente im Labor bereit. Im Zuge einer ersten Montage stellte sich allerdings heraus, dass an dieser Stelle noch einiges an Konstruktionsarbeit und -anpassung nötig ist, da sich die beiden Heizelemente berührten, bzw. nur durch ein elastisches Verbiegen montierbar waren. Die Sechskant-Anschlüsse eines Heizelementes ragten über den Boilerrand hinaus, sodass der Boilerkörper nicht mehr an seiner Position verschraubt werden konnte.

Es galt deshalb, eine vernünftige Lösung für die Problemstellungen zu finden. Die Anpassung der Wasserwendel ging aufgrund der Bauraumbegrenzung mit der Anpassung des Heizelementes einher.

Wie in vorherigen Projekt- und Bachelorarbeiten zu diesem Thema beschrieben [1 – 6], galt weiterhin als übergeordnetes Ziel, die in den verschiedenen Boilervarianten (1,8l-, 3,6l- und 7,2l-Edelstahlboiler sowie Borosilikatglasboiler) verbauten Komponenten einheitlich zu konzipieren, um durch resultierend höhere Stückzahlen je Artikel die Einkaufspreise zu senken. Außerdem bringt dieses Vorgehen Zeitersparnis bei der Entwicklung, Konstruktion und Fertigung.

Nach einiger Kreativarbeit zur Findung möglicher Konzepte, welche dann zur Validierung auch in CAD umgesetzt wurden, stellte sich aber heraus, dass mit den *herstellungsbedingten Toleranzen von etwa  $\pm 2$  mm für Heizelemente und Wasserwendel* die Verwendung von Gleichteilen beider Komponenten nicht realistisch umsetzbar ist. Dies ist vor allem auf die variablen Leistungsstufen der einzelnen Maschinenvarianten und den in der Breite sehr begrenzten Bauraum des Glasboilers zurückzuführen.

Da für die Wasserwendel im Gegensatz zu den Heizelementen noch kein konkreter Hersteller feststand und die Stückpreise für Wasserwendeln in dieser Ausführung zudem deutlich höher ausfallen als die für Heizelemente, wurde beschlossen, die Wasserwendel weiterhin als Gleichteil auszuführen, während die Heizelemente in Form und Leistung jeweils an die geforderten Bedingungen angepasst wurden. Dieser Sachverhalt ist in dem nachfolgenden Kapitel 4 ausführlicher beschrieben.

## 8.1 Konstruktive Gestaltung

Die Wasserwendel wird aus einem *8x1 Rohr des V2A Edelstahls 1.4301 (X5CrNi18-10)* gefertigt. Die abgewickelte Länge der Wendel beträgt 2,06 m. Zur Befestigung am Boilerdeckel sind Schneidringverschraubung nach DIN 2353 und DIN EN ISO 8434 - 1 vorgesehen, welche ohne Hitzeeinwirkung eine dichte Verbindung herstellen [6]. Der Druck im Inneren der Wendel sollte 20 bar nicht überschreiten. Die Wasserwendel wird, wie oben erwähnt, in allen Boilervarianten in der gleichen Ausführung verbaut. *Abbildung 8.1* zeigt die verbaute Wasserwendel in dem 3,6l Boiler.

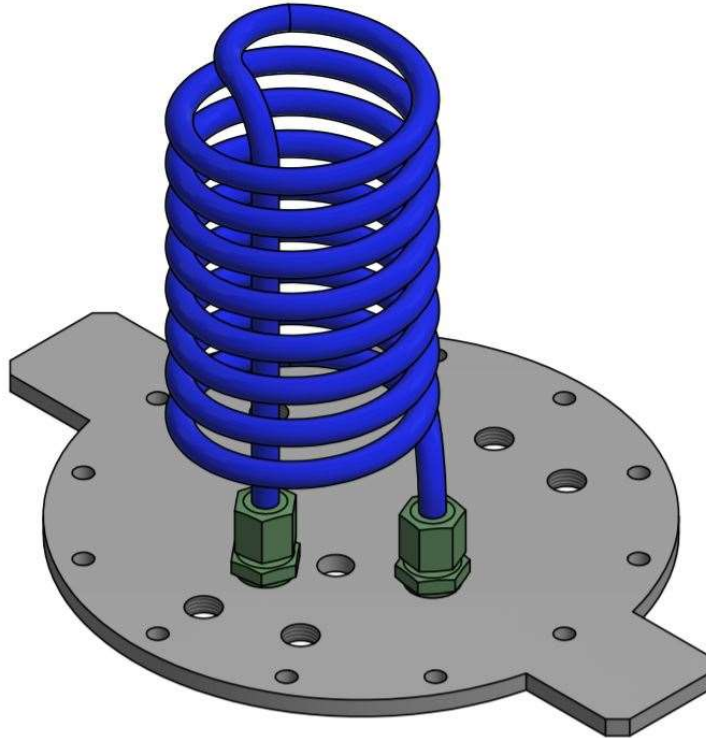


Abbildung 8.1: Wasserwendel im verbauten Zustand im 3,6l Boiler

Durch die Strömung eines Fluids durch ein gekrümmtes Rohr treten Zentrifugalkräfte auf, die eine Sekundärströmung in Form eines Doppelwirbels hervorrufen. Diese bewirkt eine verbesserte Wärmeübertragung zwischen Fluid und Rohrwand gegenüber einem geraden Rohr. [7a]

Für die Festlegung der Gestalt ist eine gewendelte Ausführung also naheliegend. Wie bei dem Vorgängermodell gibt die thermische Auslegung zusammen mit den Grenzen durch den Bau- raum und die Kompatibilität mit anderen Komponenten im Boilerinneren die Geometrie vor.

## 8.2 Thermische Auslegung

Um eine einwandfreie Nutzung der Kaffeemaschine gewährleisten zu können, muss das Brüh- wasser vom Eintritt der Wendel bis zum Austritt auf die gewünschte Temperatur gebracht werden. Diese Prämisse bestimmt die minimal notwendige Länge der Wendel. Diese Länge soll im Folgenden rechnerisch bestimmt werden.

Im Rohr der Wasserwendel herrscht ein Betriebsdruck von  $p_{Roh, max} = 20 \text{ bar}$ , der Umge- bungsdruck im Boiler ist mit etwa  $p_{Boiler} = 1,8 \text{ bar}$  anzunehmen. Das Boilerwasser hat eine ständige Temperatur von  $T_{Boiler} = 120^\circ\text{C}$ . Das zu befördernde Brühwasser (Trinkwasser) wird über einen externen Wasseranschluss bezogen und kommt mit  $T_{ein} = 15^\circ\text{C}$  am Wen- deleingang an. Die mindestens angestrebte Austrittstemperatur soll  $T_{aus} = 105^\circ\text{C}$  betragen. Diese Werte wurden final in [1 & 3] festgelegt. Für die Hintergründe der Parametrierung sei auf diese Literatur verwiesen.

Die Herleitung und Zusammenfassung der Berechnungsgrundlagen sind [7a] zu entnehmen. Fallspezifische Ergänzungen stammen aus [3]. Auf diesen Ausführungen beruht das folgende Berechnungsvorgehen. Der Vollständigkeit halber sind alle Formeln einmal allgemein und dann mit konkreten Zahlenwerten dargestellt. Die für die Berechnung festgelegten Randbedingungen und Größen sind entweder selbst festgelegt oder entstammen vorherigen Arbeiten. Dies ist an gegebener Stelle vermerkt. Die Stoffwerte stammen aus den entsprechenden Tabellen des VDI-Wärmeatlas [7b].

*Fehler, die sich in den Berechnungen von [3] zur Wendelauslegung eingeschlichen haben, sind in der vorliegenden Projektdokumentation korrigiert und an entsprechender Stelle vermerkt.*

### Mittlerer Krümmungsdurchmesser $D$

Für nachstehende Berechnungen wird der mittlere Krümmungsdurchmesser  $D$  der Wendel benötigt. Dieser wird wie folgt berechnet:

$$D = D_w \cdot \left[ 1 + \left( \frac{h}{\pi \cdot D_w} \right)^2 \right] = 72 \text{ mm} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{15 \text{ mm}}{\pi \cdot 72 \text{ mm}} \right)^2 \right] = 72,32 \text{ mm} \quad (1)$$

mit  $h$  Steigung der Wendel (Vgl. Anhang A1)  
 $D_w$  mittlerer Durchmesser der Wendel (Vgl. Anhang A1)

### Kritische Reynoldszahl $Re_{krit}$

Die Intensität der Sekundärströmung hängt vom Krümmungsverhältnis  $d/D$  der Rohrwendel ab. Mit zunehmendem Krümmungsverhältnis verschiebt sich der Umschlag von laminarer zu turbulenter Strömung mit der Reynoldszahl. Laminare Strömungen sind erwünscht. Für die kritische Reynoldszahl gilt:

$$Re_{krit} = 2300 \cdot \left[ 1 + 8,6 \cdot \left( \frac{d}{D} \right)^{0,45} \right] = 2300 \cdot \left[ 1 + 8,6 \cdot \left( \frac{6 \text{ mm}}{72,32 \text{ mm}} \right)^{0,45} \right] = 8782,5 \quad (2)$$

mit  $d$  innerer Durchmesser des Rohrs (Vgl. Anhang A1)

### Tatsächliche Reynoldszahl $Re$

Unter Berücksichtigung der über den Querschnitt gemittelten Strömungsgeschwindigkeit  $v$  und der kinematischen Viskosität  $\nu_w$  errechnet sich die Reynoldszahl zu:

$$v = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(3 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot \pi} = 0,071 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3)$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu_w} = \frac{0,071 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (6 \cdot 10^{-3}) \text{ m}}{(0,487 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 874,7 \quad (4)$$

mit  $\dot{V}$  Volumenstrom des Wassers in der Wendel (Vgl. [3, Tabelle 1])  
 $\nu_w$  kinematische Viskosität Wasser (Vgl. [7b])

*Die Formel für die tatsächliche Reynoldszahl [3, Formel (15)] ist falsch angegeben und wurde hier korrigiert! Die korrekte Formel ist [10] entnommen.*

Die tatsächliche Reynoldszahl  $Re$  liegt bei der gewählten Wendel-Geometrie deutlich unter der kritischen Reynoldszahl  $Re_{krit}$ . Somit kann die Strömung als laminar angenommen werden.

### Nusselt-Zahl $Nu$

Die Nusselt-Zahl wird benötigt, um den konvektiven Wärmeübergang berechnen zu können. Die Formel ist empirisch ermittelt und für diese Wendelkonfiguration gültig:

$$m = 0,5 + 0,2903 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{0,194} = 0,5 + 0,2903 \cdot \left(\frac{6 \text{ mm}}{72,32 \text{ mm}}\right)^{0,194} = 0,68 \quad (5)$$

$$Nu = (3,66 + 0,08 \cdot [1 + 0,8 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{0,9}]) \cdot Re^m \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_W}\right)^{0,14} = (3,66 + 0,08 \cdot [1 + 0,8 \cdot \left(\frac{6 \text{ mm}}{72,32 \text{ mm}}\right)^{0,9}]) \cdot 874,7^{0,68} \cdot 3,09^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{3,09}{2,29}\right)^{0,14} = 17,02 \quad (6)$$

mit  $m$  dimensionslose Kennzahl  
 $Pr$  Prandtlzahl für Wasser  
 $Pr_W$  Prandtlzahl an Wand

### Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_i$

Nun kann der Wärmeübergangskoeffizient berechnet werden:

$$\alpha_i = \frac{Nu \cdot \lambda_w}{d} = \frac{17,02 \cdot 0,65 \frac{W}{mK}}{6 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 1843,83 \frac{W}{m^2K} \quad (7)$$

mit  $\lambda_w$  Wärmeleitfähigkeit Wasser

### Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitung $U$

Über den Wärmedurchgangswiderstand können die Wandtemperaturen des Rohres am Ein- und Austritt berechnet werden:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot \alpha_i} + \frac{1}{\lambda_R} + \frac{1}{\pi \cdot d_{au\beta en} \cdot \alpha_a} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot \alpha_i} + \frac{1}{\lambda_{V2A} \cdot \ln\left(\frac{d_{au\beta en}}{d}\right)} + \frac{1}{\pi \cdot d_{au\beta en} \cdot \alpha_a} =$$

$$\frac{1}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 1843,83 \frac{W}{m^2K}} + \frac{\frac{1}{15} \frac{W}{mK} \cdot \ln\left(\frac{8 \text{ mm}}{6 \text{ mm}}\right)}{2 \cdot \pi} + \frac{1}{\pi \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 580 \frac{W}{m^2K}} = 0,1 \frac{mK}{W} \quad (8)$$

$$\Rightarrow U = 10,0 \frac{W}{mK}$$

mit  $\lambda_{V2A}$  Wärmeleitfähigkeit Edelstahl V2A 1.4301 bei 20°C (Vgl. Anhang A3a)  
 $\alpha_a$  Wärmeübergangskoeffizient Wendel – Boilerwasser

Der Wärmedurchlasswiderstand der Rohrleitung  $\frac{1}{\lambda_R} = \frac{1}{\lambda_{V2A} \cdot \ln\left(\frac{d_{au\beta en}}{d}\right)}$  ist komplett falsch angegeben in [3, Formel (18)]! Die korrekte Formel ist [11, Formel (6.10)] entnommen.

### Wandtemperaturen $T_{Wand}$

Nachdem die Eintritts- und Austrittstemperaturen, sowie die Temperatur des Boilerwassers bekannt sind, können die Wandtemperaturen an Eingang und Ausgang berechnet werden.

$$T_{Wand,ein} = T_{ein} - \frac{U}{\pi \cdot d \cdot \alpha_i} \cdot (T_{ein} - T_{Boiler}) = 15^\circ\text{C} - \frac{10,0 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 1843,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} \cdot (15^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}) = 45,36^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$T_{Wand,aus} = T_{aus} - \frac{U}{\pi \cdot d \cdot \alpha_i} \cdot (T_{aus} - T_{Boiler}) = 105^\circ\text{C} - \frac{10,0 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 1843,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} \cdot (105^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}) = 109,34^\circ\text{C} \quad (10)$$

Hier haben in [3, Formel (19)-(20)] die Klammern gefehlt, die Temperaturen sind in °C anzugeben! Die korrekte Formel ist [12] entnommen.

### Logarithmische Temperaturdifferenz $T_{\log}$

Schließlich kann die logarithmische Temperaturdifferenz berechnet werden:

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(T_{Wand,ein} - T_{ein}) - (T_{Wand,aus} - T_{aus})}{\ln\left(\frac{T_{Wand,ein} - T_{ein}}{T_{Wand,aus} - T_{aus}}\right)} = \frac{(45,36^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) - (109,34^\circ\text{C} - 105^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{45,36^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}}{109,34^\circ\text{C} - 105^\circ\text{C}}\right)} = 13,38 \text{ K} \quad (11)$$

### Wärmestrom $Q_w$

Mit den vorliegenden Informationen kann jetzt der Wärmestrom ermittelt werden, der notwendig ist, um das Wasser auf Solltemperatur zu bringen:

$$\dot{m}_w = \rho \cdot v \cdot A = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,071 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (12)$$

$$Q_w = c_{p,w} \cdot \dot{m}_w \cdot (T_{aus} - T_{ein}) = 4184 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (105 - 15) \text{ K} = 753,12 \text{ W} \quad (13)$$

mit  $\dot{m}_w$  Massenstrom des Wassers durch die Rohrwendel [13]

$c_{p,w}$  Wärmekapazität des Wassers

Der errechnete Wärmestrom ist auch für die Auslegung der Heizelemente relevant.

### Wendellänge $l$

Mit den Ergebnissen aus (7), (11) und (13) kann letztendlich auch die minimal notwendige Wendellänge berechnet werden:

$$l = \frac{Q_w}{\alpha_i \cdot d \cdot \pi \cdot \Delta T_{\ln}} = \frac{753,12 \text{ W}}{1843,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \pi \cdot 13,38 \text{ K}} = 1,62 \text{ m} \quad (14)$$



### 8.3 Länge der konstruierten Wendel

Mit dem Wissen über die mindestens notwendige Wendellänge wurde dann die Universalwasserwendel konstruiert. Es ist anzumerken, dass es mit zunehmender Länge des Wärmetauschers leichter fällt, die gewünschte Ausgangstemperatur über Heizleistung im Boiler und Volumenstrom zu regeln. Die Gesamtlänge der Wasserwendel ist daher mit  $l_{Wendel} = 1,81 \text{ m}$  knapp 12 % länger als unbedingt erforderlich.

Um ein schnelles Nachprüfen zu erleichtern, wird nachfolgend noch einmal gezeigt, wie von der Wendelgeometrie auf die Wendellänge zu schließen ist [8]. Die konstruierte Wasserwendel hat eine Windungshöhe von  $h = 15 \text{ mm}$ , einen mittleren Durchmesser von  $D_w = 72 \text{ mm}$  und  $N = 8$  Windungen:

**Steigung  $k$**

$$k = \frac{h}{\pi \cdot D_w} = \frac{15 \text{ mm}}{\pi \cdot 72 \text{ mm}} = 0,066 \quad (15)$$

**Krümmung  $\kappa$**

$$\kappa = \frac{1}{r \cdot (1+k^2)} = \frac{1}{36 \text{ mm} \cdot (1+0,066^2)} = 0,028 \frac{1}{\text{mm}} \quad (16)$$

**Bogenlänge  $l_{wendel}$**

$$l_{wendel} = \pi \cdot D_w \cdot \sqrt{1+k^2} \cdot N = \pi \cdot 72 \text{ mm} \cdot \sqrt{1+0,066^2} \cdot 8 = 1,81 \text{ m} \quad (17)$$

Zur Bogenlänge der Wendel kommen dann noch Zu- und Abfluss. Dabei handelt es sich um gerade ausgeführte Rohre. Sie weisen ein anderes Strömungsverhalten und damit andere thermische Eigenschaften auf und werden daher nicht direkt in der thermischen Auslegung berücksichtigt. Die absolute Länge des abgewickelten Rohres beträgt  $l_{Wendel,abs} = 2,06 \text{ m}$ .

Um sich einen schnellen Überblick über die verbaute Wasserwendel schaffen zu können, sind die wichtigsten Eckdaten noch einmal in tabellarischer Form zusammengefasst. Es sind Fertigungsmaße, Randbedingungen, Stoffwerte und Berechnungsergebnisse in *Tabelle 8.1* aufgeführt:

Tabelle 8.1: Technische Daten der Wasserwendel

Bezeichnung	Wert
<b>Abmessungen</b>	
Innerer Rohrdurchmesser $d$	6 mm
Äußerer Rohrdurchmesser $d_{\text{außen}}$	8 mm
Mittlerer Wendeldurchmesser $D_w$	72 mm
Mittlerer Krümmungsdurchmesser $D$	72,32 mm
Windungshöhe $h$	15 mm
Windungszahl $N$	8
Bogenlänge $l_{\text{wendel}}$	1,81 m
Gesamtlänge Wendel $l_{\text{Wendel,abs}}$	2,06 m
<b>Rahmenbedingungen</b>	
Volumenstrom in der Wendel $\dot{V}$	$2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
Wendeleintrittstemperatur $T_{\text{ein}}$	15°C
Wendelaustrittstemperatur $T_{\text{aus}}$	105°C
Ständige Boilertemperatur $T_{\text{Boiler}}$	120°C
Rohrinnendruck $p_{\text{Rohr,max}}$	20 bar
<b>Stoffwerte</b>	
Wärmeübergangskoeffizient Wendel – Boilerwasser $\alpha_a$	$580 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
Wärmeleitfähigkeit Edelstahl V2A 1.4301 $\lambda_{\text{V2A}}$	$15 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$
Prandtlzahl für Wasser $Pr$	3,09
Prandtlzahl an Wand $Pr_w$	2,29
Wärmeleitfähigkeit Wasser $\lambda_w$	$0,65 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$
Wärmekapazität Wasser $c_{p,w}$	$4184 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$
Kinematische Viskosität Wasser $\nu_w$	$(0,487 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
<b>Berechnungsergebnisse</b>	
Kritische Reynoldszahl $Re_{\text{krit}}$	8782,5
Tatsächliche Reynoldszahl $Re$	874,7
Nusselt-Zahl $Nu$	17,02
Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_i$	$1843,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
Wärmedurchgangskoeffizient $k$	10,05
Wärmestrom $Q_w$	753,12 W
Logarithmische Temperaturdifferenz $\Delta T_{\text{ln}}$	13,38 K
Minimale Wendellänge $l$	1,62 m

## 8.4 Berechnung des Druckverlustes

Wie zuvor bereits erwähnt, hat die Sekundärströmung in der Rohrwendel eine Verbesserung der Wärmeübertragung zur Folge. Gleichzeitig erhöht sich aber der Druckverlust gegenüber geraden Röhren. Um eine Pumpe mit ausreichend Leistung zu verbauen, ist es daher wichtig, den Druckverlust innerhalb des Rohres mit Kreisquerschnitt zu bestimmen. Zur Berechnung bietet auch an dieser Stelle der VDI-Wärmeatlas [7c] geeignete Formeln. Da im vorangehenden Abschnitt bereits die Reynoldszahl  $Re$  Gleichung (4) sowie der mittlere Krümmungsdurchmesser  $D$  Gleichung (1) berechnet wurden (Vgl. auch Tabelle 8.1), kann unmittelbar mit den Berechnungen begonnen werden:

### Widerstandsbeiwert für laminare Strömung $\zeta_w$

Die Gleichung hat eigentlich nur für isotherme Strömungen Gültigkeit. Für eine erste Abschätzung kann diese Annahme jedoch getroffen werden.

$$\zeta_w = \frac{64}{Re} \cdot \left[ 1 + 0,033 \cdot \left( \lg \left\{ Re \cdot \sqrt{\frac{d}{D}} \right\} \right)^{4,0} \right] = \frac{64}{874,7} \cdot \left[ 1 + 0,033 \cdot \left( \lg \left\{ 874,7 \cdot \sqrt{\frac{6 \text{ mm}}{72,32 \text{ mm}}} \right\} \right)^{4,0} \right] = 0,15 \quad (18)$$

### Druckverlust $\Delta p$

Der Druckverlust in der Rohrwendel beträgt dann:

$$\Delta p = \zeta_w \cdot \frac{l_{Wendel}}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 0,15 \cdot \frac{1813,5 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} \cdot \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,071 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 113,93 \text{ Pa} \quad (19)$$

Im Verhältnis zu den 16 bar, die die Pumpe liefert, ist der errechnete Druckverlust vernachlässigbar klein und die Wendel kann in dieser Länge bedenkenlos verwendet werden.

