

Projektarbeit

Mess-System zur Ermittlung der
Betriebsparameter von Espressomaschinen

Abschlussdokument

Technische Beeinflussbarkeit der
Geschmacksache Kaffee

Verfasser:

| <u>Name:</u> | <u>Semestergruppe:</u> | <u>Matrikelnummer:</u> |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| Czernin Sebastian | FAB6 | 08859918 |
| Pytlík Jonas | MBB6 | 14707117 |
| Zanzinger Michael | LRB7 | 33142815 |

Betreuer: Herr Dipl.-Ing. Armin Rohnen LbA

Abgabe: 25.02.2021

Abstract

In dieser Projektarbeit wird ein Mess-System entwickelt, mit welchem die Betriebsparameter von espressomaschinen ermittelt werden können. Es wird gezeigt, welche Sensoren gewählt wurden, um die charakteristischen Parameter Druck, Temperatur und Durchfluss an verschiedenen Stellen von espressomaschinen während des espressobezugs zu ermitteln. Neben der verbauten Sensorik und ihre Anforderungen werden in diesem Dokument die nötigen Adaptionen und Einbaumaßnahmen gezeigt. Dabei wird zwischen espressomaschinen mit E61-Brühgruppe und espressomaschinen mit anderen Brühgruppen unterschieden. Für die Anwendung mancher Sensoren sind eigene Konstruktionen entwickelt worden, diese werden hier ebenfalls dargestellt. Das Themengebiet der Programmierung des Messsystems wird in einem separaten Dokument behandelt.

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------|----------------------------------|
| A/D-Wandler | Analog-Digital-Wandler |
| AG | Außengewinde |
| CAD | Computer Aided Design |
| DMS | Dehnmessstreifen |
| Gl. | Gleichung |
| GUI | Graphical User Interface |
| IG | Innengewinde |
| MCD | Micro-BetaChip |
| NTC | Negative Temperature Coefficient |
| o. J. | ohne Jahr |
| PA12 | Polyamid 12 |
| PTFE | Polytetrafluorethylen |
| S. | Seite |
| USB | Universal Serial Bus |
| z. B. | zum Beispiel |

Nomenklatur

| Symbol | Einheit | Beschreibung |
|-----------------|------------------|--------------------------------------|
| α | $\frac{1}{K}$ | Wärmeausdehnungskoeffizient |
| Δb | mm | Längenänderung in Breitenrichtung |
| Δl | mm | Längenänderung in Längsrichtung |
| ΔT | K | Temperaturdifferenz |
| σ_K | $\frac{N}{mm^2}$ | Zugspannung der Klebeverbindung |
| τ_{Gesamt} | $\frac{N}{mm^2}$ | Resultierende Gesamtspannung |
| τ_K | $\frac{N}{mm^2}$ | Scherspannung der Klebeverbindung |
| τ_t | $\frac{N}{mm^2}$ | Torsionsspannung |
| τ_{zul} | $\frac{N}{mm^2}$ | zulässige Scherspannung |
| b | mm | Breite |
| h | mm | Höhe |
| l | mm | Länge |
| A_S | mm^2 | Wirksame Fläche der Scherung |
| A_Z | mm^2 | Wirksame Fläche der Zugbeanspruchung |
| d | mm | Nenndurchmesser |
| F_B | N | Betriebskraft |
| F_{BW} | N | Resultierende Kraft des Brühwassers |
| F_{Zs} | N | Umfangskraft pro Zylinderstift |
| K_A | - | Anwendungsfaktor |
| m | kg | Masse |
| M_A | Nm | Anziehdrehmoment |
| n | - | Anzahl an Zylinderstifte/Schrauben |
| p_f | $\frac{N}{mm^2}$ | Flächenpressung |
| U_{nenn} | mV | Spannung bei Nennbelastung |
| W_t | mm^2 | Torsionswiderstandsmoment |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abstract | 2 |
| Abkürzungsverzeichnis | 3 |
| Nomenklatur | 4 |
| 1 Einleitung | 7 |
| 2 Überblick Mess-System | 8 |
| 3 Sensorik | 10 |
| 3.1 Fördermenge am Wasserzulauf | 10 |
| 3.1.1 Digmesa Nano | 10 |
| 3.1.2 Digmesa Nano Brass | 11 |
| 3.1.3 Anforderung an die Messelektronik (Schaltungsprinzip) | 12 |
| 3.1.4 Physikalischer Messbereich | 12 |
| 3.1.5 Elektrischer Messbereich | 12 |
| 3.2 Temperaturmessung | 13 |
| 3.2.1 AVS Römer ITS PPSU | 13 |
| 3.2.2 Micro-BetaChip | 14 |
| 3.2.3 Anforderung an die Messelektronik (Schaltungsprinzip) | 14 |
| 3.2.4 Physikalischer Messbereich | 15 |
| 3.2.5 Elektrischer Messbereich und erforderlicher Verstärkungsfaktor | 15 |
| 3.3 Druckmessung | 16 |
| 3.3.1 Anforderung an die Messelektronik (Schaltungsprinzip) | 16 |
| 3.3.2 Physikalischer Messbereich | 17 |
| 3.3.3 Elektrischer Messbereich und erforderlicher Verstärkungsfaktor | 17 |
| 3.4 Fördermenge nach dem Siebträgerauslauf - Zemic FAB-47-300g | 18 |
| 3.4.1 Anforderung an die Messelektronik (Schaltungsprinzip) | 18 |
| 3.4.2 Physikalischer Messbereich | 19 |
| 3.4.3 Elektrischer Messbereich und erforderlicher Verstärkungsfaktor | 19 |
| 4 Adaption der Sensoren | 20 |
| 4.1 Durchflusssensor | 20 |
| 4.2 Temperatursensor vor der Brühgruppe | 26 |
| 4.3 Temperatursensor an der Brühgruppe | 29 |
| 4.4 Temperatursensor am Siebträgerauslauf | 30 |
| 4.5 Druck und Temperatur vor dem Kaffeepuck | 30 |
| 4.5.1 Druck vor dem Kaffeepuck bei E61 Brühgruppen | 30 |
| 4.5.1.1 Festigkeitsnachweis | 31 |
| 4.5.2 Temperatur vor dem Kaffeepuck bei E61-Brühgruppen | 33 |
| 4.5.3 Druck- und Temperaturermittlung ohne E61-Brühgruppe | 34 |
| 4.5.3.1 Kunststoffeinsatz | 34 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.5.3.2 | Zweite Brühgruppe | 35 |
| 4.5.3.3 | Festigkeitsnachweis | 36 |
| 4.6 | Fördermenge nach dem Siebträgerauslauf | 38 |
| 4.6.1 | Konzept | 38 |
| 4.6.2 | Konstruktion | 39 |
| 4.6.2.1 | Das Gehäuse | 39 |
| 4.6.2.2 | Die Wägeplatte | 41 |
| 4.6.2.3 | Der Auffangbehälter | 41 |
| 4.6.2.4 | Gesamtbaugruppe | 42 |
| 4.6.3 | Berechnung der nötigen Breite des Ausgleich-Gewichts | 42 |
| 4.6.4 | Berechnung der Anschlagsschraube | 43 |
| 4.6.5 | Zusammenbau Wägesystem | 43 |
| 4.6.6 | Kalibrierung Wägesystem | 44 |
| 5 | Messablauf | 45 |
| 5.1 | Espressomaschinen mit E61-Brühgruppe: | 45 |
| 5.2 | Espressomaschinen ohne E61 Brühgruppe: | 47 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 50 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 51 |
| 8 | Abbildungsverzeichnis | 54 |
| 9 | Tabellenverzeichnis | 55 |
| | Anhang | 56 |

1 Einleitung

Dieses Projekt befasst sich mit der Erfassung der Betriebsparameter von im Handel befindlichen Siebträger-Espressomaschinen. Es wird ein Messsystem entwickelt, das alle notwendigen Messdaten erfasst, um diese anschließend auf einer frei parametrisierbaren labortechnischen Espressomaschine abbilden zu können [vgl. Labortechnische Espressomaschine, 2016]. Da die Vielfalt an Espressomaschinen sehr groß ist, beschränkt sich die Betrachtung zunächst auf wenige mit typischen Komponenten ausgestattete Maschinen. In deren Kreislauf werden Druck-, Durchfluss- und Temperatursensoren, sowie eine Wägezelle integriert, um insgesamt sieben Parameter zu ermitteln. Durchfluss, Temperatur vor der Brühgruppe, Temperatur der Brühgruppe, Temperatur vor dem Kaffeepuck, Temperatur am Siebträgerauslauf, Druck vor dem Kaffeepuck und die Fördermenge. Die zu erreichende Ziele bestehen aus der korrekten und vollständigen Auswahl aller benötigten Komponenten, der Konstruktion benötigter Teile und deren fertigungsgerechten Zeichnungen. Außerdem soll eine Beschreibung des Mess-Prozesses (Bedienungsanleitung) verfasst werden.