Sobald das Biegewerkzeug einsatzfähig ist und damit die endgültige Form und Länge der wasserführenden Schlauchstücke festgelegt werden kann, kann der Druckverlust über die gesamte Hydraulikstrecke berechnet bzw. die obige Rechnung ergänzt werden.

Da zwischen Pumpeneingang und Pumpenausgang relativ große Temperaturschwankungen auftreten, ist es zweckmäßig, in einzelnen Teilabschnitten zu rechnen. Dann sollten auch die Anteile der geraden Wendelstücke mitberücksichtigt werden. Für die Berechnung kann weiterhin [7c] verwendet werden.

## 8.5 Vergrößerung durch Innendruck

Die Vergrößerung des Innendrucks wurde in [3] lückenlos bestimmt und ist ohne Anpassung auch für die neue Wendelkonstruktion gültig. Berechnungsgrundlage ist die Gestaltänderungshypothese (GEH). Die Wendel vergrößert sich bei gegebenem Innen- und Umgebungsdruck (Vgl. Tabelle 8.1) um etwa  $\Delta r_x = 88,5 \text{ nm}$ . Sie kann ebenfalls vernachlässigt werden.

## 8.6 Werkstoff

Die Wasserwendel wurde in der Projektarbeit "Weiterführung der Konstruktion einer Siebträger-Espressomaschine - Entwicklung einer labortechnischen Espressomaschine" vom Sommersemester 2020 mit der Edelstahlgruppe V2A definiert. Die thermische Auslegung und die damit angenommenen Längen basieren daher auch auf diesen Werkstoffen. [3]

Im Tabellenbuch zu Roloff/Matek Maschinenelemente [9b], sind die Stähle X5CrNi8-10 (1.4301) und X6CrNiTi18-10 (1.4541) der Gruppe V2A nach DIN EN 10 088-3 als nichtrostende Stähle angeführt. In den entsprechenden Datenblättern ist jeweils auf eine Verwendung in der Lebensmittelindustrie und der chemischen Industrie hingewiesen. Die Stähle sind gut geeignet

für den Tieftemperaturbereich sowie für hohe Temperatureinträge bis 550°C. Die Stähle sind zudem polierbar.

Die Stähle der Gruppe V4A, also X5CrNiMo17-12-2 (1.4401) und X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) weisen sehr ähnliche Eigenschaften wie die V2A Edelstähle auf. Lediglich die Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion in chlorhaltigen Medien ist etwas höher. Dies spielt für die Anwendung als Wasserwendelwerkstoff im vorliegenden Fall je nach verwendetem Reinigungsmittel nur eine sehr untergeordnete Rolle. Die Stähle sind außerdem nicht polierbar.

Eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, auch gegen Spannungskorrosion, weisen die deutlich teureren Duplex-Stähle (Austenitisch-ferritische Stähle) auf. Sie kommen in der Wasser- und Abwassertechnik zum Einsatz und sind für hohe chemische und mechanische Beanspruchungen geeignet. Ein Vertreter wäre hier X2CrNiMoN22-5-3 (1.4462). Er deckt einen Temperaturbereich von -100 °C bis 250 °C ab. Der Stahl ist polierbar.

Nach den zugrunde liegenden Betriebsbedingungen ist der Werkstoff 1.4301 bzw. 1.4541 der Gruppe V2A für die Anwendung bei max. 130°C, 16-20 bar Druck und Leitungswasserförderung ausreichend für die Verwendung in der Wasserwendel. Da bei dem Glasboiler mit dem Gedanken gespielt wurde, die Wendel aus optischen Gründen zu polieren, fallen die Edelstähle der Gruppe V4A weg. Zudem sind die Eigenschaften nur sehr geringfügig besser bei einem höheren Materialpreis.

Duplex-Stähle haben natürlich die besten Eigenschaften zur Verwendung im Bereich der Wasserförderung, würden im vorliegenden Fall unserer Meinung nach jedoch zu einer Überdimensionierung der Wasserwendel führen.

Aufgrund der preislichen Vorteile ist der Standard-Austenit 1.4301 anderen V2A Werkstoffen vorzuziehen. Mit seinen 18% Chrom in der Legierung hat er eine optimale Korrosionsbeständigkeit gegenüber einer Vielzahl von Lebensmitteln und Getränken [14]. Der Stahl lässt sich leicht reinigen und führt zu keinerlei Geschmacks- oder Farbveränderungen im Kontakt mit Getränken und Lebensmitteln [15]. Durch den geringen Chloridgehalt in deutschem Leitungswasser (Grenzwert bei 0,3mg/l [17]) erfüllt der gewählte Werkstoff allen in Richtlinie 98/83/EG [18] und Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 [19] festgeschriebenen Anforderungen an den Kontakt mit Trinkwasser sowie Lebensmitteln. Gemäß DIN 50930 – Teil 6 [20] ist X5CrNi8-10 für den Trinkwassertransport auch bei warmen Wassertemperaturen geeignet.

Die Datenblätter aller relevanten Werkstoffe befinden sich im *Anhang (A3a – c)*.

## 8.7 Herstellersuche

Mit der neuen Geometrie – gegenüber der Vorgängerwasserwendelgestalt mit den Schneidringverschraubungen kompatibel, im Zusammenspiel mit den Heizelementen verbau- bar und für alle Boilervarianten geeignet – dem festgelegten Werkstoff 1.4301 und einer ge- wünschten Stückzahl von (*vorerst angefragten*) 5 Prototypen und 100 Stk. in der Serienpro- duktion, konnte im letzten Schritt ein geeigneter Hersteller gesucht werden. Um für eine op- timale Vergleichbarkeit ein möglichst breites Angebot zu erhalten, wurden zu den bereits be- stehenden Angeboten aus dem Sommersemester 2020 [3] noch sieben weitere Hersteller um eine Angebotserstellung gebeten. Die Hersteller sind mit entsprechender Stellungnahme in nachfolgender *Tabelle 8.2* angeführt:

*Tabelle 8.2: Angefragte Hersteller mit deren Resultaten*

Anbieter	Angebot	Auskunft
Arcum-Nova	nein	Keine Spiralbiegung mit diesem Radius möglich.
Biegeservice Milde	nein	Kein Angebot zu gemachter Anfrage möglich.
Mack Metall GmbH	nein	Die Fertigung kann keine Wendeln herstellen.
GERO Rohrbiegerei	nein	So kleine Spiralen können nicht gebogen werden.
AMV-Metallverarbeitung	ja	Angebot per E-Mail ( <i>Anhang A4a</i> )
TEKTON BENDING GmbH & Co.KG	ja	Angebot Nr. 219257-1 ( <i>Anhang A4b</i> )
W. Hülsmann GmbH	ja	Angebot Nr. 3774 & 3728 ( <i>Anhang A4c-d</i> )

Bedingt durch das kleine Verhältnis von Rohrradius zu Wendeldurchmesser konnten vier der genannten Firmen nicht mit einem Angebot dienen. Die Angebote der übrigen Hersteller wur- den hinsichtlich Rüstkosten, Lieferbarkeit und Stückpreis miteinander verglichen. *Tabelle 8.3* bietet eine entsprechende Übersicht.

Tabelle 8.3: Übersicht über die Preise der potenziellen Wasserwendel-Hersteller

## Angebote Wasserwendel

Hersteller	Sommersemester 2020		Sommersemester 2021		
	3 Prototypen / 100 Stk. Serie		5 Prototypen / 100 Stk. Serie		
	FACTUREE	THEIS	HÜLSMANN	AMV	TEKTON
<b>Rüstkosten / Pauschale</b>	-	-	215,00 € <i>pro Auftrag</i>	250,00 € <i>pro Auftrag</i>	1505,00 € <i>einmalig</i>
<b>Prototypen mit Rüstkosten</b>	137,25 €	250,00 €	174,80 €	179,00 €	125,00 €
	-	-	<b>217,80 €</b>	<b>229,00 €</b>	<b>139,33 €</b>
<b>Serienlos mit Rüstkosten</b>	-	195,00 €	88,30 €	89,00 €	46,97 €
	-	-	<b>90,45 €</b>	<b>91,50 €</b>	<b>61,30 €</b>
<b>Polieren</b>	-	-	82,15 €	-	-
<b>Versand</b>	-	-	0,00 €	9,50 €	0,00 €
<b>Werkstoff</b>	1.4404	1.4571	1.4301	1.4404	1.4301
<b>Lieferzeit</b>	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen	3 Wochen	10 Wochen
<b>Zahlungsbedingungen</b>	14 Tage netto Kasse	30 Tage netto Kasse	14 Tage netto Kasse	bei Fertig-meldung	Vorkasse

\*Alle Preisangaben sind exklusive 19 % Mehrwertsteuer (Ust.)

Wie un schwer zu erkennen, weisen die Preise nach Angebotsanfrage zwischen den einzelnen Anbietern starke Diskrepanzen auf. Obwohl die Stückpreise der TEKTON BENDING GmbH bei Konkretisierung der Anfrage von nahezu unschlagbar „billigen“ Preisen aufgrund des Wechsels von ursprünglich angenommenen einfachen Stahlrohren als Verarbeitungsmaterial durch den Werkstoffwechsel zu 1.4301 nochmal deutlich gestiegen sind, bleiben die Kosten für das Serienlos von 100 Stk. auch unter Berücksichtigung der einmaligen Rüstkosten unter denen der Konkurrenzangebote. Für die Bestellung von großen Wasserwendelstückzahlen ist das Angebot Nr. 219257-1 von TEKTON BENDING also dringend zu empfehlen.

Aufgrund der absolut betrachteten hohen Rüstkosten, welche umgelagert auf nur 3 (*zu bestellenden*) Prototypen die Einzelstückpreise enorm in die Höhe treiben, sowie die Vorkasse also zwingende Zahlungsbedingung (spricht gegen die Bestellaufgaben der Hochschule München) wurde sich in letzter Instanz für die Bestellung der Prototypen-Wasserwendeln gegen die Firma TEKTON BENDING GmbH entschieden. Das Risiko, bei möglicherweise notwendigen Änderungen am Prototypen ein weiteres Mal die einmaligen Rüstkosten zahlen zu müssen, war doch zu groß. Für die Prototypenfertigung wurde nun die W. Hülsmann GmbH beauftragt. Das Angebot Nr. 3774 ist gemeinsam mit dem Angebot Nr. 3728 für die Serienlosfertigung *angehängt*. Es wurden statt ursprünglich angefragten geplanten Stück letztendlich nur drei Stück bestellt. Die Maßgenauigkeit wurde von allen Anbietern mit  $\pm 2$  mm bestätigt.

Da die Wasserwendel im Borosilikatglasboiler aus optischen Gründen eventuell poliert werden soll, wurden bei der Firma W. Hülsmann GmbH auch die Möglichkeit und entsprechende Preise von Elektrochemischem Polieren angefragt. Preisinformationen sind ebenfalls dem Angebot Nr. 3774 zu entnehmen.

*Der gesamte E-Mailverkehr zwischen der Projektgruppe „I01: Inbetriebnahme labortechnische Espressomaschine, SoSe2021“ und den angeschriebenen Herstellern ist archiviert und kann auf von künftigen Projektgruppen bei Bedarf angefragt werden.*

# 9 Anpassung Heizelement

Verfasst von Fabian Sinn und Niklas Vonderschmitt

Die Heizelemente wurden zeitgleich mit der Wasserwendel in ihrer Konstruktion geändert. Grundlage hierbei war die Berechnung der erforderlichen Länge bei gegebener Leistung.

Durch die Variation der Boiler (1,8l, 3,6l und Glasboiler) wurde zunächst nach einer Lösung gesucht, die es ermöglicht für alle Boilervarianten die gleichen Heizelemente zu verwenden. Aufgrund des betriebswirtschaftlichen Hintergrunds sollten im 1,8l-Boiler und im 3,6l-Boiler zwei der Heizelemente und im Glasboiler lediglich eines verbaut werden. Somit hätte sich hier keine Formvariation ergeben.

Aufgrund des sehr engen Bauraums in den Boilerkörpern musste von dieser Idee aber nach langem Tüfteln und Ausprobieren Abstand genommen werden. Mit den vorgegebenen Fertigungstoleranzen war es mit keiner Formgestaltung möglich, zwei Heizelemente im 1,8l-Boiler unterzubringen, ohne gegen die Vorgaben im Glasboiler zu verstoßen, bzw. die erforderliche Länge zu unterschreiten.

## 9.1 Konstruktive Gestaltung

Mit dem in (13) berechneten Wärmestrom kann die Leistung abgeschätzt werden, die notwendig ist um das Boilerwasser auf  $T_{Boiler} = 120^{\circ}C$  aufzuheizen und die über den Wärmetauscher an das Brühwasser abgegebene Wärmemenge zu kompensieren. In den vorangegangenen Arbeiten wurde die Leistung pro Heizelement auf  $P_{Heiz,alt} = 1000 W$  festgelegt [3]. Da das Gleichteilkonzept nicht realisierbar ist, werden nun je nach Boilervariante zwei unterschiedliche Heizelemente verbaut. In den Boilervarianten 1,8l und Borosilikatglasboiler kommen weiterhin Heizelemente mit  $P_{klein} = 1000 W$  zum Einsatz. Die Boilervariante 3,6l erhält hingegen ein Heizelement mit  $P_{groß} = 1800 W$ . Im 7,2l-Boiler werden zwei dieser Heizelemente verbaut. Im Gegensatz zu den alten Konzeptideen ist es so möglich, die Heizleistung der verbauten Elemente in den größeren Boilervarianten um 10% zu reduzieren. Das spart Kosten, Bauraum und erleichtert die Temperaturregelung.

Nach Absprache mit dem Hersteller HKE-tec kann bei der Berechnung der notwendigen Rohrheizkörperlänge mit einer Oberflächenbelastung von  $P_{heiz,A} = 7 W/cm^2$  gerechnet werden. Zusammen mit den geforderten Leistungen konnte die erforderliche Länge der Heizelemente für einen gewählten Rohrdurchmesser von  $d_{heiz} = 6,4 mm$  ermittelt werden. Die Formel stammt aus [3] und ist vom Hersteller bestätigt worden.

$$l_{kurz} = \frac{P_{klein}}{P_{heiz,A} \cdot d_{heiz} \cdot \pi} = \frac{1000 W}{7 \frac{W}{cm^2} \cdot 0,64 cm \cdot \pi} = 710,5 mm \quad (20)$$

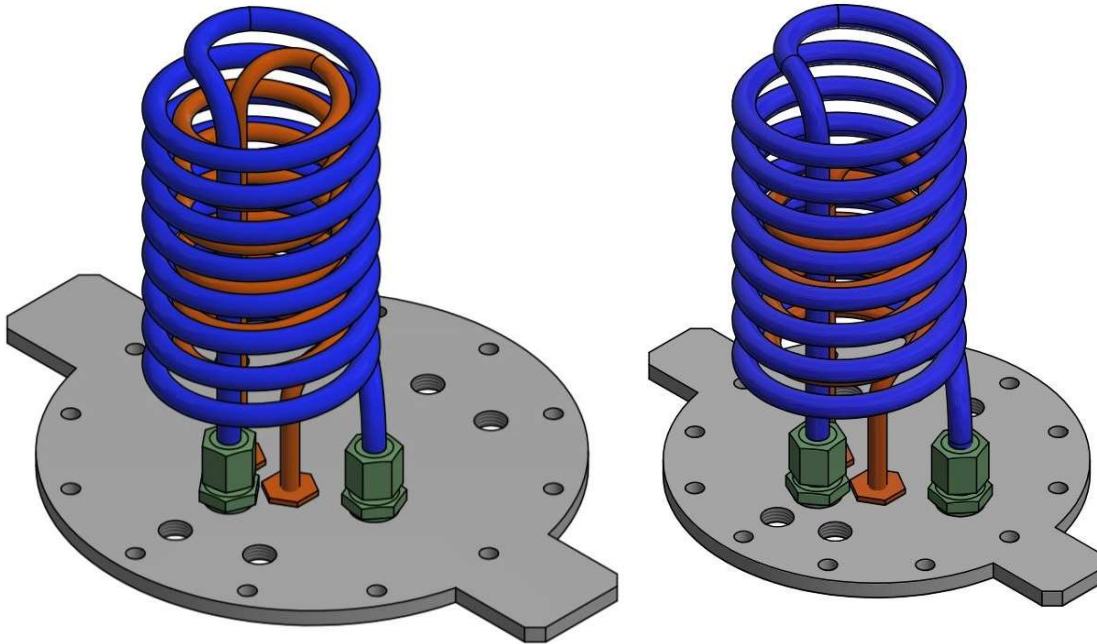
$$l_{lang} = \frac{P_{groß}}{P_{heiz,A} \cdot d_{heiz} \cdot \pi} = \frac{1800 W}{7 \frac{W}{cm^2} \cdot 0,64 cm \cdot \pi} = 1278,9 mm \quad (21)$$

Dazu kommen dann noch je 30 mm unbeheizte „Kaltzone“, um die Anschlüsse zum Boilerdeckel nicht zu beschädigen. Diese Länge ist herstellerbedingt vorgegeben.



## 9.2 Konzeption

Mit den bekannten Längen konnte dann ein geeignetes Konzept ausgearbeitet werden. Um den Bauraum bestmöglich auszunutzen und das Paket aus Wasserwendel und Heizelement gleichzeitig so kompakt wie möglich zu gestalten, wurde eine Wendelform gewählt. Das Heizelement liegt dabei innerhalb der Wasserwendel. Dies ist in *Abbildung 9.1* gut zu erkennen. Diese Bauform ist die einzig sinnvolle Möglichkeit, die doch sehr langen Rohrheizkörper in den kleinen Boilervarianten unterzubringen.



*Abbildung 9.1: Wasserwendel und Heizelemente im verbauten Zustand im 3,6l Boiler (links) und im 1,8l Boiler (rechts)*

Die konstruierten Rohrheizkörper genügen den herstellungs- und funktionsbedingten Vorgaben des Herstellers (alle Angaben gelten für einen Rohrdurchmesser von  $\varnothing 6,4\text{mm}$ ):

- Äußerer Wickeldurchmesser:  $\varnothing 60\text{mm}$
- Kleinster (innerer) Biegeradius: R18 (kalt), R10 (warm)
- Windungshöhe: min  $2 \times \text{Rohrdurchmesser}$
- Cold Zone: 40mm
- Fertigungstoleranz:  $\pm 2\text{mm}$

Das Heizelement muss zwingend zu jeder Zeit komplett mit Wasser bedeckt sein, um ein Durchbrennen des Elements beim Betrieb zu verhindern. In den Stahlboilern wird der Rohrheizkörper jeweils liegend verbaut. Die notwendige Füllstandsmengen der beiden Boilervarianten weichen daher ein wenig von den in [1] festgelegten 66% ab. Dadurch liegt das Heizelement garantiert unterhalb der Wasserkante. Für eine detaillierte Ausführung sei an dieser Stelle auf Kapitel 11 verwiesen. Im Glasboiler wird das Heizelement stehend verbaut. Die notwendige Eintauchtiefe ist hier also nicht durch den Heizkörperdurchmesser und die Position am Boilerdeckel, sondern lediglich durch die Bauteilhöhe vorgegeben. Um in der Variante „Style“ ein optisch ansprechendes Paket aus Wasserwendel und Heizelement zu gewähren, ist

die Höhe des Heizelementes geringer als die der Wasserwendel. So verschwindet es nahezu gänzlich innerhalb der Wasserwendel.

Die Heizelemente werden mittels Einschraubnippeln mit einem M10 Gewinde an dem Boilerdeckel befestigt. Um eine wasserdichte Verbindung herzustellen, kommen O-Ringe (Bonded Seal) der Größe 9,19x2,62mm zum Einsatz. Die oben erwähnte Cold Zone ist notwendig, um ein zu großes Aufheizen des Messingdeckels zu verhindern und die aufgelöteten Einschraubnippel zu schonen. *Anhang A5 – A7* beinhaltet in dieser Reihenfolge das Angebot von HKE-tec, die Auftragsbestätigung, die Freigabezeichnung des P1000W und die Freigabezeichnung des P1800W Rohrheizkörpers. *Tabelle 9.1* gibt einen Überblick über die technischen Daten des Heizelements.

*Tabelle 9.1: Überblick über die technischen Daten des Heizelements*

Bezeichnung	Wert
<b>Heizstab</b>	
Heizstabdurchmesser	∅6,4mm
Heizstabwerkstoff	1.4541
<b>Flansch</b>	
Flansch-Flanke	SW17x18,5mm
Flanschwerkstoff	1.4301
Einschraubgewinde	M10
<b>Dichtung</b>	
TREL-Dichtung	CHS-EPOXY 521 (max. 120°C Temperaturbeständigkeit)
O-Ring-Abmessung	9,19x2,62mm
O-Ring-Werkstoff	NBR70
<b>Betrieb</b>	
Oberflächenbelastung	$P_{heiz,A} = 7,4 \text{ W/cm}^2$
Innenwiderstand bei 20°C	$R_{heiz} = 27,7 - 32,3 \Omega$
Betriebsspannung	$U_{heiz} = \sim 230 \text{ V}$

### 9.3 Lebensdauerabschätzung

Um sich bei unzutreffenden Aussagen nicht haftbar machen zu können, konnten von Seiten HKE-tec's bezüglich der Lebensdauer gewendelter Rohrheizkörper keine konkreten Angaben gemacht werden. Allgemein gilt, dass das Element so lange hält, wie die Anlage den Rohrheizkörper schont.

Es gibt einige Einflussfaktoren, die sich negativ auf die Haltbarkeit der Heizelemente auswirken und daher nach Möglichkeit vermieden werden sollten:

Überhitzen kann bei mehrfachem Vorkommen zum Ausfall führen. Daher muss darauf geachtet werden, dass das Heizelement immer mit Wasser bedeckt ist und die komplette Wärme an das Wasser abgegeben werden kann. Um das zu schnelle und übermäßige Aufheizen des Elements zu vermeiden, kann ein Bimetall-Schalter zum Einsatz kommen, welcher die Stromversorgung bei Überschreitung einer bestimmten Temperatur unterbricht. Zudem sollte das Heizelement so selten wie möglich ein- und ausgeschaltet werden, um den Belastungen in der Maschine so lange wie möglich Stand zu halten. Der Regelkreis sollte entsprechend angepasst werden. Damit nie die volle Leistung abgerufen wird, ist das Heizelement mit einem

langsamen PWM-Signal (Pulsweitenmodulations-Signal) mit einer Frequenz von 8Hz geregelt. Dies schont das Bauteil zusätzlich.