Unterscheidung E61 und nicht E61-Espressomaschinen:

Beim Messen des Drucks und der Temperatur vor dem Kaffeepuck muss bezüglich der unterschiedlichen Anbindungsmöglichkeiten zwischen Espressomaschinen mit und ohne E61-Brühgruppen unterschieden werden. Dabei liegt der Unterschied neben der einzigartigen Technik der E61-Brühgruppe vor allem bei der Einbaulage. Die Brühgruppe gilt als Designelement und sitzt im Gegensatz zu herkömmlichen Espressomaschinen offen an der Vorderseite der Maschine. Außerdem besitzen die E61-Brühgruppen eine einheitliche, außenliegende Bohrung, welche direkt mit dem Wasserkanal verbunden ist (siehe 4.5.1). In diesem Wasserkanal wird das Brühwasser von der Brühkammer zur Dusche weitergeleitet und bietet somit die optimale Anbindung des Druck- und Temperatursensors. Bei nicht E61-Brühgruppen ist diese Bohrung nicht vorhanden, weshalb hier ein anderes Messkonzept Anwendung findet.



Abbildung 1: Espressomaschine ohne E61 [vgl. Media-Markt]



Abbildung 2: Espressomaschine mit E61 [vgl. Bennet-Shop]

2 Überblick Mess-System

Das Mess-System besteht aus neun verschiedenen Sensoren, deren Messwerte in einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI) auf einem PC in MATLAB® dargestellt werden. Den Thermistoren für die Temperaturmessungen brauchen jeweils einen Spannungsteiler, um sie vor zu hohen Strömen zu schützen. Die analogen Mess-Spannungen der Sensoren werden verstärkt, um den Messbereich des A/D-Wandlers voll ausnutzen zu können. Die digitalen Signale des A/D-Wandlers und des Durchfluss-Sensors werden von einem Raspberry Pi aufgezeichnet und an das MATLAB® GUI weitergeleitet. Dort werden sie in die physikalischen Messwerte Temperatur, Druck, Volumen- und Massestrom umgewandelt und deren zeitlicher Verlauf während des Espresso bezugs dargestellt.

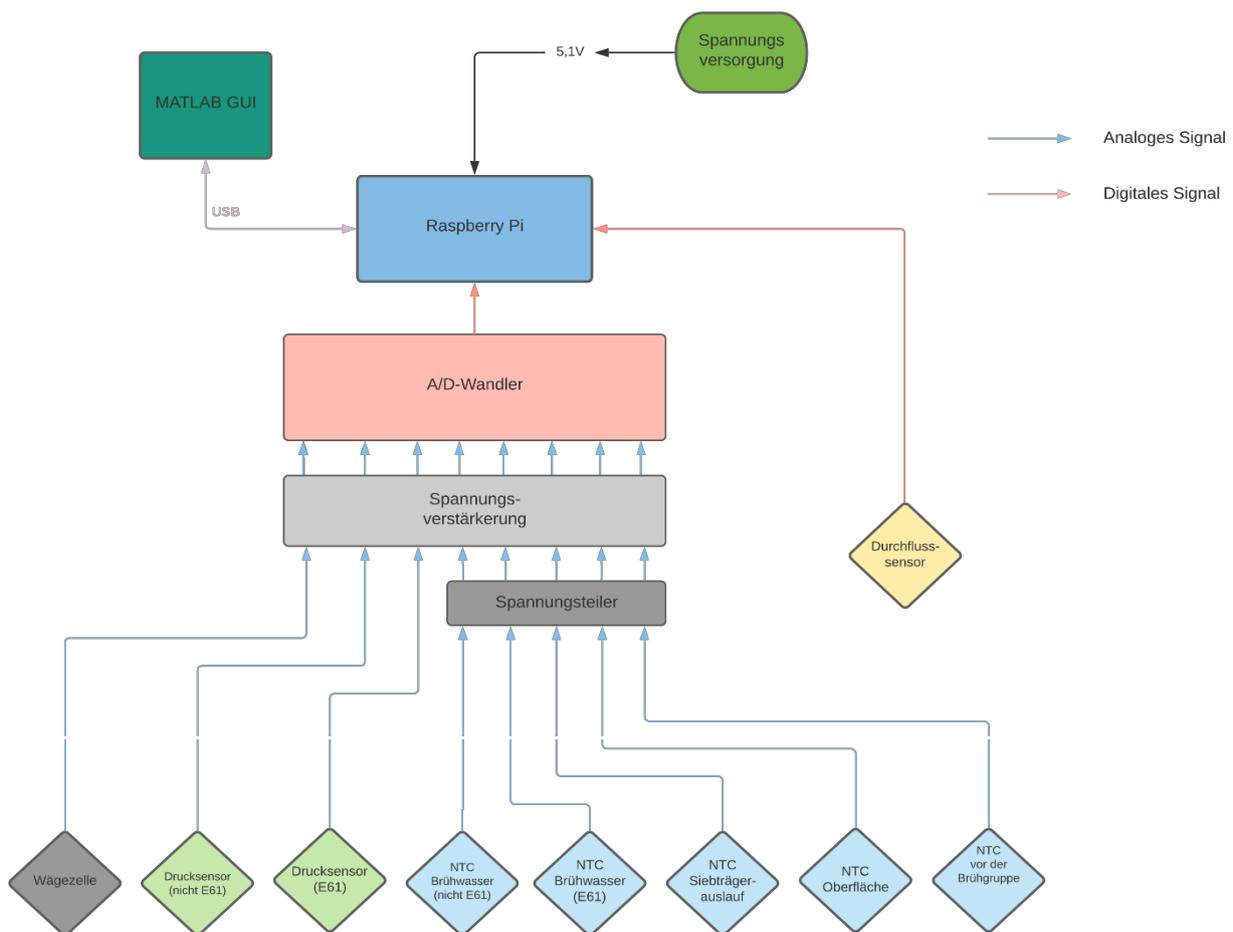


Abbildung 3: Flow-Diagramm Messprozess

Von den Espressomaschinen werden folgende Parameter während des Espresso bezugs aufgenommen:

- Fördermenge am Wasserzulauf
- Temperatur der Brühgruppe
- Wasser-Temperatur vor der Brühgruppe
- Wasser-Temperatur vor dem Kaffeepuck
- Espressotemperatur am Siebträgerauslauf
- Druck vor dem Kaffeepuck
- Fördermenge nach dem Siebträgerauslauf

Da sich die Anbindungen des Drucksensors und des Temperatursensors zur Messung der Parameter vor dem Kaffeepuck bei Espressomaschinen mit und ohne E61-Brühgruppe unterscheiden, müssen diese zwei Bauformen differenziert betrachtet werden. Außerdem können bauraumbedingt nicht alle Parameter gleichzeitig aufgenommen werden, weshalb zwei Messung pro Espressomaschine durchgeführt werden müssen. Dabei darf die Anbindung des Temperatursensors zur Ermittlung der Espressotemperatur am Siebträgerauslauf und die Ermittlung der Fördermenge nach dem Siebträgerauslauf nicht in derselben Messung stattfinden, da durch anbringen des Temperatursensors die Fördermenge verändert wird und dies das Messergebnis verfälschen würde. Außerdem kann der Druck und die Temperatur vor dem Kaffeepuck bei E61-Brühgruppen nicht in einer Messung durchgeführt werden, da diese in derselben Bohrung an die Espressomaschine angebunden werden (siehe 4.5). Bei Espressomaschinen ohne E61-Brühgruppe gibt es bei der gleichzeitigen Anbindung zur Messung des Drucks- und der Temperatur vor dem Kaffeepuck sowie der Ermittlung der Fördermenge nach dem Siebträgerauslauf Bauraumprobleme, weshalb diese auch in unterschiedlichen Messungen durchgeführt werden. Die einzelnen Anbindungsarten sind im Kapitel 4 beschrieben.