Zudem wurden einige Rahmenbedingungen und Annahmen festgelegt, die eine realistische Lebensdauerabschätzung ermöglichen und innerhalb der Versuchsphase (Prototyp) zu vergleichbaren Ergebnisse führen sollen: das Heizelement ist im Boilerinneren ausschließlich von kalkfreiem Wasser umgeben; die errechnete Maschinenlebensdauer sieht etwa 3000 Aufheizzyklen (10 Jahre, 300 Nutzungstage p.a.) vor; das Gerät wird einmal pro Tag ein- und ausgeschaltet; das Heizelement ist kontinuierlich mit Wasser bedeckt; die Zieltemperatur von 120°C Wassertemperatur wird nicht überschritten; das Boilerinnere erfährt nahezu perfekte Wärmeabschirmung durch die Armaflex-Isolierung.

Auch konfrontiert mit diesen Informationen hat HKE-tec keine direkte Stellung bezüglich der Haltbarkeit ihrer Rohrheizkörper genommen. Final wurde kommuniziert, es kann davon ausgegangen werden, dass die labortechnische Espressomaschine gemeinsam mit der eingebauten Heizung genauso lange arbeitet, wie eine hochwertige, serienproduzierte Maschine.

*Alle Angaben bezüglich des Heizelements basieren auf Telefonaten und E-Mailverkehr zwischen der Firma HKE-tec und den Studenten der Projektgruppe.*

Es bleibt also Aufgabe der Testphase, die oben gemachten Annahmen zu validieren und entsprechende Erfahrungswerte für künftige Konstruktionen zu sammeln.

# 10 Bestellteile

Verfasst von Manuel Menrath und Niklas Vonderschmitt

Da sich bei der Bestandsaufnahme im Zuge der Einarbeitung ein anderes Bild gezeigt hat, als die Aufgabenstellung sowie die vorangegangenen Ausarbeitungen vermittelt haben, galt es, die Vielzahl an noch fehlenden Bauteilen in der bereits erstellten Stückliste auszumachen und auf dieser Grundlage eine Bestellliste zu erstellen. Die noch benötigten Komponenten umfassen sowohl Normteile wie Sicherungstifte und einfache DIN-Gewindeschrauben, aber auch bereits konstruierte, essenzielle 3D Druck-Bauteile sowie Sensorik. Die jeweiligen Lieferanten für die einzelnen Bauteile sind in der Stückliste der labortechnischen espressomaschine aufgeführt.

## 10.1 3D-Druck-Bauteile

Um die Gefahr von Verzögerungen vorzubeugen, wurden die Konstruktionsdateien aller Kunststoffkomponenten zeitnah nach Projektstart angefordert. Es galt die Maßgenauigkeit sowie die Positionierung innerhalb der espressomaschine zu überprüfen. Bei den vorderen Füßen mit der Tropfschalenaufnahme, den hinteren Füßen und dem Sammelblock wurden keine Anpassungen vorgenommen. Die hintere Boilerhalterung wurde umpositioniert sowie in der Form angepasst. Bei den vorderen Boilerhalterungen wurden die Wandstärken um einen Millimeter erhöht, sowie bei der linken vorderen Boilerhalterung eine Aussparung für den Antriebsmotor der Pumpe angebracht. Nachdem die Anpassungen durchgeführt worden sind, wurde die Bestellung der Kunststoffteile bei dem Lieferanten *trin.do* aufgegeben.

## 10.2 Bauteile für den Boiler

Nachdem die Wasserwendel sowie das Heizelement angepasst werden mussten, galt es unter anderem neue Lieferanten für diese zu finden. Außerdem musste ein Temperatursensor, der die Wassertemperatur im Boiler misst, bestellt werden. Da für die Dampfzange sowie für das Einfüllrohr noch keine expliziten Konstruktionsdaten vorhanden sind, sind hierfür Edelstahlrohre (8x1mm) zu bestellen. Beide sollen bis zur Mitte des Boilers hineinragen. Um einen sicheren Halt der Boilerisolierung (Armaflex) zu gewährleisten, werden zwei Schlauchschellen als Befestigung benötigt. Für den Prototypen wird dies durch Kabelbinder realisiert, für die Serie wird allerdings noch ein Schellenlieferant benötigt. Da von der Konzeptfindung bis hin zur Bereitstellung der Prototypen beziehungsweise der Bauteile viel Zeit vergehen kann, ist die Baugruppe Boiler zunächst ohne den entsprechenden Elementen zusammenzubauen. Diese können dann nach Anlieferung nachträglich ergänzt und verbaut werden.

Des Weiteren wird zwischen dem Boilerdeckel und dem Boilerkörper eine Flachdichtung aus PTFE benötigt. Hierfür wurden Zuschnitte in den Stärken 1mm und 2mm bestellt, die durch die Projektgruppe mithilfe der fakultätsinternen Werkstatt sowie Herrn Bichler auf die erforderlichen Maße gebracht worden sind. *Abbildung 10.1* gibt einen Überblick über die verschiedenen Lieferanten der Boilerdichtung.

Bestellteil		Lieferanten		Bemerkung
Boilerdichtung	PTFE-Zuschnitt	<b>Gewählter Lieferant:</b>		
		S-POLYTEC GmbH	www.s-polytec.de	
		<b>Nicht gewählte Lieferanten:</b>		
	Flachdichtung nach Maß	GM GmbH	www.gm-gmbh.de	Hochschule zahlt keine Vorkasse
		<b>Nicht gewählte Lieferanten:</b>		
		PLAZURA® René Höllrigl & J.Ahrends GbR	www.plazura.de	etwas teuer
	LISEMA® Dichtungstechnik UG	www.lisema.eu	Hochschule zahlt keine Vorkasse sowie zu teuer	

Abbildung 10.1: Potenzielle Lieferanten der Boilerdichtung

## 10.2.1 Grundlagen zur Boilerdichtung

Die Hauptfunktion der hier verwendeten Boilerdichtung ist das Trennen von zwei funktionsmäßig verschiedenen Räumen unterschiedlichen Druckes, damit kein Austausch flüssiger bzw. gasförmiger Medien stattfindet. Es handelt sich um eine statische Berührungsdichtung. Es wird im Sinne einer „technischen Dichtheit“ verlustlose Dichtheit gefordert.

Für eine wirksame Dichtung ist eine Anpassung der Dichtflächen aneinander notwendig. An die angrenzenden Bauteile resultieren daraus von der Dichtung abhängige Forderungen hinsichtlich Oberflächenrauheit, Form- und Lagetoleranzen und Oberflächenhärte. Die richtige Auswahl der Dichtung beschränkt sich also nicht nur auf die Eignung der Dichtung für die vorhandenen Betriebsbedingungen, sondern muss auch als Funktionselement im Zusammenwirken mit den angrenzenden Bauelementen betrachtet werden. [9a]

Es gibt einige Kriterien, die die Dichtungsauswahl erleichtern:

### Konstruktive Vorgaben:

Für den vorliegenden Fall wird eine *lösbbare Dichtung* benötigt, bei der die volle Dichtpresung hauptsächlich durch äußere Kräfte bereits bei der Montage erfolgt. Da es sich um eine *Flächendichtung* handelt, sollte ein „weiches“ Dichtelement, das sich den Oberflächen gut anpasst, zwischen die abzudichtenden Flanschflächen gebracht werden. In den gängigen Regelwerken ist die Auslegung der Dichtung meist Teil der Flanschauslegung (*siehe weiter unten*) und erfolgt mithilfe von Dichtungskennwerten. Diese beschreiben das Abdichtvermögen, die Kriechneigung, die Temperaturbeständigkeit und weitere relevante Auslegungsgrößen. Am besten eignen sich *vorgeformte Dichtungen*. Nach [9b, TB 19-1a] handelt es sich dabei um Flach- oder Formdichtungen.

### Form und Werkstoff:

Am gebräuchlichsten sind flache Weichstoffdichtungen. Es existiert eine Reihe von Normen, die die Form und Abmessung von Flanschdichtungen bestimmen. DIN 28040 [21] Auskunft über Maße und Bezeichnung von Flachdichtungen. DIN EN 1514-1 [22] in Verbindung mit DIN 2690 spezifiziert Dichtungsformen, Nennweitenbereiche, Kennzeichnung und schafft einen Überblick über die zulässige Dicke von Flachdichtungen in Abhängigkeit vom Werkstoff sowie empfohlene Abmessungen bezogen auf die Nenndruck(PN)-Stufe. Für die labortechnische Espressomaschine kommt eine Flachdichtung der **Form FF** (*Dichtung mit Schraubenlöchern*) für Flanschdichtflächen der **Form A** (*glatte Dichtfläche ohne Dichtleiste*) (Vgl. [22]) zum Einsatz. Da die Dichtung mit Trinkwasser in Berührung kommt, muss der Werkstoff der nationalen Bestimmung entsprechen (Vgl. [18]). [9a]

Die wichtigsten Eigenschaften für die Auswahl eines geeigneten Werkstoffs sind die Temperaturbeständigkeit, die Härte, der Druckverformungsrest, die Elastizität, die chemische Widerstandsfähigkeit, die Alterung sowie die Kosten. Mit Hilfe von [9b, TB 19-9] konnte eine erste Vorauswahl getroffen werden:

- **Fluor-Kautschuk (FKM):** Betriebstemperatur -15...150 °C (*Relative Kosten: 11,8*)
- **Polytetrafluorethylen (PTFE):** Betriebstemperatur -70...200 °C (*Relative Kosten: 25,0*)

**Chemische und physikalische Belastungen:**

Aufgrund der Unbeständigkeit von FKM gegenüber überhitztem Wasserdampf konnte der Kautschuk trotz des günstigeren Einkaufspreises und anderer positiver Eigenschaften nicht als Dichtungswerkstoff eingesetzt werden. Die Wahl fiel gezwungener Maße auf PTFE. Das technische Datenblatt zu dem Kunststoff ist in *Anhang (A3d)* zu finden.

Nach DIN EN 1514-1 ist für PTFE eine Materialstärke (Dicke) von 1mm bis 3mm empfohlen. Zudem sind PTFE-Dichtungen wegen Fließen so dünn wie möglich einzusetzen [16]. Da die Recherche keine expliziten Informationen über die Dicke der Dichtung ergeben hat, werden die Dicken von 1mm und die von der Projektgruppe [3] vorgegebene Dicke von 2mm getestet. Der Einsatz von 1mm dicken Flachdichtungen ist aufgrund des anzustrebenden Breiten-/Höhenverhältnisses  $b_D/h_D$  [16] allerdings empfehlenswert.

**10.2.2 Berechnung und Montage der Boilerdichtung**

Da es sich gemäß Richtlinie 2014/68/EU [23] aufgrund des inneren Überdrucks von  $p_{über} \geq 0,5 \text{ bar}$  ( $p_{Boiler} = 1,8 \text{ bar}$ ) bei den in den Kaffeemaschinen verbauten Boilern um Druckgeräte, strenggenommen um Dampfkessel handelt, werden hohe sicherheitstechnische Anforderungen an die Schraubenverbindung zwischen Boilerkörper und Deckel gestellt. Für derartige Berechnungen ist das AD-Merkblatt B7 [24] maßgebend. Darauf basieren auch die nachfolgenden Berechnungen. Während die Druckgeräterichtlinie Druckgeräte definiert, ist für den Betreiber von druckführenden Anlagen (*an dieser Stelle also die Hochschule München*) die Betriebssicherheitsverordnung [25] wichtig.

Um die Dichtheit einer Verbindung im Hauptschluss zu erreichen, muss diese so stark vorgepresst werden, bis die Oberflächenunebenheiten und Rauheiten der Dichtfläche durch vollplastisches Fließen völlig gegeneinander angepasst sind.

Es wird empfohlen, die Flanschdichtung unter Beachtung der zulässigen Flächenpressung möglichst schmal auszuführen, um Dichtungskräfte, Schraubenkräfte und Flanschverdrehungen möglichst klein zu halten. Die Abmessungen der Dichtung sind in *Tabelle 10.1* aufgeführt und in *Anhang A11* nachzusehen:

*Tabelle 10.1: Abmessungen der Boilerdichtung*

Maßbezeichnung	Maß
Innendurchmesser $d_i$	153 mm
Außendurchmesser $d_a$	182 mm
Lochkreisdurchmesser $d_t$	168 mm

### Vorverformungskraft $F_{DV}$

$$F_{DV\_PTFE} = \pi \cdot d_t \cdot (k_0 \cdot K_D) = \pi \cdot 168 \text{ mm} \cdot (25 \cdot 7,25) \frac{N}{\text{mm}} = 95376,8 \text{ N (Gas)} \quad (22)$$

mit	$d_t$	Lochkreisdurchmesser
	$k_0 \cdot K_D = x \cdot b_D$	Vorverformung
	$k_0$	Wert für die Wirkbreite der Dichtung
	$K_D$	Formänderungswiderstand der Dichtung
	$x$	Multiplikationsfaktor abhängig vom Werkstoff
	$b_D$	Halbe wirksame Dichtungsbreite

Bei dem Kunststoff PTFE ist die Abdichtung gegen Gase und Dämpfe aufgrund der des größeren Multiplikationsfaktors  $x$  [9b, TB 19-1] bei der Berechnung der Vorverformung ausschlaggebend.

### Mindestschraubenkraft $F_{SB\_PTFE}$

Ist durch die Verformungskraft die Dichtheit in der Dichtfläche durch die plastische Anpassung der Unebenheiten und Rauheiten erreicht, muss bei steigendem Innendruck durch eine Mindestschraubenkraft für den Betriebszustand dieser Druck sicher aufgenommen werden.

$$F_{SB\_PTFE} = F_{RB} + F_{FB} + F_{DB} = p_{Boiler} \cdot \pi \cdot \left( \frac{d_t^2}{40} + \frac{d_t \cdot S_D \cdot k_1}{10} \right) = 1,8 \text{ bar} \cdot \pi \cdot \left( \frac{168^2}{40} + \frac{(168 \cdot 1,2 \cdot 7,975)}{10} \right) \text{ mm} = 4872,8 \text{ N (Gas)} \quad (23)$$

mit	$S_D$	Sicherheitsbeiwert
	$k_1$	fiktive Wirkbreite der Dichtung

Da die Vorverformungskraft  $F_{DV} > F_{SB}$  unterhalb des kritischen Punktes liegt, kann die Ersatzvorverformungskraft  $F'_{DV\_PTFE} = 0,2 \cdot F_{DV\_PTFE} + 0,8 \sqrt{F_{SB\_PTFE} \cdot F_{DV\_PTFE}} = 36322 \text{ N}$  (24) verwendet werden.

### Schraubenkerndurchmesser $d_3$

Bei Weichstoffen ist mögliches Setzen nach der ersten Belastung durch Nachziehen der Schrauben auszugleichen. Die für die Flanschverbindung erforderliche Schraubengröße wird aus dem größten Wert für den Kerndurchmesser  $d_3$  von Schaftschrauben ermittelt.

$$\text{Betriebszustand: } d_3 = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{(K \cdot n)}} + c_5 = 1,51 \cdot \sqrt{\frac{4872,8 \text{ N}}{(218 \cdot 6) \frac{N}{\text{mm}^2}}} + 3 \text{ mm} = 5,9 \text{ mm} \quad (25)$$

$$\text{Prüfzustand: } d_3 = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{(K_{20} \cdot n)}} = 1,27 \cdot \sqrt{\frac{4872,8 \text{ N}}{(280 \cdot 6) \frac{N}{\text{mm}^2}}} = 2,16 \text{ mm} \quad (26)$$

$$\text{Einbauzustand: } d_3 = Z \cdot \sqrt{\frac{F'_{DV}}{(K_{20} \cdot n)}} = 1,27 \cdot \sqrt{\frac{36322 \text{ N}}{(280 \cdot 6) \frac{N}{\text{mm}^2}}} = 5,9 \text{ mm} \quad (27)$$



mit	$Z$	Hilfsgröße (für Schaftschrauben nach DIN EN ISO 4014) $\varphi = 1,0$ für spanabhebend bearbeitete parallele Auflageflächen
	$K$	Festigkeitswert bei Betriebstemperatur (150°C nach AD 2000-Merkblatt B0) für Werkstoff 1.4404 (Anhang A3b)
	$K_{20}$	Festigkeitswert bei 20°C für Werkstoff 1.4404 (Anhang A3b)
	$n$	Anzahl der Schrauben
	$c_5$	Konstruktionszuschlag ( $3 \text{ mm} \geq c_5 = \left(65 - Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}}\right) / 15 \geq 1 \text{ mm}$ )

Da ein Gewindekerndurchmesser von  $d_3 = 6 \text{ mm}$  nicht unterschritten werden darf, kommen an dieser Stelle **M6-Schrauben** zum Einsatz. (Vgl. [24])

### Schraubenberechnung nach [9a]:

(ACHTUNG: eigentlich für Sechskantschrauben und nicht Zylinderkopfschrauben)

Bei der Deckelverschraubung handelt es sich um eine exzentrisch verspannte und exzentrisch belastete Schraubenverbindung mit nicht direkt aufeinanderliegenden Teilen. Bei korrekter Anwendung des AD-Merkblatts B7 [24] gilt im Zweifelsfall die „ingenieurmäßige Sorgfaltspflicht“ als erfüllt.

### Festlegung der Schraubenzahl für M6

Das Verhältnis Schraubenabstand zu Lochdurchmesser sollte  $l_a/d_h \leq 5$  nicht unterschreiten. Mit [9b, TB 8-8] ergibt sich damit eine angestrebte Schraubenzahl von

$$n = \frac{d_t \cdot \pi}{l_a} = \frac{168 \text{ mm} \cdot \pi}{5 \cdot 7 \text{ mm}} = 15 \text{ (hier: 12)} \quad (28)$$

mit  $l_a$  Lochabstand

Gemäß der Formel sollten 15 Schrauben in regelmäßigem Abstand am Flansch verteilt werden. Der ursprüngliche Prototyp aus [3] hat nur 6 M6-Schrauben vorgesehen. Damit die Symmetrie am Boilerflansch beibehalten werden kann und der Änderungsaufwand nicht zu groß wird, wurden für einen ersten Versuch nur 6 weitere Bohrungen an Boiler und Deckel zugefügt. So halten 12 M6-Schrauben die statische Verbindung aus Boiler, Dichtung und Deckel dicht. Der ursprüngliche Lochabstand wurde also halbiert. Sollte sich herausstellen, dass die Dichtigkeit nicht gegeben ist, bzw. die Schrauben der Belastung nicht standhalten, muss die Konstruktion entsprechend angepasst werden.

### Berechnung der auf den Deckel wirkenden Druckkraft $F$

$$F = p_e \cdot \frac{d_t^2 \cdot \pi}{4} = 18 \text{ N/cm}^2 \cdot \frac{(16,8 \text{ cm})^2 \cdot \pi}{4} = 3966 \text{ N} \approx 4 \text{ kN} \quad (29)$$

### Betriebskraft je Schraube $F_B$

$$F_B = \frac{F}{n} = \frac{4}{12} = 333 \text{ N} \quad (30)$$

Daraus ergibt sich nach [9b, TB 8-13] eine erforderliche **Schrauben-Festigkeitsklasse von 5,6**.



### Anzugsmoment $M_A$

Zuletzt kann noch das für den Einbau und Betrieb notwendige Anzugsmoment berechnet werden. Dieses ist auch im Montageplan wiederzufinden.

- **Einbauzustand:**  $M_{ADV} = 0,17 \cdot F'_{DV} \cdot d = 0,17 \cdot 36322 \text{ N} \cdot 6 \text{ mm} = 37 \text{ Nm}$  (31)

- **Betriebszustand:**  $M_{ASB} = 0,17 \cdot F_{SB} \cdot d = 0,17 \cdot 4872,8 \text{ N} \cdot 6 \text{ mm} = 5 \text{ Nm}$  (32)

## 10.3 Sonstige Bauteile

Die Einzelteile des Grundrahmens werden mithilfe von Spannstiften gegeneinander fixiert. Durch die wiederholte Montage und Demontage während der Inbetriebnahme der Kaffeemaschine wurden die Spannstifte noch nicht eingesetzt, da diese nur schwer ausgebaut werden können. Alle benötigten Schrauben, Muttern sowie Beilegscheiben wurden der fakultätsinternen Werkstatt entnommen. Des Weiteren wurden bei *AVS Römer* mehrere Bauteile nachbestellt. Dazu gehört der Schlauch, Reduziernippel, Doppel-Reduziernippel und lösbare Doppel-Nippel. Um die geraden Einschraub-Verschraubungen an dem Sammelblock sowie der Brühgruppe anbringen zu können, werden Gewindeeinsätze benötigt. Da die geplanten Gewindeeinsätze mit einem G1/8-Gewinde verzinkt sind, konnten diese aufgrund der geforderten Lebensmittelverträglichkeit nicht bestellt werden. Es wurden daher Gewindeeinsätze mit einem M10-Gewinde aus Messing bestellt. Die Übersetzung von M10 auf G1/8 erfolgt für den Prototypen mithilfe eines Adapters, der von Herrn Bichler sowie der fakultätsinternen Werkstatt hergestellt werden soll. Für die Serie muss eine Anpassung der Brühgruppe und des Sammelblocks erfolgen, um Gewindeeinsätze mit einem M5-Gewinde montieren zu können, da die geraden Einschraub-Verschraubungen von *Kerb Konus* auch mit einem M5 Gewinde lieferbar sind.

# 11 Bearbeitung von vorhandenen Bauteilen

Verfasst von Fabian Sinn

Im Laufe der Montage der Espressomaschine mussten einige der vorhandenen Bauteile konstruktiv verändert bzw. durch Anpassungen optimiert werden.

Zu Beginn wurde der Grundrahmen montiert, wobei hier bereits einige Anpassungen nötig waren. Das vorhandene Bodenblech wurde im lasergeschnittenen Rohzustand geliefert, sodass die Befestigungsglaschen, sowie die hintere Kante umgebogen werden mussten. Die Verbindung der Bodenplatte mit den Seitenwänden erfolgt mittels fünf M4-Schrauben. Hierfür mussten die vorhandenen Löcher auf den Durchmesser der zugehörigen Durchgangsbohrung aufgebohrt werden. Im weiteren Montageprozess wurden zusätzlich die Bohrungen zur Befestigung der elektrischen Bauteile vorgesehen. Diese umfassen die vier Bohrungen der Basisplatte (M2,5-Durchgangsbohrung), vier weitere für die SSR-Inseln (M2,5-Durchgangsbohrung). Das PWM-Modul, sowie der Phasenschnittregler sind mit jeweils zwei M4-Schrauben befestigt (M4-Durchgangsbohrung). Zuletzt wurden drei Löcher für das aufgestellte Netzteil (M3-Durchgangsbohrung) gesetzt. Die Positionierung der Bauteile erfolgte gemäß einer Orientierung an der CAD-Baugruppe, sowie dem Vorsehen von ausreichendem Platz an den Anschlüssen der elektronischen Bauteile.

Die Seitenwände sind aus Gründen der Montagefreundlichkeit symmetrisch aufgebaut. Damit ergeben sich zwar unbenutzte Bohrungen, die die Optik beeinflussen, was allerdings bei der labortechnischen Espressomaschine keine Rolle spielt. Deshalb sind an beiden Wänden die Löcher zur Befestigung der Bodenplatte (M4-Durchgangsbohrung), des Abfluss-Sammelblocks (M4-Durchgangsbohrung) und der vorderen Füße der Tropfschale (M4-Gewinde) angebracht worden.

Der Flachstab dient zur Befestigung der Hutschiene, welche die Magnetventil-Halter trägt. Deshalb wurde dieser mit zwei M5-Durchgangslöchern versehen, sodass hier die Hutschiene befestigt werden kann. Diese musste auf die entsprechende Länge gekürzt werden. Außerdem wurde beschlossen, an der Innenseite des Flachstabs die Platine zur Erdung aller elektronischen Bauteile anzubringen. Deshalb waren hier weiterhin zwei M3-Gewindebohrungen nötig.

Die Magnetventil-Halter wurden gemäß dem Bohrbild der Magnetventile für eine Montage vorbereitet. Da die Magnetventile mittels M3-Senkschrauben befestigt werden, sind hier dementsprechende Bohrungen gesetzt worden.

Zuletzt besteht der Grundrahmen noch aus drei L-Profilen, welche in ihrer Länge identisch sind. Diese wurden entsprechend ihrer Position mit Bohrungen für den hinteren Boilerhalter (M4-Langlöcher), der kalten Brühgruppe (M10-Durchgangsbohrung) und der Dampf- bzw. Teelanze (13,5mm Bohrungen) versehen. Damit konnte der Grundrahmen fertig montiert werden.

Bei der Konstruktion der kalten Brühgruppe wurde eine Einführfase an der Haltelasche vorgesehen, welche eine leichtere Montage ermöglichen sollte. Hier wurde bei der Konstruktion aber nicht beachtet, dass die Brühgruppe an dem L-Profil befestigt wird, weshalb die Lasche zu weit herausragt. Da die Brühgruppe jedoch Inhalt weiterer zukünftiger Projekte sein wird,

wurde die Lasche simpel mittels einer Säge gekürzt, sodass eine Montage möglich ist. Im Weiteren muss dieser Konstruktionsfehler behoben, sowie der Konus des Siebs vorgesehen werden.

Weiterer Inhalt der Arbeit war das Anpassen der Boilerdeckel für den 3,6l als auch für den 1,8l Boiler. Dafür musste in erster Linie der Füllstand beider Varianten berechnet werden, sodass die Heizelemente vollständig mit Wasser bedeckt sind, um ein Durchbrennen im Betrieb zu verhindern. Auf dieser Grundlage konnte dann die Position des Füllstandssensors festgelegt werden. Für die Berechnungen wurde ein MATLAB-Skript verfasst, welches die Füllhöhe des Zylinders in Abhängigkeit des gewünschten prozentualen Füllstands angibt. Dieses ist im *Anhang (A8)* zu finden.

In Absprache wurde beim 1,8l Boiler ein Füllvolumen von 78% festgelegt, um den Schutz des Heizelements vor Durchbrennen sicherzustellen. Im 3,6l Boiler ist ein Füllstand von mindestens 66% notwendig. Da diese 66% Boilerbefüllung ein Richtwert aus der Literatur ist, dessen Grundlage für die Festlegung nicht zufriedenstellend begründet wurde, soll der 3,6l Boiler als Experimentgrundlage dienen. Um den Einfluss des Füllvolumens auf das Aufheizverhalten und die erzeugte Dampfmenge zu testen, wurde der Füllstandssensor so weit oben wie möglich im Boilerdeckel platziert. Es wurde dabei auf Rotationsfreiheit des Sensorstabs geachtet. So kann der Füllstand durch ein Verdrehen des Messarms des Füllstandssensors beliebig zwischen der Untergrenze (*66% Befüllung*) und einer durch die Boilerabmaße limitierten Obergrenze variiert und der Einfluss entsprechend ermittelt werden.

Die Bearbeitungsmaßnahmen wurden in der vorhandenen CAD-Datei mit den Bauteilen im Labor abgeglichen und eine technische Zeichnung dafür erstellt. Die Arbeiten wurden dann nach Terminvereinbarung in der Werkstatt der Fakultät 03 der Hochschule München bzw. im Labor durchgeführt. Die erstellten Zeichnungen aller Bauteile werden bei der finalen Projektabgabe mitabgegeben.

# 12 Montage

Verfasst von Manuel Menrath

Der Zusammenbau der labortechnischen Espressomaschine erfolgt in mehreren Schritten, die in die verschiedenen Baugruppen unterteilt werden können.

Nachdem alle benötigten Bauteile für den Grundrahmen vorhanden sind und diese durch Veränderungen wie das Biegen des Bodenblechs, Aufbohren der Löcher in den Seitenwänden oder das Bohren der Löcher in den L-Profilen für den Zusammenbau vorbereitet wurden, kann dieser zusammengefügt werden. Zunächst werden die drei L-Profile in die erste Seitenwand gesteckt und anschließend kann die zweite Seitenwand montiert werden. Im Anschluss können der Flachstab sowie das Bodenblech eingesetzt werden. Das Bodenblech wird mit fünf M4-Schrauben inkl. Kontermuttern an den Seitenwänden befestigt. Die einzelnen Komponenten werden gegeneinander mit Spannstiften (DIN 1481 4x12) fixiert. Da der Prototyp allerdings mehrmals zusammen und wieder auseinander gebaut wird, wurden zur einfacheren Demontage nur zwei Spannstifte am Flachstab montiert. An den Grundrahmen werden die drei 3D-gedruckten Boiler-Halterungen angebracht, um den Boiler in seiner Endposition zu halten. Dabei wurden für den hinteren Boilerhalter M4-Langlöcher in das L-Profil gebohrt, um den Boiler mit seiner Isolierung am Ende in seiner Position ausrichten zu können. Des Weiteren werden der Sammelblock sowie die vorderen Füße mit der Tropfschalenhalterung mittels M4-Schrauben an den Seitenwänden montiert. An den Flachstab wird eine Hutschiene mit zwei M5-Schrauben befestigt, an der mithilfe der Ventilhaltern ein einfaches Montieren von fünf 2/2-Wege Magnetventilen ermöglicht wird [5].

Da die Bauteile Wasserwendel und Heizelement noch nicht final vorliegen und um eine Verzögerung des Projektes auszuschließen wird der Boiler im ersten Schritt nicht komplett zusammengebaut. Da das Lochbild der Boilerdeckel noch angepasst werden musste, wurde das Innenleben, bestehend aus Wasserwendel, Heizelement, Einfüllrohr, Dampfzange, Temperatursensor, Füllstandsensoren und Wasserauslass, zunächst nicht beachtet. Sobald alle benötigten Bauteile vorliegen, kann die Baugruppe Boiler final zusammengebaut werden. Für Einfüllrohr und Dampfzange sind Edelstahlrohre (8x1 mm) zu bestellen. Im letzten Schritt wird eine selbstklebende Isolierung (Armaflex) entsprechend der Länge der äußeren Isolierungsfaser für den Zylinder, sowie die Kreisplatte für die Boilerrückseite und der Boilervorderseite zurechtgeschnitten. An der Kreisplatte ist entsprechend der Größe des hinteren Boilerhalters die Dicke des Armaflex auf ca. 1cm zu reduzieren. Die Isolierung wird dann am Boiler festgeklebt, mittels Edelstahlschellen (am Prototypen durch Kabelbinder reduziert) befestigt und dient dazu, die Abwärme zu reduzieren und die Effizienz zu steigern [3].

In das obere L-Profil (aus Frontalsicht) wird die kalte Brühgruppe an der Lasche eingehängt und mittels zwei M10-Verschraubungen in ihrer Position gesichert. Zukünftig wird diese durch eine neue, im Labor schon vorliegende, Brühgruppe ersetzt. Das dabei vorgesehene Display ist zunächst nicht zu beachten, da es hierfür aktuell keine Halterung gibt, bzw. das Display zum jetzigen Entwicklungsstand noch nicht berücksichtigt wurde. An der Brühgruppe wird der Siebträger eingehängt, der ebenfalls als 3D gedrucktes Bauteil vorliegt. An der Rückseite der Brühgruppe gibt es zwei weitere Bohrungen, die die Brühwasserzufuhr sowie die Wasserrückfuhr

sicherstellen. Da die Brühgruppe in PA12 vorliegt und somit nicht lebensmittelverträglich ist, muss diese neu gefertigt werden [4].

Mit Hilfe des vorliegenden CAD-Modells der labortechnischen espressomaschine konnte der Aufbau der Hydraulik nachvollzogen werden. Zunächst wurden die fünf 2/2-Wege-Magnetventile an der Hutschiene mit den benötigten Anschlüssen und Schlauch-Stücken versorgt. Danach konnten die verschiedenen Sensoren, Drosseln und weitere fünf Magnetventile verbaut werden. Dabei wurde der Tassenwärmer sowie die Anschlüsse für den Boiler, aus Gründen des Entwicklungsstandes, zunächst nicht beachtet. Bei dem Hydraulikschlauch handelt es sich um einen PFA-Schlauch mit einem Durchmesser von 6mm und einer Wandstärke von 1mm. Bei dem Prototyp wurden AVS-Römer-Winkelstücke mit 90° verwendet, um die verschiedenen Richtungswechsel zu realisieren. In Zukunft sollen mithilfe eines PFA-Biegewerkzeugs gebogene Schläuche hergestellt werden. Dieses befindet sich allerdings noch in der Anfangsphase der Entwicklung und muss entsprechend weitergeführt werden.

Im letzten Schritt muss die Elektrik in die espressomaschine eingebaut werden. Zum Zeitpunkt der Projektarbeit befand sich die Basisplatte noch in der Entwicklung. Daher wurde auf dem Bodenblech der benötigte Platz frei gelassen. Befestigt wird diese mittels vier M2,5-Muttern, welche von unten verschraubt werden. Das Netzteil wird seitlich aufgestellt mit drei M3-Schrauben montiert, um eine gute Belüftung zu gewährleisten und Platz einzusparen. Die zehn verbauten Magnetventile (sechsmal 2/2-Wege-Magnetventile und viermal 3/2-Wege-Magnetventile) werden mit 230V durch die zwei SSR-Inseln geschaltet. Diese sind aufeinander montiert und werden mit vier M2,5-Muttern an dem Bodenblech fixiert. Das Heizelement wird mit einem niederfrequenten PWM-Signal durch ein SSR gesteuert. Der im Labor vorliegende Wechselstrommotor wird durch einen Phasenschnittregler angesteuert, dieser wird ebenso wie das SSR für das Heizelement mit zwei M4-Muttern befestigt. Die Kommunikation und Steuerung zwischen den einzelnen elektrischen Komponenten wird durch ein Raspberry Pi durchgeführt.

Um Rückschlüsse auf die Arbeitsvorgänge innerhalb der Projektarbeit zu ermöglichen, viel mehr aber um einen Anknüpfungspunkt für zukünftig anstehende Arbeiten zu schaffen, werden alle relevanten Arbeitsschritte schriftlich festgehalten. Aufgrund der Besonderheit, dass es sich bei dieser Arbeit um die Inbetriebnahme des Prototypen handelt, wird der Dokumentation eine weitere Aufgabe zuteil. Sie muss gewährleisten, dass die labortechnische espressomaschine von potenziellen Abnehmern ohne große Vorkenntnisse zusammengebaut, gewartet und gegebenenfalls erweitert werden kann. Hierfür wurden entsprechende Pläne zur Montage, dem Stromlauf (*Vgl. Anhang A9*) und der Verrohrung erstellt (*Vgl. Anhang A10*). Diese wurden gleichzeitig mit der Montage der labortechnischen espressomaschine angefertigt. Dies stellt sicher, dass alle Schritte des Zusammenbaus richtig und vollständig dokumentiert werden. Die gerade genannten Anleitungen wurden mit jeweils geeigneter Software erstellt.

# 13 Ausblick

Verfasst von Manuel Menrath und Fabian Sinn

Durch die ungeplanten, aber dennoch erforderlichen Anpassungen an Heizelement und Wasserwendel hat sich der Zeitplan der Projektgruppe erheblich geändert. Dadurch konnten die Arbeitspakete *PFA-Biegewerkzeug*, *Softwareentwicklung* und *Prüfung* nicht umgesetzt werden.

Ein erstes Gesamtkonzept für das PFA-Biegewerkzeug ist in [6] aufgeführt. Um die Entwicklung voranzutreiben ist es notwendig, eine erste Konstruktion der Formhälften zu erstellen sowie eine Materialauswahl zu treffen. Erste Überlegungen haben ergeben, dass bei der Erwärmung des Perfluoralkoxy-Polymers (PFA) Flusssäure (HF) entsteht, was den Werkstoff Aluminium durch einsetzende Korrosion nicht geeignet macht. Deshalb sollte hierbei auf korrosionsbeständigen Stahl, wie z.B. V4A (1.4404) ausgewichen werden. Danach kann die erforderliche Heizleistung des Werkzeugs errechnet werden. Für die Heizelemente sind entsprechende Lieferanten zu finden, um im Anschluss eine Bestellung durchzuführen.

Da die Basisplatte für den Prototypen der labortechnischen espressomaschine während der Projektarbeit nicht fertig wurde, wurde der benötigte Platz inkl. Bohrungen auf dem Bodenblech frei gelassen. Nach Fertigstellung der Basisplatte kann die Softwareentwicklung durchgeführt werden und die Verkabelung der Sensoren erfolgen. Gleichzeitig ist der Schaltplan zu erweitern und zu vervollständigen.

Aus den Erkenntnissen der bereits durchgeführten FMEA soll ein Prüfplan entwickelt werden. Außerdem sind Dichtheits- und Funktionsprüfungen durchzuführen, sobald die espressomaschine betriebsbereit ist. Während den Prüfungen ist unter anderem zu testen, in welcher Stärke die Boilerdichtung, 1mm oder 2mm, zu verbauen ist. Da die Dichtungsdicke erheblich die nötige Kraft zur Verformung der Dichtungsfläche beeinflusst, ist der heutige Stand die Empfehlung der 1mm Platte. Damit ist im Weiteren eine Überprüfung der Dichtigkeit unter Betriebsbedingungen durchzuführen.

Wie in Kapitel 12 bereits beschrieben sind der Sammelblock sowie die Brühgruppe für die benötigten Gewindeeinsätze anzupassen. Da die vorhandene Brühgruppe im Labor nicht lebensmittelverträglich ist (PA12), muss diese sowieso neu gefertigt werden. Da die geraden Einschraub-Verschraubungen von *Kerb Konus* auch mit einem M5-Gewinde erhältlich sind, sollen Sammelblock und Brühgruppe so angepasst werden, dass M5-Gewindeeinsätze montierbar sind. Für den Prototypen wurden M10-Gewindeeinsätze bestellt und montiert. Hierfür müssen in der fakultätsinternen Werkstatt Adapter gefertigt werden, die die erforderliche Übersetzung von M10 auf G1/8 vorweisen. Die Zeichnung zu diesem Adapter ist im *Anhang (A2)* zu finden.

Des Weiteren muss für die Baugruppe Boiler noch ein passender Schellenlieferant gefunden werden, um die Boilerisolierung dauerhaft zu fixieren. Für Dampfzange und Einfüllrohr des Boilers werden Edelstahlrohre (8x1 mm) benötigt.

# 14 Fazit

Verfasst von Manuel Menrath und Fabian Sinn

Das Thema dieser Projektarbeit war die erstmalige Inbetriebnahme der labortechnischen Espressomaschine. Dabei galten der Verrohrung und Verkabelung der Maschine besonderes Augenmerk. Trotz der unerwarteten Konstruktionsänderungen von Wasserwendel und Heizelement konnte eine Vielzahl an ToDo's erledigt werden. Die Montage und somit die Inbetriebnahme der labortechnischen Espressomaschine wurde größtenteils durchgeführt. Sobald alle bestellten Bauteile wie zum Beispiel Wasserwendel, Heizelement oder Boilerdeckel vorhanden sind, können diese eingebaut und die Inbetriebnahme beendet werden. Die Aufgabe weiterer zukünftiger Projektgruppen wird außerdem nach Fertigstellung der Basisplatine die Ausarbeitung einer passenden Regelungssoftware. Anschließend können verschiedenste Prüfungen durchgeführt und die Espressomaschine in der Praxis getestet werden.

# 15 Literaturverzeichnis

- [1] **Kilian Stach.** *Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine.* Bachelor-Thesis. 2018.
- [2] **Rawad Alshikh, Frank Hadwiger, Timo Sieber.** *Inbetriebnahme der Labor-Espressomaschine.* Projektarbeit. 2018.
- [3] **Tobias Blädel, Til Ahlgrim, Lukas Ankner, Yasin Bolat, Fabian Weber, Florian Michal.** *Weiterführung der Konstruktion einer Siebträger-Espressomaschine.* Projektarbeit. 2020.
- [4] **Tolga Acar, Antonia Huber, Karim Ragab, Kerstin Seitz.** *Konstruktion der Brühgruppe und zugehöriger Siebträger für den 3D-Druck.* Projektarbeit. 2021.
- [5] **Fabian Weber.** *Mechatronische Entwicklung und Inbetriebnahme einer labortechnischen Espressomaschine.* Bachelor-Thesis. 2021.
- [6] **Florian Johann Michal.** *Entwicklung und Inbetriebnahme des hydraulischen Aufbaus einer labortechnischen Espressomaschine.* Bachelor-Thesis. 2021.
- [7a] **Volker Gnielinski.** *G3: Wärmeübertragung bei erzwungener Konvektion: Durchströmte Rohrwendel.* in **Peter Stephan et al.** VDI-Wärmeatlas. *Fachlicher Träger VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen*, 12. Auflage. Springer: Berlin 2019.
- [7b] **Wolfgang Wagner, Hans-Joachim Kretzschmar.** *D2.1: Thermophysikalische Stoffeigenschaften: Stoffwerte von bedeutenden reinen Fluiden: Wasser.* in **Peter Stephan et al.** VDI-Wärmeatlas. *Fachlicher Träger VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen*, 12. Auflage. Springer: Berlin 2019.
- [7c] **Hermann Nirschl.** *L1.2: Strömungsdynamik und Druckverlust: Einphasige Strömung: Druckverlust in durchströmten Rohren.* in **Peter Stephan et al.** VDI-Wärmeatlas. *Fachlicher Träger VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen*, 12. Auflage. Springer: Berlin 2019.
- [8] **Christian Karpfinger.** *Höhere Mathematik in Rezepten. Begriffe, Sätze und zahlreiche Beispiele in kurzen Lerneinheiten*, 3. Auflage. Springer: München 2017.
- [9a] **Herbert Wittel et al.** *Roloff/Matek Maschinenelemente. Normung – Berechnung – Gestaltung*, 23. Auflage. Springer: Wiesbaden 2017.
- [9b] **Herbert Wittel et al.** *Roloff/Matek Maschinenelemente. Tabellenbuch*, 23. Auflage. Springer: Wiesbaden 2017.
- [10] **Eckehard F. Schmidt.** *Chemie Ingenieure Technik. Wärmeübergang und Druckverlust in Rohrschlangen.* Ausgabe 39, 781–789 (1967).
- [11] **Erwin Zauner.** *Vorlesungsskript Modul Thermodynamik und Wärmeübertragung I. Wärmeübertragung I.* Hochschule München: 2020.