Tabelle 1: Definierte Messungen im Mess-System

| | Messung Nr. | Fördermenge am Wasserzulauf | Temperatur vor der Brühgruppe | Temperatur der Brühgruppe | Temperatur vor dem Kaffeepuck | Druck vor dem Kaffeepuck | Temperatur am Siebträgerauslauf | Fördermenge am Siebträgerauslauf |
|---------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Mit E61 Brühgruppe | 1 | X | X | X | X | O | O | X |
| | 2 | X | X | X | O | X | X | O |
| Ohne E61 Brühgruppe | 1 | X | X | X | O | O | O | X |
| | 2 | X | X | X | X | X | X | O |

3 Sensorik

Im Folgenden wird auf die Sensorik der einzelnen Messaufgaben eingegangen. Es werden die benötigten Sensoren und deren technische Daten genannt. Darüber hinaus werden die Anforderungen an die Messelektronik, der benötigte Verstärkungsfaktor für die Signalaufbereitung, sowie der physikalische und elektrische Messbereich erläutert.

3.1 Fördermenge am Wasserzulauf

(Michael Zanzinger)

Für die Durchflussmessung stehen zwei verschiedene Sensoren der Marke Digmesa zur Verfügung. Der „Nano“ und der „Nano Brass“. Während der Nano nur im Saugkreis (Unterdruck) verwendet werden darf, muss der Nano Brass im Druckkreis (Überdruck) verwendet werden. Im Weiteren wird eine Lösung für beide Sensoren geliefert. An dieser Stelle sei aber bereits darauf hingewiesen, dass für die Durchflussmessung der „Nano Brass“, aufgrund des besseren linearen Messbereichs bei niedrigen Durchflussraten, klar zu bevorzugen ist.

3.1.1 Digmesa Nano

Für die Durchflussmessung im Saugkreis wird der Digmesa Nano verwendet. Er besitzt einen linearen Messbereich von 80 bis 400 ml/min und die höchste Auflösung (Pulse pro Liter) auf dem Markt. Durch seinen integrierten Schlauchanschluss lässt er sich sehr einfach mit wenig Adaptionaufwand in den Kreislauf integrieren.

Tabelle 2: Technische Daten Digmesa Nano [vgl. Digmesa AG: Nano]

| | |
|--|--------------------------------------|
| Linearer Bereich | 80 ml/min – 400 ml/min |
| Düsendurchmesser | Ø 1.1 mm |
| Genauigkeit im linearen Bereich | +/- 2 % |
| Dosiergenauigkeit (100 ml, Standardabweichung) | 0,25 ml |
| Pulse pro Liter | ~ 49162 Pulse |
| Betriebstemperatur (max.) | 65°C |
| Druckbereich | -1 – 0,3 Bar |
| Energieversorgung | 3,0 – 20 V DC |
| Signal | Open Collector NPN Pulse |
| Benetzte Materialien | PP, PVDF, Strontium Ferrite (Magnet) |
| Elektrischer Anschluss | Pancon HALLCON 3 pin |
| Anschluss | Rohrende für Schlauch Ø 6mm |
| Zulassungen | NSF 169, LFGB (EU 1935/2004), CE |

Abmessungen:

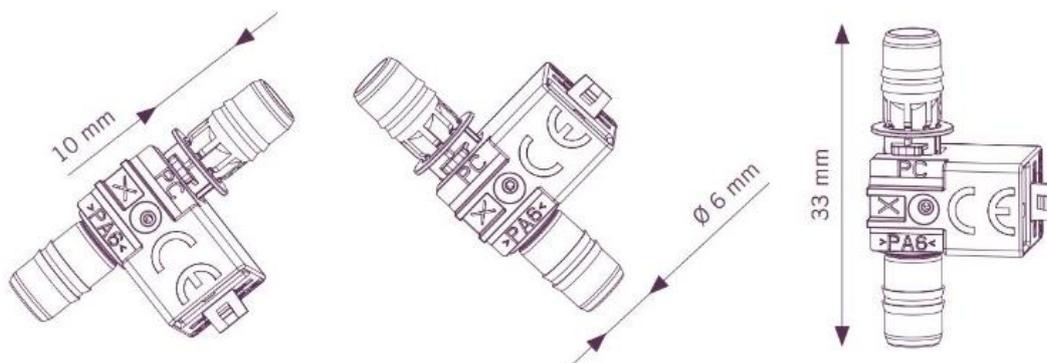


Abbildung 4: Digmesa Nano Abmessungen [vgl. Digmesa AG: Nano]

3.1.2 Digmesa Nano Brass

Für die Durchflussmessung im Druckkreis wird der Digmesa Nano Brass verwendet. Dieser besitzt einen linearen Messbereich von 35 bis 400 ml/min, der wie bereits erwähnt bei niedrigen Durchflussraten einen entscheidenden Vorteil liefert. Im Vergleich zum Nano ist die Auflösung zwar etwas geringer, wichtiger ist jedoch der bessere lineare Messbereich. Der Anschluss erfolgt über zwei G 1/8" BSP Rohrgewinde.