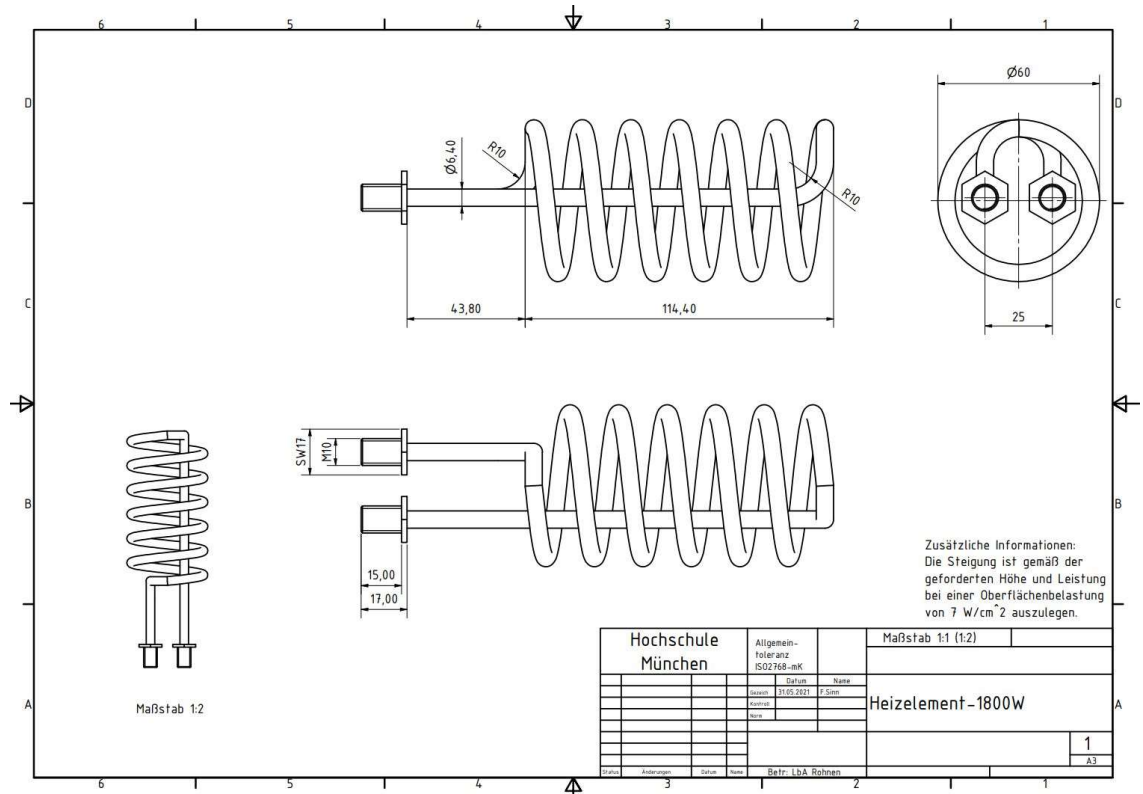
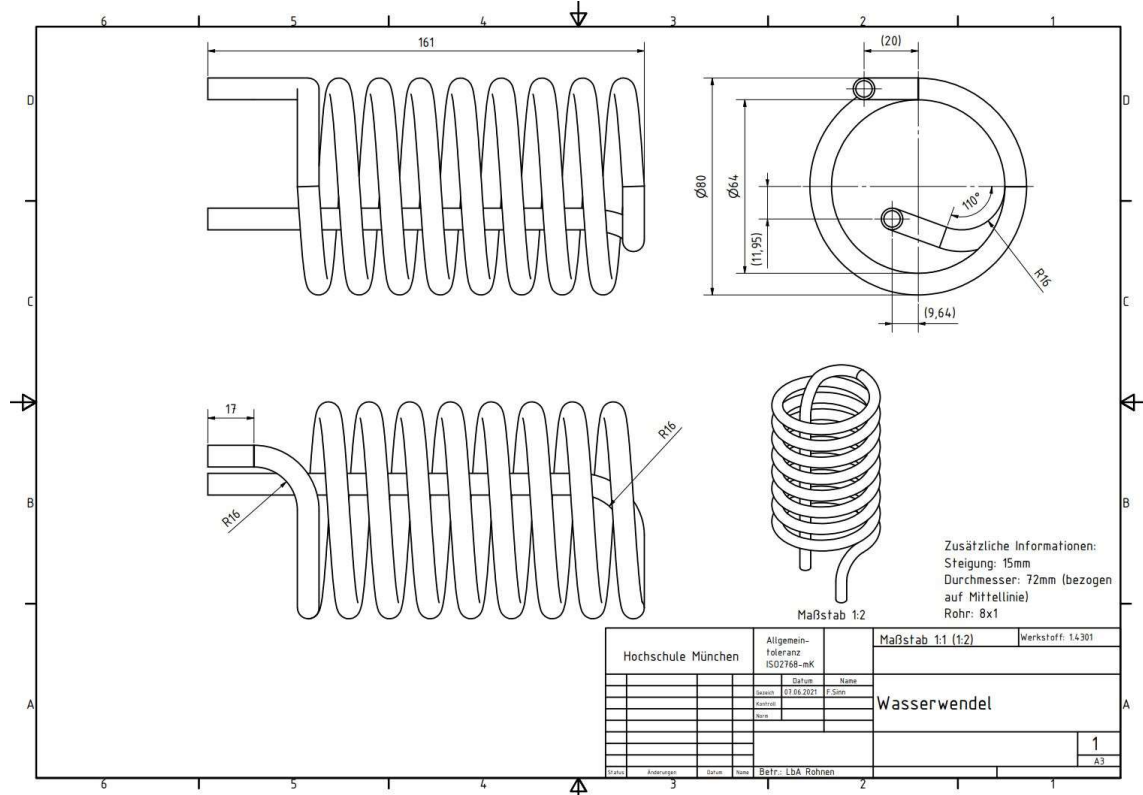


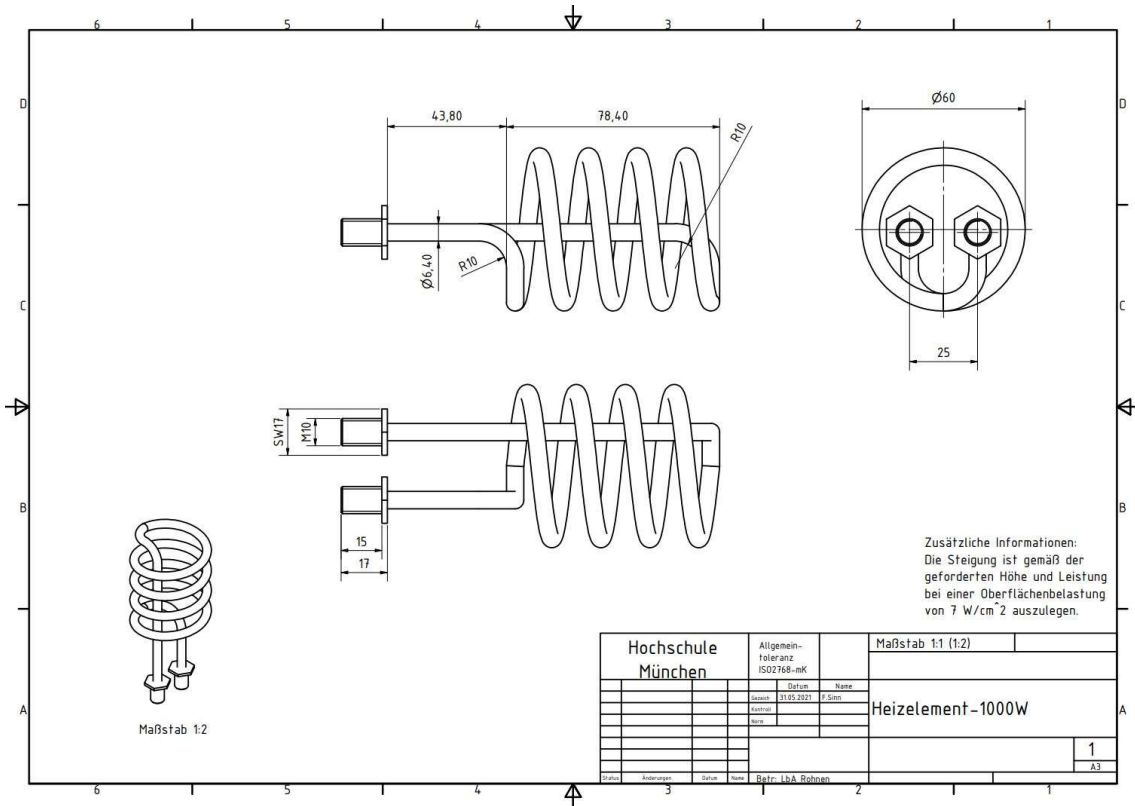
- [12] **VDI.** VDI 2055 Blatt 1. *Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung – Berechnungsgrundlagen.* September 2008.
- [13] **Peter Hakenesch.** Vorlesungsskript Modul Technische Strömungsmechanik. *Fluidmechanik.* 3. Auflage. Hochschule München: 2014.
- [14] **EDQM.** Metals and alloys used in food contact materials and articles. *A practical guide for manufacturers and regulators.* 1. Auflage. Council of Europe: 2013.
- [15] **Informationsstelle Edelstahl Rostfrei.** Merkblatt 914: *Nichtrostender Stahl – wenn die Gesundheit zählt.* 1. Auflage. ISER-Publikation: 2009.
- [16] **KINGER Kempchen GmbH.** KLINGER Kempchen. *Dichtungen – Packungen – Kompensatoren.* [www.klinger-kempchen.de](http://www.klinger-kempchen.de): Oberhausen 2019.
- [17] Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- [18] **Rat der europäischen Union.** Richtlinie 98/83/EG des Rates: *über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.* Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft: 1998.
- [19] **Europäisches Parlament und Rat der europäischen Union.** Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 des europäischen Parlaments und des Rates: 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. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft: 2004.
- [20] **DIN e.V. (Hrsg.).** DIN 50930-6: Korrosion metallischer Werkstoffe im Innenraum von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei der Korrosionsbelastung durch Wasser. *Teil 6: Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit.* Beuth: Berlin 2001.
- [21] **DIN e.V. (Hrsg.).** DIN 28040:2013-09: Flanschverbindungen für Apparate. *Flachdichtungen.* Beuth: Berlin 2013.
- [22] **DIN e.V. (Hrsg.).** DIN EN 1514-1:1997: Flansche und ihre Verbindung – Maße für Dichtungen für Flansche mit PN-Bezeichnung. *Teil 1: Flachdichtungen aus nichtmetallischen Werkstoffen oder ohne Einlagen.* Beuth: Berlin 1997.
- [23] **Europäisches Parlament und Rat der europäischen Union.** Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates: *zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt (Neufassung):* 2014.
- [24] **Verband der Technischen Überwachungsvereine (Hrsg.).** AD-Merkblatt B7: Berechnung von Druckbehältern. *Schrauben.* Beuth: Berlin 2017.
- [25] Betriebssicherheitsverordnung vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), die zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146) geändert worden ist.

# Anhang

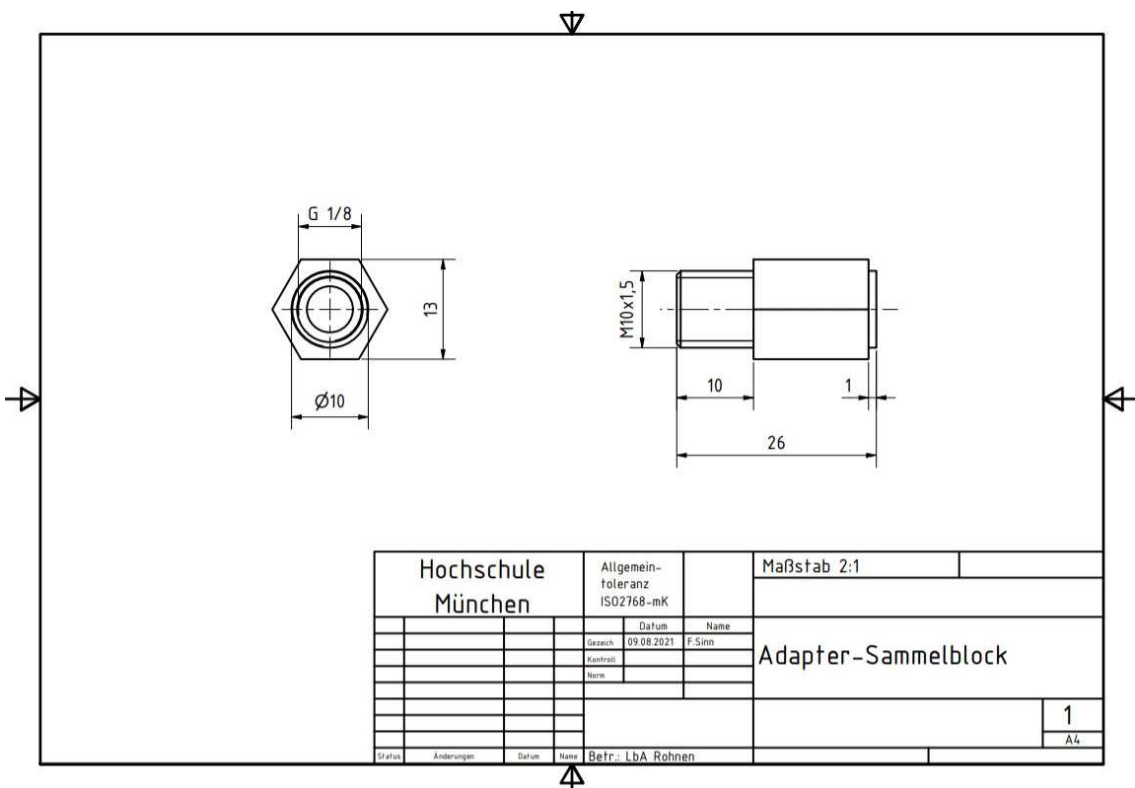
## Anhang A1:

### Zeichnungsableitung Wasserwendel und Heizelemente





Anhang A2: Zeichnungsableitung Adapter Sammelblock



**Anhang A3:**           Werkstoffdatenblätter

Die Werkstoffdatenblätter sind in der unten angeführten Reihenfolge angehängt:

- a) Datenblatt 1.4301
- b) Datenblatt 1.4404
- c) Datenblatt 1.4541
- d) Datenblatt PTFE

### NICHTTROTENDER AUSTENITISCHER STAHL

#### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (IN MASSEN-% NACH DIN EN 10088-3)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
min.	-	-	-	-	-	17,5	8,0	-
max.	0,07	1,0	2,0	0,045	0,03	19,5	10,5	0,1

#### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (IN MASSEN-% NACH ASTM A276)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
min.	-	-	-	-	-	18,0	8,0
max.	0,08	1,0	2,0	0,045	0,03	20,0	11,0

Kundenspezifische Einschränkungen der Normanalyse sind nach Rücksprache mit der Deutschen Edelstahlwerke GmbH möglich.

### VERWENDUNGSHINWEISE

Acidur 4301 ist ein austenitischer Chrom-Nickel-Stahl. Aufgrund der hohen Korrosionsbeständigkeit, der guten Verarbeitungseigenschaften und des attraktiven Aussehens (Ausführungsarten: glanzpoliert, geschliffen oder gebürstet) findet diese Güte in zahlreichen Gebieten Anwendung. Im geschweißten Zustand ist Acidur 4301 jedoch nicht beständig gegen interkristalline Korrosion. Falls ein Schweißen nicht vermieden werden kann, empfiehlt sich die Anwendung von Acidur 4307.

#### ALLGEMEINE EIGENSCHAFTEN

Korrosionsbeständigkeit	gut
Mechanische Eigenschaften	mittel
Schmiedbarkeit	gut
Schweißbeignung	ausgezeichnet
Spanbarkeit	mittel

### NORMEN UND BEZEICHNUNGEN

DIN EN 10088-3	1.4301 X5CrNi18-10
AISI	304
UNS	S30400
B.S.	304S31
JIS	SUS304
AFNOR	Z7CN18-09
SS	2333
GOST	08Ch18N10
UNE	F.3504

### BESONDERE EIGENSCHAFTEN

- » polierfähig
- » für Tieftemperaturen geeignet
- » bis 550°C verwendbar
- » verbesserte Zerspanung bei Sondergüte

### PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Dichte in kg/dm <sup>3</sup>	7,9
Elektrischer Widerstand bei 20°C in (Ω mm <sup>2</sup> )/m	0,73
Magnetisierbarkeit	sehr gering <sup>1</sup>
Wärmeleitfähigkeit bei 20°C in W/(m K)	15
Spezifische Wärmekapazität bei 20°C in J/(kg K)	500
E-Modul in GPa bei	
» 20°C	200
» 100°C	194
» 200°C	186
» 300°C	179
» 400°C	172
» 500°C	165
Mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient in 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	
» 20°C - 100°C	16,0
» 20°C - 200°C	16,5
» 20°C - 300°C	17,0
» 20°C - 400°C	17,5
» 20°C - 500°C	18,0

<sup>1</sup> Der Werkstoff kann im abgeschreckten Zustand leicht magnetisierbar sein. Mit steigender Kaltverformung nimmt die Magnetisierbarkeit zu.

### VERARBEITUNG

Spangebende Verarbeitung	ja
Freiform- und Gesenkschmieden	ja
Kaltumformung	ja
Kaltstauchen	ja
Polierbarkeit	ja

### TEMPERATUREN FÜR WARMUMFORMUNG UND WÄRMEBEHANDLUNG

#### WARMUMFORMUNG

	Temperatur in °C	Abkühlung
	1200 - 900	Luft

#### WÄRMEBEHANDLUNG

	Temperatur in °C	Abkühlung
Lösungsglühen (+AT)	1000 - 1100	Luft, Wasser, rasche Abkühlung

Da diese Güte zur Ausscheidung von Chromkarbiden neigt, muss die Zeit im Temperaturbereich von 400°C - 850°C sowohl bei der Herstellung als auch bei der Verarbeitung begrenzt werden.

### ANWENDUNGSGEBIETE

- » Automobilindustrie
- » Bauindustrie
- » Chemische Industrie
- » Dekorative Zwecke und Kücheneinrichtung
- » Elektronische Ausrüstung
- » Erdölindustrie / petrochemische Industrie
- » Lebensmittelindustrie
- » Behälterbau
- » Architekturelemente

Hinweis: Lieferung gemäß bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 und Druckbehälternorm DIN EN 10272.

### KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT (PREN = 17,5 – 21,1)

Die Bildung von Chromkarbiden auf den Korngrenzen und die damit einhergehende Chromverarmung in den umgebenden Bereichen macht Acidur 4301 anfällig für interkristalline Korrosion. Acidur 4301 ist gemäß DIN EN ISO 3651 Teil 2 nur im Lieferzustand und nicht nach Sensibilisierung beständig gegen interkristalline Korrosion. Acidur 4301 zeigt eine gute Korrosionsbeständigkeit in natürlichen Umweltmedien bei Abwesenheit von größeren Chlor- und Salzkonzentrationen. Jedoch ist dieser austenitische Stahl weder für den Einsatz in Meerwasser noch für den Einsatz in Schwimmbädern geeignet.

Angriffsmittel	Konzentration	Temperatur	Beständigkeit
NaCl	gesättigt	20°C	Gefahr der Lochkorrosion
Meerwasser	-	20°C	Gefahr der Lochkorrosion
Wasserdampf	-	400°C	beständig
Salpetersäure	7 %	20°C	beständig
Schwefelsäure	1 %	20°C	geringer Angriff
Ameisensäure	10 %	20°C	beständig

Grundlage dieser Korrosionsbeständigkeitsangaben sind Laborversuche mit reinen Angriffsmitteln und optimalen Probenkörpern. Hinweis: Bei diesen Ergebnissen handelt es sich um eine unverbindliche Angabe.

### SCHWEISSEN

Acidur 4301 ist mit und ohne Schweißzusatzwerkstoff gut schweißbar. Als Schweißzusatz ist 1.4316 (AISI 308L) zu empfehlen. Die maximale Zwischentemperatur beträgt 200°C. Wenn der Kohlenstoffgehalt im oberen Bereich liegt, sollte nach dem Schweißen ein Lösungsglühen erfolgen. Ist keine Wärmebehandlung vorgesehen, empfiehlt sich die Verwendung der kohlenstoffärmeren Variante Acidur 4307. Die Korrosionsbeständigkeit wird durch die Wärmebringung beim Schweißen beeinflusst.

### SCHMIEDEN

Acidur 4301 wird üblicherweise langsam auf ca. 1150°C - 1180°C erwärmt, so dass im Temperaturbereich zwischen 1180°C - 950°C geschmiedet werden kann. Die Abkühlung findet an Luft oder in Wasser statt. Anlauffarben oder Zunder reduzieren die Korrosionsbeständigkeit und müssen durch chloridfreie chemische oder mechanische Verfahren beseitigt werden.

### KALTUMFORMUNG

Acidur 4301 ist nach DIN EN 10263-5 für die Kaltmassivumformung geeignet. Auf besseres Kaltumformungsverhalten modifizierte Analysen sind auf Anfrage verfügbar.

### MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN BEI RAUMTEMPERATUR IM LÖSUNGSGEGLÜHTEN ZUSTAND (+AT) NACH DIN EN 10088-3

Ø in mm	Härte in HB	R <sub>p0,2</sub> in MPa	R <sub>p1,0</sub> in MPa	R <sub>m</sub> in MPa	A <sub>5</sub> in %		AV in J	
					längs	quer	längs	quer
≤ 160	≤ 215	≥ 190	≥ 225	500 - 700	≥ 45	-	≥ 100	-
160 < d ≤ 250	≤ 215	≥ 190	≥ 225	500 - 700	-	≥ 35	-	≥ 60

Für dickere Abmessungen (d > 250 mm) müssen die mechanischen Eigenschaften vereinbart werden oder die Lieferung geschieht in Anlehnung an die angegebenen Werte.

### MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN BEI RAUMTEMPERATUR IM LÖSUNGSGEGLÜHTEN ZUSTAND (A) NACH ASTM A276

Ø in mm	Härte in HB	R <sub>p0,2</sub> in MPa	R <sub>p1,0</sub> in MPa	R <sub>m</sub> in MPa	A <sub>2"</sub> in %		Z in %
					längs	quer	
alle	-	≥ 205	-	≥ 515	≥ 40	-	≥ 50

### MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN BEI ERHÖHTEN TEMPERATUREN IM LÖSUNGSGEGLÜHTEN ZUSTAND (+AT) NACH DIN EN 10088-3

Temperatur in °C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
R <sub>p0,2</sub> in MPa	≥ 155	≥ 140	≥ 127	≥ 118	≥ 110	≥ 104	≥ 98	≥ 95	≥ 92	≥ 90
R <sub>p1,0</sub> in MPa	≥ 190	≥ 170	≥ 155	≥ 145	≥ 135	≥ 129	≥ 125	≥ 122	≥ 120	≥ 120

Abweichend von den mechanisch-technologischen Eigenschaften der Norm sind kundenspezifische Werte nach der Abstimmung mit der Deutschen Edelstahlwerke GmbH möglich.



### NICHTTROTENDER AUSTENITISCHER STAHL

#### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (IN MASSEN-% NACH DIN EN 10088-3)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N
min.	-	-	-	-	-	16,5	2,0	10,0	-
max.	0,03	1,0	2,0	0,045	0,03	18,5	2,5	13,0	0,1

#### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (IN MASSEN-% NACH ASTM A276)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N
min.	-	-	-	-	-	16,0	2,0	10,0	-
max.	0,03	0,75	2,0	0,045	0,03	18,0	3,0	14,0	0,1

Kundenspezifische Einschränkungen der Normanalyse sind nach Rücksprache mit der Deutsche Edelstahlwerke GmbH möglich.

### VERWENDUNGSHINWEISE

Acidur 4404 gehört zu den gebräuchlichen korrosionsbeständigen Edelstahlsorten. Durch seinen Molybdän-Gehalt zeichnet er sich durch eine hohe Beständigkeit gegenüber nichtoxidierenden Säuren und halogenhaltigen Medien aus. Darüber hinaus ist Acidur 4404 gut zu verarbeiten und kann bei Temperaturen von bis zu 550°C eingesetzt werden.