Tabelle 3: Technische Daten Digmesa Nano Brass [vgl. Digmesa AG: Nano Brass]

| | |
|---------------------------------|--|
| Linearer Bereich | 35 ml/min – 400 ml/min |
| Düsendurchmesser | Ø 1.0 mm |
| Genauigkeit im linearen Bereich | +/- 2 % |
| Pulse pro Liter | ~ 39900 Pulse |
| Betriebstemperatur (max.) | 100°C |
| Druckbereich (max) | 20 Bar |
| Energieversorgung | 2,8 – 24 V DC |
| Signal | Open Collector NPN Pulse |
| Elektrischer Anschluss | 3-pin 2.8 x 0.5 mm |
| Anschluss | 2x G 1/8" BSP |
| Zulassungen | NSF, LFGB (EU 1935/2004, EU 10/2011), CE |

Abmessungen:

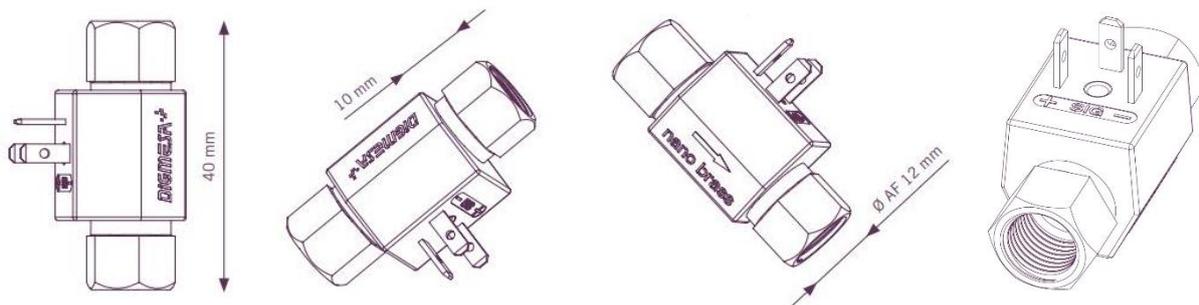


Abbildung 5: Digmesa Nano Brass Abmessungen [vgl. Digmesa AG: Nano Brass]

3.1.3 Anforderung an die Messelektronik (Schaltungsprinzip)

Die Open Collector Schaltung des Sensors muss dem Anschlussplan [vgl. Digmesa AG: Nano bzw. Digmesa AG: Nano Brass] entsprechend elektronisch beschaltet werden. Das Signal wird auf einen Digital-Input-Pin des Messcontrollers gelegt. Jeder Impuls des Sensors löst einen Interrupt Service Request (ISR) aus und es wird ein Zeitstempel für den Impuls generiert. Aus den Zeitabständen der Impulse und der gegebenen Durchflussmenge pro Impuls ergibt sich damit die Durchflussrate.

3.1.4 Physikalischer Messbereich

Der erwartete Messbereich ergibt sich aus der Durchflussrate bei der Espressozubereitung. Der Nennwert für den Durchfluss beträgt 25 ml +/- 2,5 ml bei 25 s +/- 2,5 s [vgl. Tsantidis, 2008: S.12]. Dies entspricht ca. 1 ml/s bzw. 60 ml/min. Da die Durchflussrate über den gesamten Verlauf des Espressobezugs aber nicht konstant diesem Wert entspricht, sondern auch mal mehr oder weniger sein kann, muss auch mit geringeren bzw. größeren Durchflussraten gerechnet werden. Die minimale Durchflussrate, hier der begrenzende Faktor, wird auf 30 ml/min abgeschätzt. Man sieht also, dass der Digmesa Nano Brass den erwarteten Messbereich fast vollständig durch den linearen Messbereich abdecken kann, während der Nano weit davon entfernt liegt.

3.1.5 Elektrischer Messbereich

Geht man von einer maximalen Durchflussrate von 120 ml/min (Doppelter Nennwert) aus, so ergibt sich für den Fall des Nano Brass mit 39900 Impulsen pro Liter und der maximalen Durchflussrate eine maximale Pulsfrequenz von 79,8 Impulsen pro Sekunde. Analoges vorgehen für den Nano ergibt 98,3 Impulse pro Sekunde.

3.2 Temperaturmessung

(Michael Zanzinger)

Im Folgenden werden die Temperatursensoren für die vier verschiedenen Temperaturmessungen genannt. Dabei handelt es sich ausschließlich um „Negative Temperature Coefficient“ (NTC) – Sensoren mit einem Nennwiderstand von 10 k Ω .

3.2.1 AVS Römer ITS PPSU

Für die Temperaturmessung vor der Brühgruppe kann der vorhandene AVS Römer ITS PPSU 10 k Ω NTC Sensor (Typ: ITS-958P3-6PFNTC10) zum Einsatz kommen. Dieser Sensor ist für eine Mediumtemperatur von 0 – 130 °C ausgelegt und besitzt einen zulässigen Betriebsdruck von 16 Bar bei 100 °C Mediumtemperatur [vgl. AVS Römer GmbH, 2018].

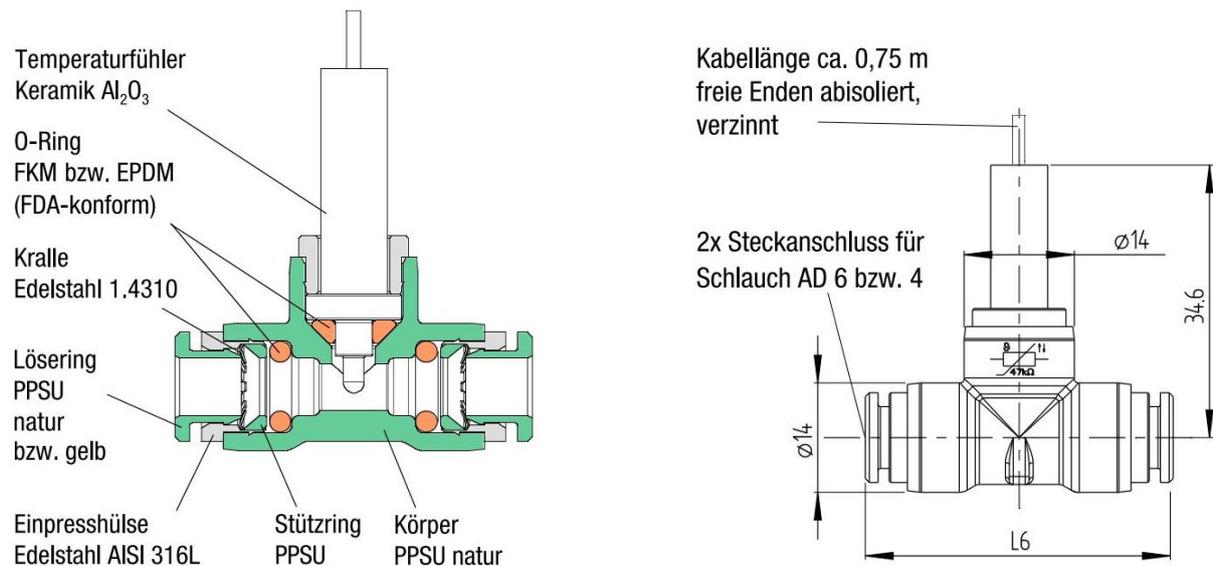


Abbildung 6: AVS Römer ITS PPSU Details und Abmessungen [vgl. AVS Römer, 2018]

Tabelle 4: Technische Daten AVS Römer ITS PPSU [vgl. AVS Römer, 2018]

| | |
|--------------------------|--|
| Typbezeichnung | ITS-958P3-6PFNTC10 |
| Nennweite | DN 4 |
| Anschluss | ELSA-Steckanschluss für Rohr/Schlauch AD 6 |
| Umgebungstemperatur | 0 °C bis +60 °C |
| Mediumtemperatur | 0 °C bis +130 °C |
| Mediumviskosität | bis ca. 35 mm ² /s |
| Thermische Zeitkonstante | <2s (Wasser) |
| Zulassung | NSF/ANSI 169 |
| Nennndruck | PN 20 |
| Zul. Druck bei 100°C | 16 Bar |
| Elektrischer Anschluss | 2-polige PVC-Raster-Stegleitung AWG 24, 0.75 m, UL AWM Style 2651, 300 V, 105 °C, Litzenenden verzinkt |
| Kv-Wert Wasser [l/min] | 8,1 [l/min] |
| Nennwiderstand bei 25°C | 10 k Ω |
| B-Wert R25/85 | 3977 K |
| B Toleranz | +/- 1% |