#### NORMEN UND BEZEICHNUNGEN

DIN EN 10088-3	1.4404 X2CrNiMo17-12-2
AISI	316L
UNS	S31603
JIS	SUS316L
B.S.	316S11
SS	2348
AFNOR	Z3CND17-11-02

### ALLGEMEINE EIGENSCHAFTEN

Korrosionsbeständigkeit	sehr gut
Mechanische Eigenschaften	mittel
Schmiedbarkeit	gut
Schweißbeignung	ausgezeichnet
Spanbarkeit	mittel

### BESONDERE EIGENSCHAFTEN

- » polierfähig
- » im Dauerbetrieb bis 300°C beständig gegen interkristalline Korrosion
- » für Tieftemperaturen geeignet
- » für den Einsatz bei Temperaturen bis 550°C geeignet

### PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Dichte in kg/dm <sup>3</sup>	8,0
Elektrischer Widerstand bei 20°C in (Ω mm <sup>2</sup> )/m	0,75
Magnetisierbarkeit	gering <sup>1</sup>
Wärmeleitfähigkeit bei 20°C in W/(m K)	15
Spezifische Wärmekapazität bei 20°C in J/(kg K)	500
E-Modul in GPa bei	
» 20°C	200
» 100°C	194
» 200°C	186
» 300°C	179
» 400°C	172
» 500°C	165
Mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient in 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	
» 20°C - 100°C	16,0
» 20°C - 200°C	16,5
» 20°C - 300°C	17,0
» 20°C - 400°C	17,5
» 20°C - 500°C	18,0

<sup>1</sup>Der Werkstoff kann im abgeschreckten Zustand schwach magnetisierbar sein. Mit steigender Kaltverformung nimmt die Magnetisierbarkeit zu.

### ANWENDUNGSGEBIETE

- » Chemische und pharmazeutische Industrie
- » Lebensmittelindustrie
- » Armaturen- und Anlagenbau
- » Bauindustrie
- » Offshore
- » Petrochemie
- » Automobilindustrie
- » Dekorative Zwecke und Kücheneinrichtungen
- » Elektronische Ausrüstung
- » Luftfahrt
- » Maschinenbau

Hinweis: Lieferung gemäß bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 und Druckbehälternorm DIN EN 10272.

### VERARBEITUNG

Spangebende Verarbeitung	ja
Freiform- und Gesenkschmieden	ja
Kaltumformung	ja
Kaltstauchen	ja
Polierbarkeit	ja

### TEMPERATUREN FÜR WARMUMFORMUNG UND WÄRMEBEHANDLUNG

#### WARMUMFORMUNG

	Temperatur in °C	Abkühlung <sup>1</sup>
	1200 - 900	Luft, Wasser

#### WÄRMEBEHANDLUNG

	Temperatur in °C	Abkühlung <sup>1</sup>
Lösungsglühen (+AT)	1020 - 1120	Wasser, Luft

<sup>1</sup>abhängig von den Abmessungen

### MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN BEI RAUMTEMPERATUR IM LÖSUNGSGEGLÜHTEN ZUSTAND (+AT) NACH DIN EN 10088-3

Ø in mm	Härte in HB	R <sub>p0,2</sub> in MPa	R <sub>p1,0</sub> in MPa	R <sub>m</sub> in MPa	A <sub>5</sub> in %		AV in J		Z in %
					längs	quer	längs	quer	
≤ 160	≤ 215	≥ 200	≥ 235	500 - 700	≥ 40	-	≥ 100	-	-
160 < d ≤ 250	≤ 215	≥ 200	≥ 235	500 - 700	-	≥ 30	-	≥ 60	-

Für dickere Abmessungen (d > 250 mm) müssen die mechanischen Eigenschaften vereinbart werden oder die Lieferung erfolgt in Anlehnung an die angegebenen Werte.

### MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN BEI RAUMTEMPERATUR IM LÖSUNGSGEGLÜHTEN ZUSTAND (A) NACH ASTM A276

Ø in mm	Härte in HB	R <sub>p0,2</sub> in MPa	R <sub>p1,0</sub> in MPa	R <sub>m</sub> in MPa	A <sub>2"</sub> in %		AV in J		Z in %
					längs	quer	längs	quer	
alle	-	≥ 170	-	≥ 485	≥ 40	-	-	-	≥ 50

### MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN BEI ERHÖHTEN TEMPERATUREN IM LÖSUNGSGEGLÜHTEN ZUSTAND (+AT) NACH DIN EN 10088-3

Temperatur in °C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
R <sub>p0,2</sub> in MPa	≥ 165	≥ 150	≥ 137	≥ 127	≥ 119	≥ 113	≥ 108	≥ 103	≥ 100	≥ 98
R <sub>p1,0</sub> in MPa	≥ 200	≥ 180	≥ 165	≥ 153	≥ 145	≥ 139	≥ 135	≥ 130	≥ 128	≥ 127

#### SCHMIEDEN

Acidur 4404 wird üblicherweise langsam auf 1150°C – 1180°C erwärmt, so dass im Temperaturbereich 900°C – 1180°C geschmiedet werden kann. Falls kein Verzug zu erwarten ist, findet eine rasche Abkühlung an Wasser (oder Luft) statt, um die Bildung von unerwünschten Phasen zu vermeiden, die die Korrosionsbeständigkeit und mechanischen Eigenschaften verschlechtern. Anlauffarben bzw. Zunder reduzieren die Korrosionsbeständigkeit und müssen durch Beizen oder andere geeignete Verfahren beseitigt werden.

#### KALTUMFORMUNG

Acidur 4404 ist nach DIN EN 10263-5 für die Kaltmassivumformung geeignet. Auf Anfrage sind auf besseres Kaltumformungsverhalten modifizierte Analysen verfügbar.

### KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT (PREN = 23,1-28,5)

Die Korrosionsbeständigkeit (insbesondere bei Anwesenheit von Chloriden) ist aufgrund von 2-2,5 % Molybdän-Zusatz deutlich besser als die von den nicht rostenden Güten Acidur 4301 und Acidur 4307. In natürlichen Umweltmedien und Industriegebieten mit mäßigen Chlor- und Salzkonzentrationen sowie in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie zeigt Acidur 4404 eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit. Aufgrund des niedrigen Kohlenstoffgehaltes ist Acidur 4404 beständig gegen interkristalline Korrosion gemäß DIN EN ISO 3651 Teil 2 (auch nach dem Schweißen). Jedoch ist Acidur 4404 nicht meerwasserbeständig.

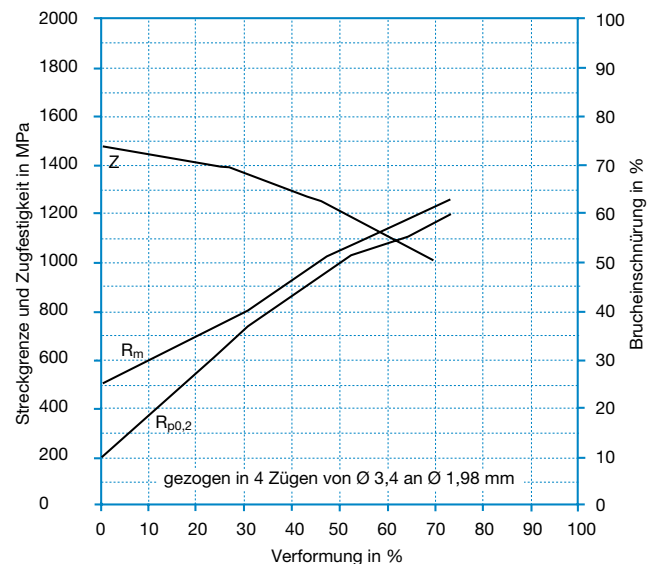
Angriffsmittel	Konzentration	Temperatur	Beständigkeit
NaCl	gesättigt	20°C	Gefahr von Lochkorrosion
Meerwasser	-	20°C	Gefahr von Lochkorrosion
Wasserdampf	-	400°C	beständig
Salpetersäure	7 %	20°C	beständig
Schwefelsäure	1 %	20°C	beständig
Ameisensäure	10 %	20°C	beständig

Grundlage dieser Korrosionsbeständigkeitsprüfungen sind Laborversuche mit reinen Angriffsmitteln und optimalen Probenkörpern. Hinweis: Bei diesen Ergebnissen handelt es sich um eine unverbindliche Angabe.

### SCHWEISSEN

Acidur 4404 ist mit und ohne Schweißzusatzstoff (z. B. 1.4430) gut schweißbar. Die Zwischenlagentemperatur sollte 200°C nicht überschreiten. Eine anschließende Wärmebehandlung ist nicht erforderlich. Positiv ist die durch das Schweißen unbeeinflusste Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion (gem. DIN EN ISO 3651 Teil 2).

### VERFESTIGUNGSDIAGRAMM



### NICHTTROTENDER AUSTENITISCHER STAHL

#### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (IN MASSEN-% NACH DIN EN 10088-3)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti
min.	-	-	-	-	-	17,0	9,0	5xC
max.	0,08	1,0	2,0	0,045	0,03	19,0	12,0	0,7

#### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (IN MASSEN-% NACH ASTM A276)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti
min.	-	-	-	-	-	17,0	9,0	5x(C+N)
max.	0,08	1,0	2,0	0,045	0,03	19,0	12,0	0,7

Kundenspezifische Einschränkungen der Normanalyse sind nach Rücksprache mit der Deutschen Edelstahlwerke GmbH möglich.

### VERWENDUNGSHINWEISE

Bei Acidur 4541 ist der Kohlenstoff durch den Karbidbildner Titan abgebunden. Deshalb kann dieser Stahl unabhängig von der Dicke ohne Gefahr der interkristallinen Korrosion geschweißt werden. Eine Wärmenachbehandlung ist nicht notwendig. Acidur 4541 weist eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eine gute Kaltumformbarkeit auf. Aufgrund dieser Eigenschaften wird diese Güte in großem Umfang für geschweißte Teile im chemischen Apparatebau sowie in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Darüber hinaus ist Acidur 4541 nach der Druckgeräte-Richtlinie 97/23 EG bis 40°C zugelassen.

### BESONDERE EIGENSCHAFTEN

- » amagnetische Güte ( $\mu_r < 1,3$ )
- » bis 550°C einsetzbar

### NORMEN UND BEZEICHNUNGEN

DIN EN 10088-3	1.4541
DIN EN 10088-5	X6CrNiTi18-10
DIN EN 10222-5	
DIN EN 10250-4	
DIN EN 10263	
DIN EN 10272	
SEL	
LUFTFAHRT	WL 1.4544
AISI	321
UNS	S32100
AFNOR	Z6CNT18-10
B.S.	321S31, 321S51
SS	2337
JIS	SUS321

### PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Dichte in kg/dm <sup>3</sup>	7,9
Elektrischer Widerstand bei 20°C in (Ω mm <sup>2</sup> )/m	0,73
Magnetisierbarkeit	gering <sup>1</sup>
Wärmeleitfähigkeit bei 20°C in W/(m K)	15
Spezifische Wärmekapazität bei 20°C in J/(kg K)	500
E-Modul in GPa bei	
» 20°C	200
» 100°C	194
» 200°C	186
» 300°C	179
» 400°C	172
» 500°C	165
Mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient in 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	
» 20°C - 100°C	16,0
» 20°C - 200°C	16,5
» 20°C - 300°C	17,0
» 20°C - 400°C	17,5
» 20°C - 500°C	18,0

<sup>1</sup> Der Werkstoff kann im abgeschreckten Zustand leicht magnetisierbar sein. Mit steigender Kaltverformung nimmt die Magnetisierbarkeit zu.

### ALLGEMEINE EIGENSCHAFTEN

Korrosionsbeständigkeit	gut
Mechanische Eigenschaften	mittel
Schmiedbarkeit	mittel
Schweißbeignung	ausgezeichnet
Spanbarkeit	schlecht

### ANWENDUNGSGEBIETE

- » Automobilindustrie
- » Bauindustrie
- » Chemische Industrie
- » Lebensmittelindustrie
- » Maschinenbau
- » Kerntechnik
- » Zellstoff- und Papierindustrie

Hinweis: Lieferung gemäß bauaufsichtlicher Zulassung Z-30-3.6 und Druckbehälternorm DIN EN 10272.

### TEMPERATUREN FÜR WARMUMFORMUNG UND WÄRMEBEHANDLUNG

Der Bereich zwischen 600°C und 900°C muss schnell durchlaufen werden, um die Bildung von spröden und geringer korrosionsbeständigen intermetallischen Phasen (z. B. der Sigmaphase) zu vermeiden.

Die bei der Warmumformung entstehenden Anlauf-farben oder Zunderbildung beeinträchtigen die Korrosionsbeständigkeit. Sie müssen durch Beizen bzw. Schleifen oder Sandstrahlen entfernt werden.

### WARMUMFORMUNG

	Temperatur in °C	Abkühlung
	1200 - 900	Luft oder Wasser

### WÄRMEBEHANDLUNG

	Temperatur in °C	Abkühlung
Lösungsglühen (+AT)	1020 - 1120	Wasser, Luft, rasche Abkühlung

### KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT (PREN = 17,0 – 19,0)

Acidur 4541 zeigt eine gute Korrosionsbeständigkeit in den meisten natürlichen Wässern ländlicher und städtischer Atmosphäre; vorausgesetzt, dass Chlor- und Salzkonzentrationen sowie die Konzentrationen von Salpeter- oder organischen Säuren niedrig sind. Dieser nichtrostende Stahl ist gemäß DIN EN ISO 3651 Teil 2 im Lieferzustand und nach dem Schweißen gegen interkristalline Korrosion beständig.

Angriffsmittel	Konzentration	Temperatur	Beständigkeit
NaCl	gesättigt	20°C	Gefahr der Lochkorrosion
Meerwasser	-	20°C	Gefahr der Lochkorrosion
Wasserdampf	-	400°C	beständig
Salpetersäure	7 %	20°C	beständig
Schwefelsäure	1 %	20°C	gering beständig
Ameisensäure	10 %	20°C	beständig

Grundlage dieser Korrosionsbeständigkeitsangaben sind Laborversuche mit reinen Angriffsmitteln und optimalen Probenkörpern. Hinweis: Bei diesen Ergebnissen handelt es sich um eine unverbindliche Angabe.

### VERARBEITUNG

Automatenbearbeitung	nein
Spangebende Verarbeitung	ja
Freiform- und Gesenkschmieden	ja
Kaltumformung	ja
Kaltstauchen	ja
Polierbarkeit	nein

### SCHWEISSEN

Acidur 4541 ist mit allen Schweißverfahren mit und ohne Zusatzwerkstoff schweißbar. Für den Fall, dass mit artgleichem Zusatzwerkstoff geschweißt wird, ist der Einsatz von 1.4316 und 1.4541 zu empfehlen. Die maximale Zwischenlagentemperatur beim Schweißen beträgt 200°C. Nach dem Schweißen ist keine Wärmebehandlung erforderlich. Zunder und Anlauffarben, die durch das Schweißen verursacht wurden, müssen mechanisch oder chemisch entfernt werden, gefolgt von einer geeigneten Passivierung, um die Korrosionsbeständigkeit wiederherzustellen.

### SCHMIEDEN

Um Acidur 4541 zu schmieden, ist eine Erwärmung auf Temperaturen zwischen 1150°C bis 1180°C nötig. Der Werkstoff muss vor und während der Wärmebehandlung frei von jeglichen Verunreinigungen sein. Schwefel, Phosphor, Blei und andere niedrigschmelzende Metalle können bei der Wärmebehandlung zu Schädigungen führen. Derartige Verunreinigungen sind auch in Markierungs- und Temperaturanzeigefarben oder -stiften sowie in Schmierfetten, Ölen, Brennstoffen und dergleichen enthalten. Geschmiedet wird im Bereich zwischen 1180°C und 950°C. Die anschließende Abkühlung erfolgt in Wasser oder an Luft.

### KALTUMFORMUNG

Acidur 4541 ist nach DIN EN 10263-5 für die Kaltmassivumformung geeignet. Auf besseres Kaltverformungsverhalten modifizierte Analysen sind auf Anfrage verfügbar.

DIN Bezeichnung	Name	Farbe
PTFE	Polytetrafluorethylen	natur

**Merkmale**

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sehr gute Chemikalienbeständigkeit</li> <li>▪ sehr gute elektrische Isolation</li> <li>▪ sehr gute UV-Resistenz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ hervorragende Gleit- und Reibeigenschaften</li> <li>▪ sehr hohe Dauergebrauchstemperatur</li> </ul>
---	--

**Anwendungen**

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektrotechnik</li> <li>▪ Medizintechnik</li> <li>▪ Chemieindustrie</li> <li>▪ Halbleitertechnologie</li> <li>▪ Reinstwasseranlagenbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transport- und Fördertechnik</li> <li>▪ Lebensmitteltechnik</li> <li>▪ Maschinenbau</li> <li>▪ Pumpen- und Armaturenbau</li> </ul>
--	---

**Beispiele**

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pumpengehäuse</li> <li>▪ Filtergehäuse</li> <li>▪ Behälterauskleidungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rohrleitungen</li> <li>▪ Gleitlager und -leisten</li> <li>▪ Dichtungen</li> </ul>
---	--

**Standardhalbzeuge (alle Angaben in mm)**

Art	Stärke / Ø	Format
Platten	1 - 10	1.200 x 1.200
Stäbe	10 - 100	1.000 / 2.000

Eigenschaft	Maßeinheit	Prüfmethode	Wert
-------------	------------	-------------	------

**Allgemeine Eigenschaften**

Dichte	g/cm <sup>3</sup>	ISO 53479	2,18
Feuchtigkeitsaufnahme	%	ISO 62	<0,05
Beständigkeit gegen heißes Wasser/Laugen	+		
Brennverhalten (UL94)		IEC 69695-11-10	V0

**Mechanische Eigenschaften**

Zug E-Modul	MPa	ISO 527	700
Streckspannung	MPa	ISO 527	25
Dehnung bei Streckspannung	%	ISO 527	>50
Schlagzähigkeit (Charpy)	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179	ohne Bruch
Kugeldruckhärte		DIN 53456	30
Zeitstandfestigkeit nach 1000 h bei stat. Belastung	MPa		5
Zeitdehnspannung für 1 % Dehnung nach 1000 h	MPa		1,58
Gleitreibungskoeffizient p=0,05 n/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen			0,08 – 0,10
Gleitreibungsverschleiß p=0,05 n/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	µm/km		21

**Thermische Eigenschaften**

Glasübergangstemperatur	°C	DIN 53765	-20
Formbeständigkeitstemperatur (Verfahren A / B)	°C	ISO-R 75	55 / 121
spezifische Wärmekapazität	J/(g*K)	ISO 22007-4	1
Wärmeleitfähigkeit	W / m x K	ISO 22007-4	0,25
Einsatztemperatur	°C		260
thermischer Längenausdehnungskoeffizient	10 <sup>-5</sup> /K	DIN 53752	12

**Elektrische Eigenschaften**

Dielektrizitätszahl (10 <sup>6</sup> Hz)		DIN 53483	2,1
Dielektrischer Verlustfaktor (10 <sup>6</sup> Hz)		DIN 53483	0,0002
Durchschlagsfestigkeit	kV/mm	DIN 53481	48
Oberflächenwiderstand	Ohm	IEC 60093	10 <sup>16</sup>
Durchgangswiderstand	Ohm*cm	IEC 60093	10 <sup>16</sup>
Kriechstromfestigkeit		DIN 53480	KA 3c KB>600

Diese Tabelle beinhaltet Richtwerte, die vor allem zur Materialauswahl verwendet werden können. Die Angaben lassen sich nicht ohne weiteres auf die weiterverarbeiteten Produkte übertragen, da diese Werte beeinflussbar sind durch Verarbeitungsbedingungen, Modifikationen, Werkstoffzusätze und Umgebungseinflüsse. Die Eignung der Materialien für einen konkreten Verwendungszweck ist vom Verarbeiter / Anwender zu prüfen. Rechtliche Verbindlichkeiten können aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Dies gilt auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter.



**Anhang A4:** Wasserwendelangebote im Sommersemester 2021

Die Wasserwendelangebote sind in der nachfolgend angegebenen Reihenfolge aufgeführt:

- a) Angebot AVM-Metall (*lediglich als E-Mail vorhanden*)
- b) TEKTON BENDING: Angebot Nr. 219257-1
- c) W. Hülsmann: Angebot Nr. 3774
- d) W. Hülsmann: Angebot Nr. 3728

**Von:** Yilmaz Altinkaynak <rohrschlange@googlemail.com>

**Gesendet:** Mittwoch, 19. Mai 2021 09:35

**An:** Vonderschmitt, Niklas

**Betreff:** Re: Angebotsanfrage: Wasserwendel - Projekt Hochschule München

Sehr geehrter Herr Vonderschmitt,

wir danken für die Anfrage und bieten freibleibend an Wasserwendel nach Ihre Zeichnung aus 8X1,0mm Mat. 1.4404

Preis bei Abnahme von 100 Stück:89,00€/Stk.

Rüstkosten 1X Pro Auftrag:250,00

+Ust.

Lieferzeit nach Absprache

ab Werk

Mit freundlichen Grüßen

Altinkaynak

[www.amv-metall.de](http://www.amv-metall.de)

---

AMV: Spezialist für Rohrschlangen, Heizspiralen, Wärmetauscher, Kühlschlangen, Wendeln, Serpentinaen

[www.amv-metall.de](http://www.amv-metall.de)

Der Spezialist für Rohrschlangen, Kühlschlangen, Plattenwärmetauscher, Flachheizier, Kühlspiralen, Kühlwendeln und anderen Systeme fürs Heizen, Kühlen und Filtern

---

AMV-Metallverarbeitung

Reihenerstr.6

74930 Ittlingen

Tel.: 0049 (0)7266 309595

Fax: 0049 (0)7266 309596

e-mail: [rohrschlange@gmail.com](mailto:rohrschlange@gmail.com)

Hochschule München  
Herr Dipl.-Ing. Armin Rohnen  
80335 München

**Angebot** **219257-1**  
Datum: 11.06.2021  
Anfragetext/Nr.: per Mail am 08.06.21  
Kunden-Nr.: 5315

Kalkulator: Adrian Wien  
Durchwahl: 05903/93282-58  
Email: a.wien@tektion-bending.de

Ihre Telefon-Nr.: +49 (0)89 1265 3366

Sehr geehrter Herr Dipl.-Ing. Rohnen,

wir danken für Ihre Anfrage und bieten Ihnen unter Zugrundelegung unserer Verkaufs- und Lieferbedingungen, kalkuliert auf Basis der uns bei Angebotsabgabe bekannten Fertigungskosten und Vormaterialpreise, freibleibend die Fertigung **inklusive Material** an:

**Hinweis zu Corona -Zeit:** Die augenblickliche Situation auf dem Rohrsektor lässt erwarten, dass die Preise für Rohre weiter stark ansteigen werden. Wir behalten uns entsprechende Preisangleichungen vor.

Pos.	Menge	Einheit	Artikelnummer/Artikelbezeichnung	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	5	Stk.	05315-00001 <b>Wasserwendel Ø 8,0 x 1,0 mm 1.4301 Muster</b> Zeichnung: Skizze v. 08.06.2021 Einsatzrohr: Ø 8,0 x 1,0 mm Materialgüte: 1.4301 Ausführung: geschweißt Biegeradius <sup>1</sup> : Rm 36 mm Steigung 15 mm  <small><sup>1</sup>(je nach Härte des Vormaterials kann der Bögen um einige Millimeter größer werden, „auffedern“)</small>	125,00 €	625,00 €
<b>Lieferform:</b>					
		*Bauteiltoleranzen:	gemäß vom Kunden freigegebener Fertigungszeichnung (Grundlage: DIN ISO 2768 vl)		
		*BauteilAusführung:	einteiliges Biegeteil		
		*Rohrenden:	- auf Maß geschnitten - nicht entgratet		
		*Bauteilreinheit:	mit Wasser gereinigt, Schmierstoff- und Spananhaftung möglich		
		*Oberfl.-ausführung:	roh, fertigungsbedingte Klemmabdrücke, Kratzer und Riefen möglich		
		*Bogenqualität:	- ohne Nacharbeit auftretender Rohrovalität		

1 / 3

Angebot 219257-1 vom: 11.06.2021

Pos.	Menge	Einheit	Artikelnummer/Artikelbezeichnung	Einzelpreis	Gesamtpreis
			<p>- im Übergang vom Rohrbogen zum geraden Stück kann eine kleine Delle entstehen</p> <p>*Verpackung/Versand: in Gitterbox - optional seitlich mit Pappe ausgekleidet</p>		
2	100	Stk.	<p>05315-00001</p> <p><b>Wasserwendel Ø 8,0 x 1,0 mm 1.4301</b></p> <p>Zeichnung: Skizze v. 08.06.2021</p> <p>Einsatzrohr: Ø 8,0 x 1,0 mm</p> <p>Materialgüte: 1.4301</p> <p>Ausführung: geschweißt</p> <p>Biegeradius<sup>1</sup>: Rm 36 mm</p> <p>Steigung 15 mm</p> <p><sup>1</sup>(je nach Härte des Vormaterials kann der Bögen um einige Millimeter größer werden, „auffedern“)</p> <p><b>Lieferform:</b></p> <p>*Bauteiltoleranzen: gemäß vom Kunden freigegebener Fertigungszeichnung (Grundlage: DIN ISO 2768 vI)</p> <p>*BauteilAusführung: einteiliges Biegeteil</p> <p>*Rohrenden: - auf Maß geschnitten</p> <p>- nicht entgratet</p> <p>*Bauteilreinheit: mit Wasser gereinigt, Schmierstoff- und Spananhaftung möglich</p> <p>*Oberfl.-ausführung: roh, fertigungsbedingte Klemmabdrücke, Kratzer und Riefen möglich</p> <p>*Bogenqualität: - ohne Nacharbeit auftretender Rohrovalität</p> <p>- im Übergang vom Rohrbogen zum geraden Stück kann eine kleine Delle entstehen</p> <p>*Verpackung/Versand: in Gitterbox - optional seitlich mit Pappe ausgekleidet</p>	46,97 €	
3	1	Stk.	<p>60000-01004</p> <p><b>Konstruktionspauschale je Artikel/Baugruppe</b></p> <p>Erstellen von:</p> <p>- Fertigungszeichnungen</p>	155,00 €	155,00 €

TEKTON BENDING GmbH & Co. KG · Paxtonstraße 6 · D-48488 Emsbüren

Angebot 219257-1 vom: 11.06.2021

Pos.	Menge	Einheit	Artikelnummer/Artikelbezeichnung	Einzelpreis	Gesamtpreis
			- Arbeitsplänen - Stücklisten - Prüfprotokolle		
			Aufbauend auf von Ihnen beizustellenden technischen Bauteilzeichnungen und Modellen.		
4	1 Stk.	60000-00011	<b>anteilig anfallende Werkzeugkosten</b>	1.350,00 €	1.350,00 €

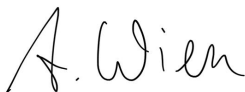
Die ausgewiesenen Preise gelten nur bei Auftragserteilung über alle Positionen zu den ausgewiesenen Bestell-/Lieferlosgrößen. Bei Abweichungen behalten wir uns das Recht vor die Konditionen nach Rücksprache anzupassen.

Lieferzeit: ca. 10 Wochen: nach Auftragseingang bei **Wiederholteilen** / nach technischer Klärung bei **Neuteilen** (Freigabe der Fertigungszeichnung erforderlich)

Preisstellung/Versandart: Ab Werk, frei verl. LKW, separate Frachtkostenberechnung

Zahlungskonditionen: Vorkasse

**TEKTON BENDING**  
GmbH & Co. KG



i.A. Adrian Wien

Für dieses wie auch für künftige Geschäfte zwischen Ihnen und uns gelten stets unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen in ihrer aktuellen Fassung, die wir Ihnen auf Anfrage gerne übermitteln.

TEKTON BENDING fertigt nach DIN EN 13480-4:2012 sowie VDI-Richtlinie 3430:2014 und hält die Anforderungen dieser Normen ein.

W. Hülsmann GmbH, Jahnstrasse 45, D-32257 Bünde

Hochschule München  
Herrn Niklas Vonderschmitt

D-

Kontakt:

Jahnstrasse 45  
32257 Bünde  
Telefon +49 (0) 5223 6661  
Telefax +49 (0) 5223 6663  
E-Mail: info@huelmann-gmbh.de

Datum: 23.06.2021  
Angebots-Nr.: 3774  
Kunden-Nr.:  
Sachbearbeiter/-in: Carolin Höfel

**Angebot** gültig bis  
**Ihre Anfrage** Rohrwendel  
**Lieferzeit u.ü.V.** Ende August/ Anfang September

Sehr geehrter Herr Vonderschmitt,  
vielen Dank für Ihre Anfrage Rohrwendel.

Wir bieten zu unseren "Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen", die Sie unter:  
[www.huelsmann-gmbh.de/downloads](http://www.huelsmann-gmbh.de/downloads) einsehen respektive herunterladen können,  
wie folgt freibleibend an:

Pos.	Anzahl	Stück	Artikelnr.	Bezeichnung	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	1	Stk.		Rohrwendel Werkstoff: 1.4301 nahtlos Abmessung: 8,0 x 1,0 mm - Oberfläche roh - Winkelradius = 36 mm - Steigung 15 mm	174,80 €	174,80 €
2	1	Stk.		Einmalige Vorrichtungskosten für beide Rohrgrößen	215,00 €	215,00 €
3	1	Stk.		Elektrochemisch polieren zzgl. ca. 10 Arbeitstage Bearbeitungszeit	82,15 €	82,15 €
Summe						471,95 €
Mehrwertsteuer 19% auf 471,95 € netto						89,67 €
<b>Zu zahlender Betrag</b>						<b>561,62 €</b>

Frachtkosten werden nach Aufwand berechnet  
Zahlungsbedingungen:  
7 Tage ./ 2% Skonto oder 14 Tage netto Kasse

Bitte beachten Sie, dass dieses Angebot auf Basis der von Ihnen gemachten Angaben basiert, eine Änderung hat ggf. Preiskorrekturen zur Folge.

Wir hoffen, dass unser Angebot Ihren Vorstellungen entspricht und bitten bei Auftragserteilung oder Rückfragen um die Angabe unserer Angebotsnummer 3774.

Für Fragen und Erläuterungen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung und verbleiben  
mit freundlichen Grüßen

Carolin Höfel

W. Hülsmann GmbH, Jahnstrasse 45, D-32257 Bünde

Hochschule München  
 Herrn Niklas Vonderschmitt

D-

Kontakt:

Jahnstrasse 45  
 32257 Bünde  
 Telefon +49 (0) 5223 6661  
 Telefax +49 (0) 5223 6663  
 E-Mail: info@huelmann-gmbh.de

Datum: 29.04.2021

Angebots-Nr.: 3728

Kunden-Nr.:

Sachbearbeiter/-in: Carolin Höfel

**Angebot** gültig bis

**Ihre Anfrage**

**Lieferzeit u.ü.V.**

Sehr geehrter Herr Vonderschmitt,

vielen Dank für Ihre Anfrage .

Wir bieten zu unseren "Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen", die Sie unter:  
[www.huelsmann-gmbh.de/downloads](http://www.huelsmann-gmbh.de/downloads) einsehen respektive herunterladen können,  
 wie folgt freibleibend an:

Pos.	Anzahl	Stück	Artikelnr.	Bezeichnung	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	1	Stk.		In der Anfrage wurde kein Werkstoff angegeben. Die nachfolgenden Vorgaben und Preise sind auf der Basis 1.4301 nahtlos erläutert und kalkuliert. Andere Werkstoffe können wir auf Anfrage neu kalkulieren. Rohrwendel 8 x 1 mm: minimaler mittlerer Wickelradius 24 mm, d. h. Maß der Wendel Außen 56 mm. Rohrwendel 10 x 1 mm: minimaler mittlerer Wickelradius 30 mm, d. h. Maß der Wendel Außen 70 mm. Toleranz +/- 2 mm Bei den vorgenannten Angaben werden die Rohre kalt verformt. Noch engere Wicklungen wären nur mit Wärmebehandlung möglich. Hiervon raten wir allerdings auf Grund der dünnen Wandstärke 1 mm ab, da es zu Mikro- oder Spannungsrissen kommen kann. Die Lieferzeit beträgt für die Prototypen aktuell ca. 3 - 4 Wochen, nach technischer Klärung. Lieferzeit	0,00 €	0,00 €

Übertrag

0,00 €



Pos.	Anzahl	Stück	Artikelnr.	Bezeichnung	Einzelpreis	Gesamtpreis
Übertrag						0,00 €
				für die Serienteile nach Vereinbarung, ggf. in mehreren Losen und vorbehaltlich Materialverfügbarkeit.		
2	1	Stk.		Einmalige Vorrichtungskosten 165,00 € 165,00 € für beide Rohrgrößen	215,00 €	215,00 €
3	3	Stk.		Rohrwendel 8 x 1 mm 3 Stück	174,80 €	524,40 €
4	100	Stk.		Alternativ: Rohrwendel 8 x 1 mm	88,30 €	8.830,00 €
5	3	Stk.		Alternativ: Rohrwendel 10 x 1 mm	189,00 €	567,00 €
6	100	Stk.		Alternativ: Rohrwendel 10 x 1 mm	98,60 €	9.860,00 €
7	1	Stk.	FK	Fracht- und Verpackungskosten nach Aufwand	0,00 €	0,00 €
Summe						19.996,40 €
Mehrwertsteuer 19% auf 19.996,40 € netto						3.799,32 €
<b>Zu zahlender Betrag</b>						<b>23.795,72 €</b>

Frachtkosten werden nach Aufwand berechnet  
Zahlungsbedingungen:  
7 Tage ./. 2% Skonto oder 14 Tage netto Kasse

Bitte beachten Sie, dass dieses Angebot auf Basis der von Ihnen gemachten Angaben basiert, eine Änderung hat ggf. Preiskorrekturen zur Folge.

Wir hoffen, dass unser Angebot Ihren Vorstellungen entspricht und bitten bei Auftragserteilung oder Rückfragen um die Angabe unserer Angebotsnummer 3728.

Für Fragen und Erläuterungen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

Carolin Höfel

**Anhang A5:**            Angebot Heizelement

Das Heizelementangebot sowie die Auftragsbestätigung sind in eben dieser Reihenfolge angehängt:

- a) HKE-tec: Angebot AN-2021-2881
- b) HKE-tec: Auftragsbestätigung AU-2021-5699

Hochschule für angewandte Wissenschaften München  
Herr Vonderschmitt,  
z.Hd.Herr Prof.Krafft  
Dachauerstraße 98b  
80335 München

**Angebot****AN-2021-2881**

Anfrage Nr: Email 08.06.21  
Datum: 09.06.2021  
Ihre Kundennummer: 20824  
Ihre E Mail : [the\\_son@web.de](mailto:the_son@web.de)

Sehr geehrter Herr Vonderschmitt,  
wir danken für Ihr Interesse an den Produkten und Leistungen der Firma HKE-tec und freuen uns,  
Ihnen folgendes Angebot unterbreiten zu können:

Pos.	Artikel-Nr.	Bezeichnung	Menge:	Einzelpreis:
1	3646179	Rohrheizkörper nach Skizze; Ø6,4mm Mat. 1.4301, gewendelt auf Ø60mm±2 x 158mm±2; 230V; 1.800W +5/-10%; M10x1	5,00	85,90 EUR
2	3646179	Rohrheizkörper nach Skizze; Ø6,4mm Mat. 1.4301, gewendelt auf Ø60mm±2 x 158mm±2; 230V; 1.800W +5/-10%; M10x1	100,00	36,82 EUR
3	3646171	Rohrheizkörper nach Skizze; Ø6,4mm Mat. 1.4301, gewendelt auf Ø60mm±2 x 122mm±2; 230V; 1.000W +5/-10%; M10x1	5,00	82,20 EUR
4	3646171	Rohrheizkörper nach Skizze; Ø6,4mm Mat. 1.4301, gewendelt auf Ø60mm±2 x 122mm±2; 230V; 1.000W +5/-10%; M10x1	100,00	35,24 EUR

**Rahmenkonditionen:**

Lieferzeit ca. : 6-7 Wochen  
Lieferung: ab Werk Pfarrkirchen  
Angebotsgültigkeit: 60 Tage  
Zahlung: Rechnung 30 Tage 2,00 % innerhalb von 10 Tagen

Das Angebot basiert auf der Grundlage unserer allgemeinen Geschäftsbedingungen. Die aktuelle Fassung finden Sie unter [www.hke-tec.com](http://www.hke-tec.com) . Für Rückfragen stehe ich Ihnen jederzeit zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,



Andreas Sammer, Sales Engineer


 Stückl 1 . 84347 Pfarrkirchen

 Hochschule für angewandte Wissenschaften Münch  
 Abteilung Finanzen und Controlling  
 Lothstraße 34  
 80335 München

 Stückl 1 . 84347 Pfarrkirchen  
 Tel. +49 . 8561 . 983 984  
 Fax +49 . 8561 . 983 945  
 info@hke-tec.com  
 www.hke-tec.com

Lieferanschrift:

 Hochschule für angewandte Wissenschaften München  
 z.H.: Hewrr Armin Rohnen Organisation: FK 03  
 Lothstr. 64 Zentrallager  
 80335 München

**Auftragsbestätigung AU-2021-5699**

 Datum: 15.06.2021  
 Ihre Bestellnummer: CW/52/54741/2977  
 Besteller: Armin Rohnen  
 Unsere USt-IdNr.: DE277649385  
 Ihre USt-IdNr.: DE235059152  
 Unsere Lieferantenummer:  
 Ihre Kundennummer: 20824  
 Versandart ab Werk Pfarrkirchen

**Liefertermin ca.: KW 33**

Pos.	Artikel-Nr.	Bezeichnung	Menge:	Einzelpreis:	Gesamtpreis:
1	3646179	Rohrheizkörper nach Skizze; Ø6,4mm Mat. 1.4301, gewendelt auf Ø60mm±2 x 158mm±2; 230V; 1.800W +5/-10%; M10x1	5,00	85,90	429,50 EUR
2	3646171	Rohrheizkörper nach Skizze; Ø6,4mm Mat. 1.4301, gewendelt auf Ø60mm±2 x 122mm±2; 230V; 1.000W +5/-10%; M10x1	5,00	82,20	411,00 EUR

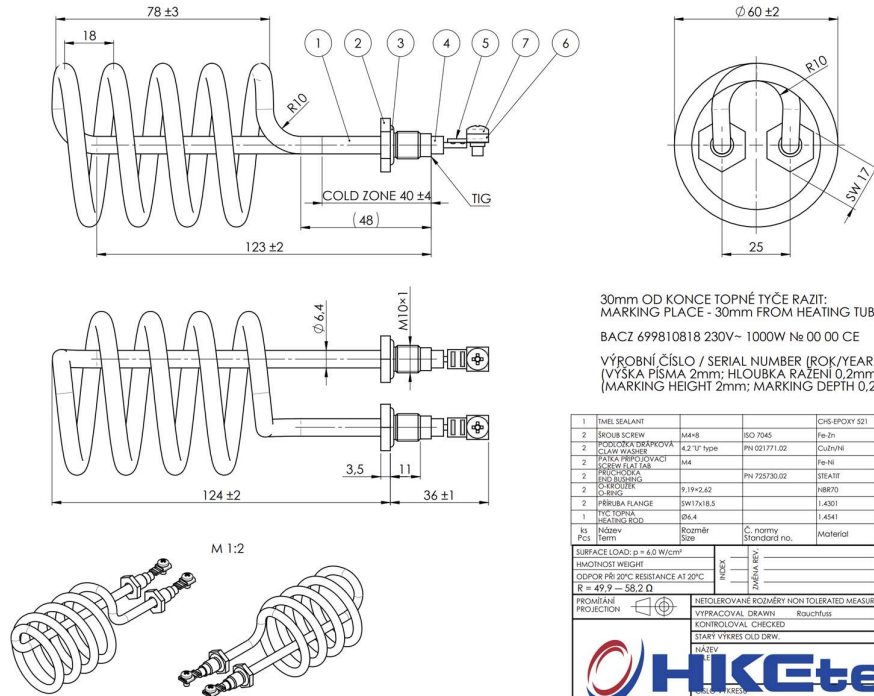
 Betrag netto 840,50 EUR  
 Betrag USt. 19% 159,70 EUR

**Summe 1.000,20 EUR**
**Zahlungsbedingungen:**

 Netto innerhalb von 30 Tagen  
 2,00 % innerhalb von 10 Tagen

 Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen die Sie unter [www.hke-tec.com](http://www.hke-tec.com) einsehen können.  
 Die Ware bleibt bis zur vollständigen Bezahlung Eigentum des Lieferanten.

**Anhang A6: HKE-tec: Freigabezeichnung HE1000W**

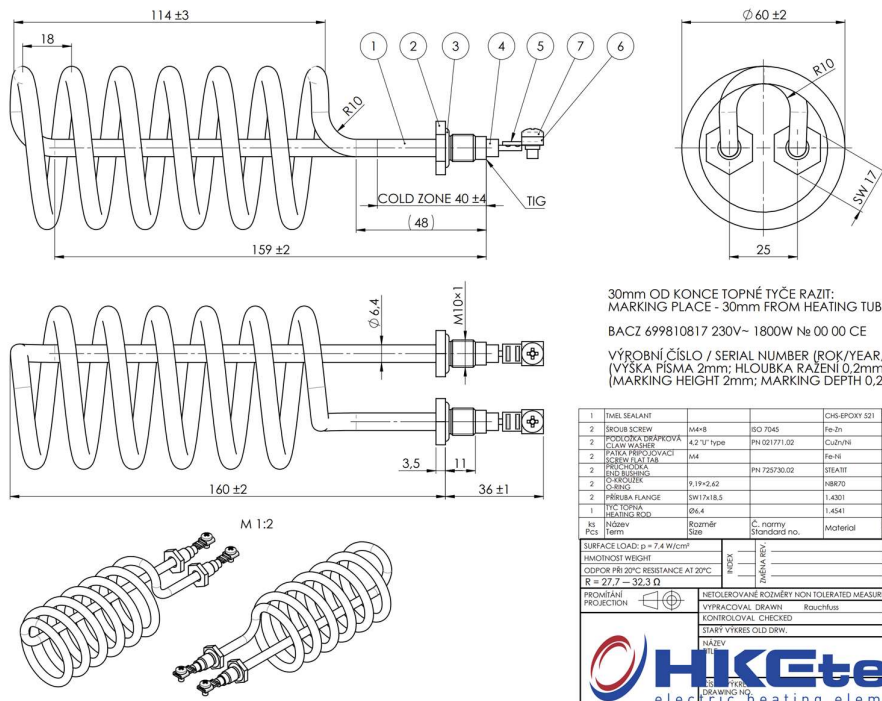


30mm OD KONCE TOPNÉ TYČE RAZIT:  
MARKING PLACE - 30mm FROM HEATING TUBE END:  
BACZ 699810818 230V- 1000W № 00 00 CE

VÝROBNÍ ČÍSLO / SERIAL NUMBER (ROK/YEAR, TÝDEN/WEEK)  
(VÝŠKA PÍŠMA 2mm; HLOUBKA RAZENÍ 0,2mm)  
(MARKING HEIGHT 2mm; MARKING DEPTH 0,2mm)

1	INHEL SEALANT		CHG-EPOXY 521	TEMPERATURE RESISTANT MAX.120°C	8		
2	SCREW SCREW	M4x8	ISO 7045	Fe-Zn	7		
2	POKROVKA TERMOČKA CLAMP WADDER	4.2 "U" type	PN 021771.02	Cu/Al/Ni	6		
2	PAKLA PŘIPEŤOVACÍ SCREW PLAT LAM	M4		Fe-Ni	5		
2	PREČIŠŤOVACÍ SCREW PLAT LAM	M4	PN 725730.02	ST6AITI	4		
2	IND. BUSHING	9.19x2.62	H8870		3		
2	PREČIŠŤOVACÍ SCREW	SW17x18.5	1.4301	499100570	2		
1	TIG TORUSA HEATING ROD	ØxL	1.4541		1		
ks	Název Item	Rozměr Size	C. normy Standard no.	Material	Poznámka Note	C. výkresu Drawing no.	Pos.
SURFACE LOAD: p = 6.0 W/cm <sup>2</sup>		HMOONNET WEIGHT		PROJEKTOVANÝ DESIGNER		KOPROJEKTOVANÝ COOPERATION	
ODPOR PŘI 20°C RESISTANCE AT 20°C		R = 49.9 - 58.2 Ω		VYPRACOVANÉ ROZMĚRY NON TOLERATED MEASURES ISO 2768-mF		SCHVÁLIL APPR. Ing. Malina	
PROJEKCIJE PRODUCTION		VYPRACOVANÉ DRAWING		ROUČKOVANÝ CHECKED		DATUM DATE 22.06.2021	
STAVY VÝKRESU OLD DRW.		NÁZEV NAME		NAPĚŤ VOLTAGE		230V	
		KRESLENÝ DRAWING NO.		PŘÍKON POWER		1000W	
		MĚŘÍTKO SCALE		FORMÁT SIZE		1:1 D	
		LIST SHEET 1 / LISTO SHEETS 1					

**Anhang A7: HKE-tec: Freigabezeichnung HE1800W**



30mm OD KONCE TOPNÉ TYČE RAZIT:  
MARKING PLACE - 30mm FROM HEATING TUBE END:  
BACZ 699810817 230V- 1800W № 00 00 CE

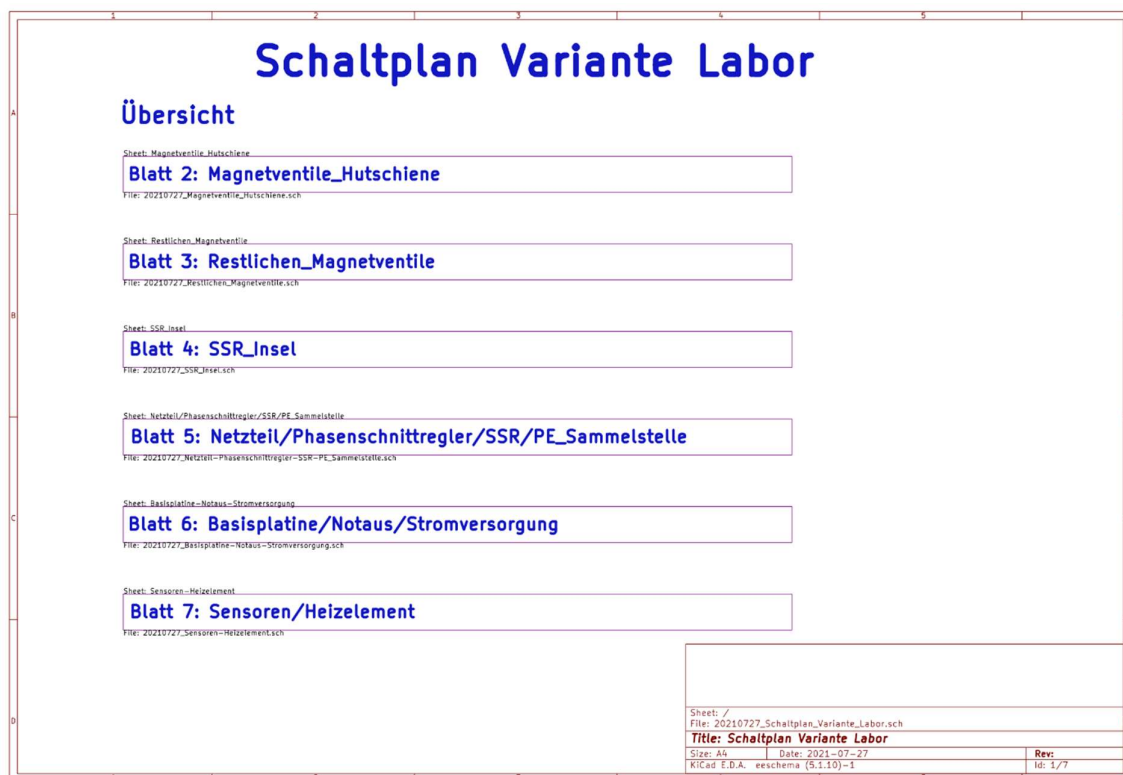
VÝROBNÍ ČÍSLO / SERIAL NUMBER (ROK/YEAR, TÝDEN/WEEK)  
(VÝŠKA PÍŠMA 2mm; HLOUBKA RAZENÍ 0,2mm)  
(MARKING HEIGHT 2mm; MARKING DEPTH 0,2mm)

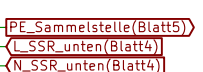
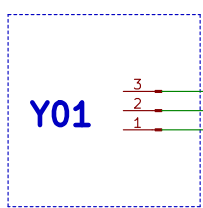
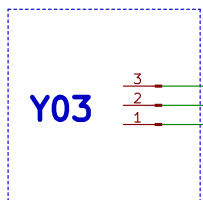
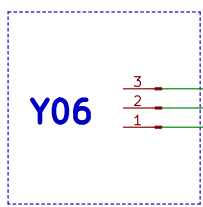
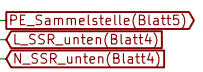
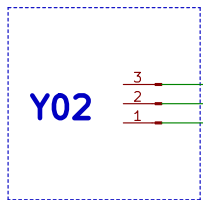
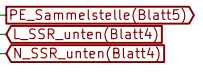
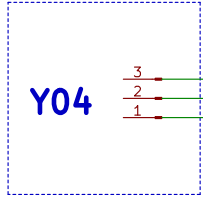
1	INHEL SEALANT		CHG-EPOXY 521	TEMPERATURE RESISTANT MAX.120°C	8		
2	SCREW SCREW	M4x8	ISO 7045	Fe-Zn	7		
2	POKROVKA TERMOČKA CLAMP WADDER	4.2 "U" type	PN 021771.02	Cu/Al/Ni	6		
2	PAKLA PŘIPEŤOVACÍ SCREW PLAT LAM	M4		Fe-Ni	5		
2	PREČIŠŤOVACÍ SCREW PLAT LAM	M4	PN 725730.02	ST6AITI	4		
2	IND. BUSHING	9.19x2.62	H8870		3		
2	PREČIŠŤOVACÍ SCREW	SW17x18.5	1.4301	499100570	2		
1	TIG TORUSA HEATING ROD	ØxL	1.4541		1		
ks	Název Item	Rozměr Size	C. normy Standard no.	Material	Poznámka Note	C. výkresu Drawing no.	Pos.
SURFACE LOAD: p = 7.4 W/cm <sup>2</sup>		HMOONNET WEIGHT		PROJEKTOVANÝ DESIGNER		KOPROJEKTOVANÝ COOPERATION	
ODPOR PŘI 20°C RESISTANCE AT 20°C		R = 27.7 - 32.3 Ω		VYPRACOVANÉ ROZMĚRY NON TOLERATED MEASURES ISO 2768-mF		SCHVÁLIL APPR. Ing. Malina	
PROJEKCIJE PRODUCTION		VYPRACOVANÉ DRAWING		ROUČKOVANÝ CHECKED		DATUM DATE 22.06.2021	
STAVY VÝKRESU OLD DRW.		NÁZEV NAME		NAPĚŤ VOLTAGE		230V	
		KRESLENÝ DRAWING NO.		PŘÍKON POWER		1800W	
		MĚŘÍTKO SCALE		FORMÁT SIZE		1:1 D	
		LIST SHEET 1 / LISTO SHEETS 1					

## Anhang A8: Numerische Füllmengenberechnung, MATLAB-Skript

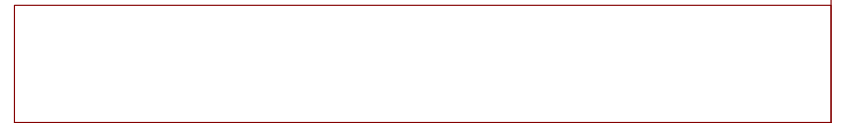
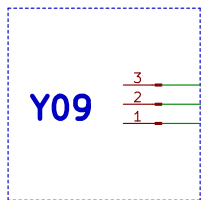
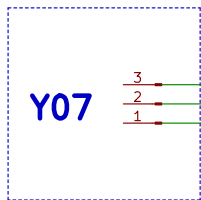
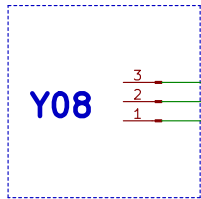
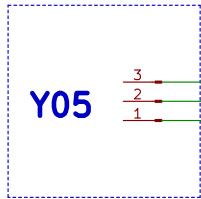
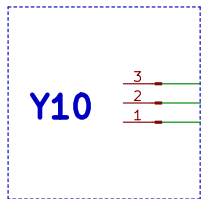
```
% Füllstandberechnung Boiler
% Eingabe
syms h;
f = input('Geben Sie die gewünschte Füllmenge in Prozent ein: ');
boiler = input('Boilervariante (1 = 1,8l / 2 = 3,6l): ');
switch boiler
    case 1
        d = 111.3;
    case 2
        d = 150;
end
% Berechnung
r = d/2;
A_ges = r^2*pi;
A_w = A_ges*(abs(f-100)*0.01);
% Höhe von Oberkante
h_oben = vpasolve(A_w == r^2*acos(1-h/r)-(r-h)*sqrt(2*r*h-h^2));
% Abstand von Mittellinie
h_mitte = r-h_oben;
% Ausgabe
fprintf('\nDie höhe der Dampfblase beträgt %.2f mm.\n',h_oben);
fprintf('\nDie Füllstandskante ist damit %.2f mm von der Mittellinie ent-
fernt.\n',h_mitte);
```

## Anhang A9: Schaltplan: Variante Labor



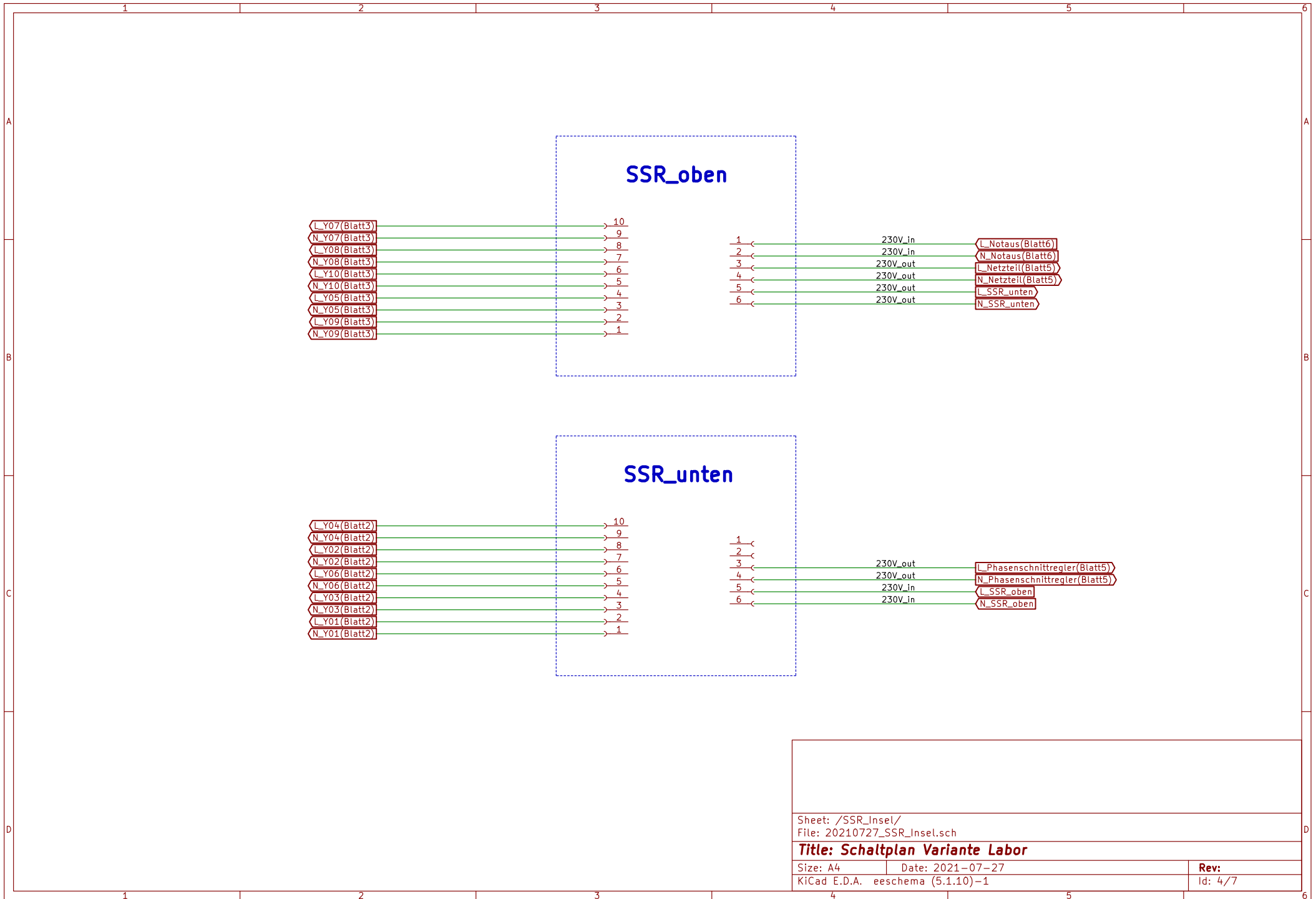


Sheet: /Magnetventile_Hutschiene/ File: 20210727_Magnetventile_Hutschiene.sch	
<b>Title: Schaltplan Variante Labor</b>	
Size: A4	Date: 2021-07-27
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1	Rev: Id: 2/7



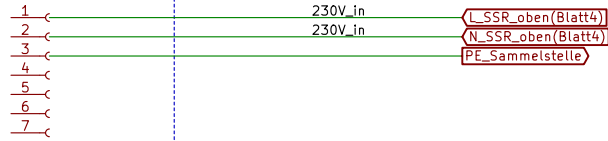
Sheet: /Restlichen_Magnetventile/ File: 20210727_Restlichen_Magnetventile.sch		
<b>Title: Schaltplan Variante Labor</b>		
Size: A4	Date: 2021-07-27	Rev:
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1		Id: 3/7



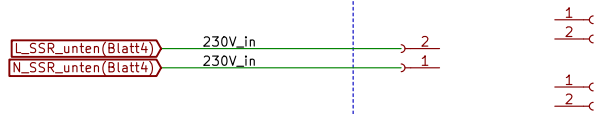


Sheet: /SSR_Insel/			
File: 20210727_SSR_Insel.sch			
<b>Title: Schaltplan Variante Labor</b>			
Size: A4	Date: 2021-07-27	Rev:	
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1			Id: 4/7

## Netzteil



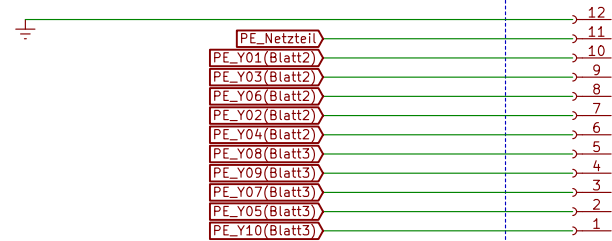
## Phasen-schnittregler



## SSR



## PE-Sammel-stelle



Sheet: /Netzteil/Phasenschnittregler/SSR/PE\_Sammelstelle/  
File: 20210727\_Netzteil-Phasenschnittregler-SSR-PE\_Sammelstelle.sch

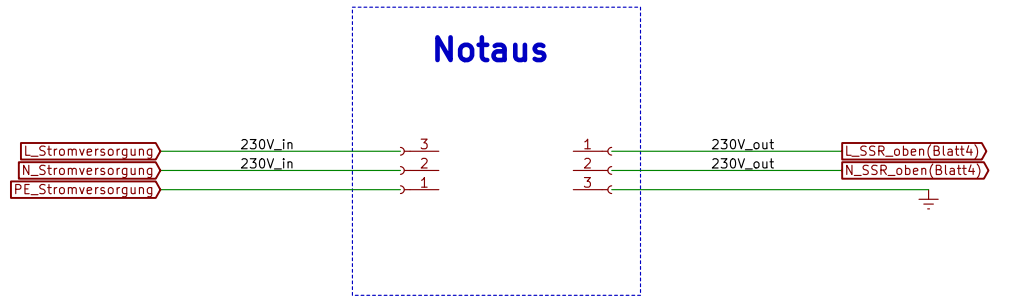
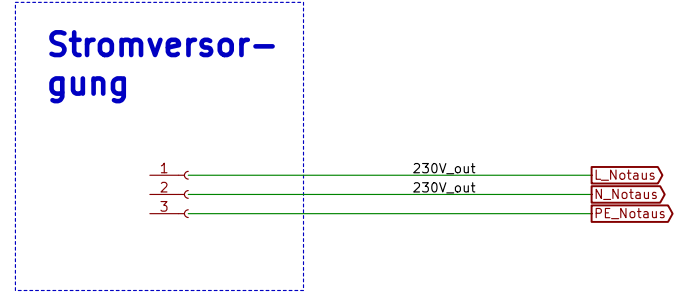
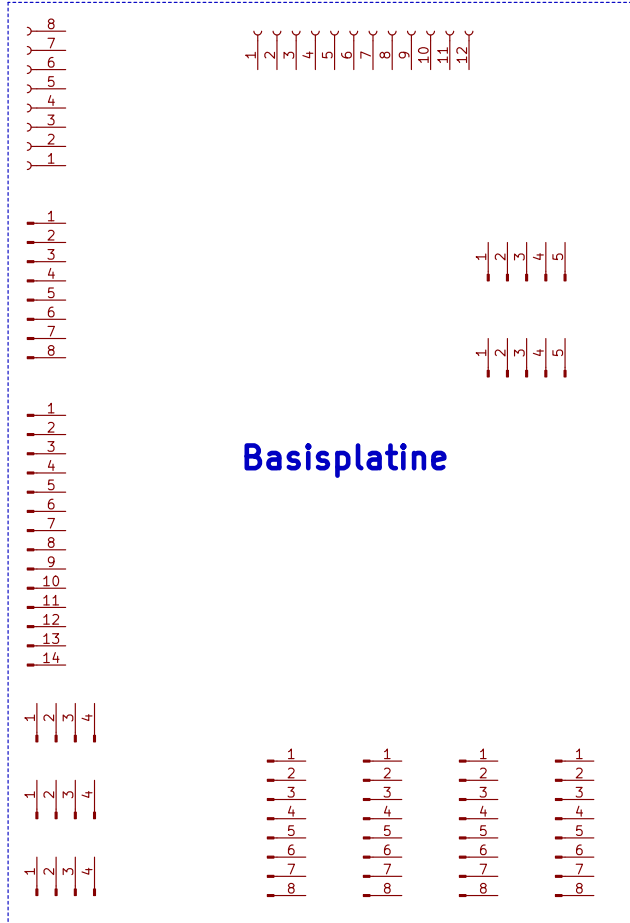
### Title: Schaltplan Variante Labor

Size: A4 Date: 2021-07-27

KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1

Rev:

Id: 5/7



Sheet: /Basisplatine-Notaus-Stromversorgung/	
File: 20210727_Basisplatine-Notaus-Stromversorgung.sch	
<b>Title: Schaltplan Variante Labor</b>	
Size: A4	Date: 2021-07-27
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1	Rev: 6/7

# Boiler

Heizelement



Temperatursensor

Füllstandssensor

Drucksensor

Dosierventil



Drucksensor



Temperatur-  
sensor



Leitfähigkeits-  
sensor



Durchfluss-  
sensor



Sheet: /Sensoren-Heizelement/  
File: 20210727\_Sensoren-Heizelement.sch

**Title: Schaltplan Variante Labor**

Size: A4 Date: 2021-07-27

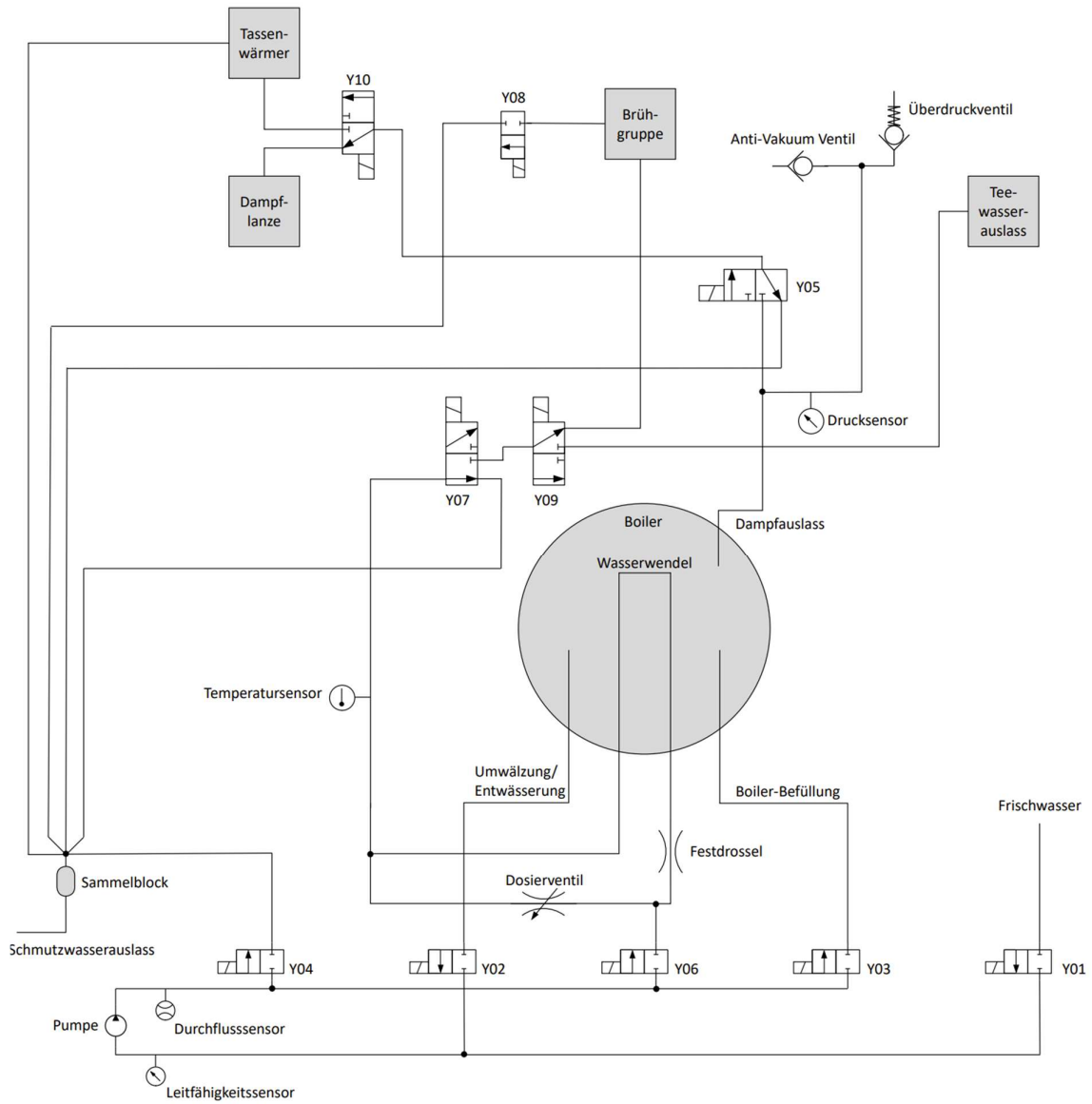
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1

Rev:

Id: 7/7

Anhang A10:

Verrohrungsplan: Variante Labor



**Anhang A11:** Zeichnungsableitung der Flachdichtung Boilerdeckel – Boilerkörper