Die thermische Zeitkonstante des Sensors ist relativ groß. Ein weiterer Sensor von AVS-Römer, der bislang noch nicht auf dem Markt ist könnte diesbezüglich eine verbesserte Ansprechzeit liefern. Die Sensorbezeichnung lautet „ITS-955P3-6PF-X04-NTC10-S85“. Eine weitere Möglichkeit stellt der Micro-BetaChip Temperatursensor dar, der eine Ansprechzeit von nur 200 ms besitzt. Dieser wird im folgenden Kapitel dargestellt und ist aufgrund der geringsten Ansprechzeit den anderen Sensoren zu bevorzugen.

3.2.2 Micro-BetaChip

Für die Temperaturmessungen vor der Brühgruppe, der Brühgruppe, vor dem Kaffeepuck und am Siebträgerauslauf kommt der Micro-BetaChip (MCD), ein NTC-Thermistor der Firma Measurement Specialities, zum Einsatz. Dieser besitzt eine Ansprechzeit von nur 200 ms und hat einen maximalen Durchmesser von 0,5 mm. [vgl. TE Connectivity Sensors, 2015]

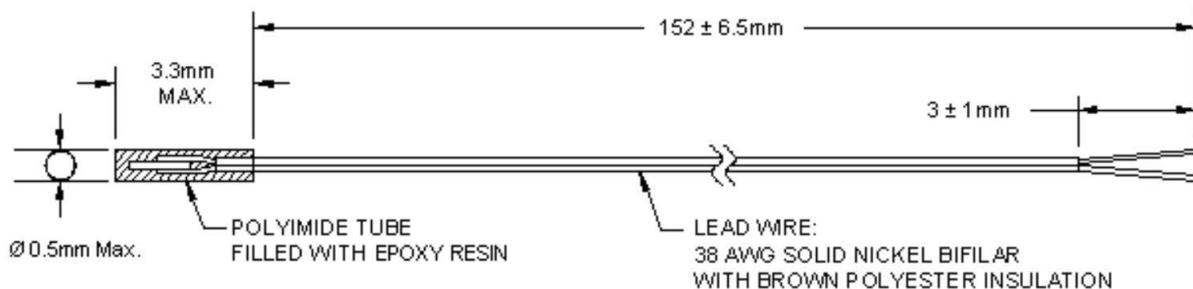


Abbildung 7: Micro BetaChip Thermistor Probe [vgl. TE Connectivity Sensors, 2015]

Tabelle 5: Technische Daten Micro BetaChip [vgl. TE Connectivity Sensors, 2015]

| | |
|------------------------------|-----------|
| Nennwiderstand bei 25°C | 10 kOhm |
| Widerstandstoleranz bei 25°C | +/- 0,2°C |
| B-Wert R25/85 | 3976 K |
| Ansprechzeit | 200 ms |
| Temperaturbereich | -40-125°C |

3.2.3 Anforderung an die Messelektronik (Schaltungsprinzip)

Bei dem verwendeten Temperatursensor handelt es sich um einen temperaturabhängigen Halbleiterwiderstand, auch Heißleiter oder NTC-Widerstand (NTC=Negative Temperature Coefficient) genannt. Er besitzt einen negativen Temperaturkoeffizienten. Steigt die Temperatur, sinkt der Widerstand. Zusammen mit dem wichtigsten Kennwert, dem Nennwiderstand bei 25 °C „R25“ kann so die Temperatur bestimmt werden. Es wird zusätzlich ein Vorwiderstand benötigt, der zur Strombegrenzung und als Spannungsteiler fungiert, damit der Spannungsabfall und somit auch die Temperaturänderung am Messgerät ermittelt werden kann.

A/D-Wandler:

Die Temperatur soll mit einer Auflösung von 0,01 Grad gemessen werden können. Der größte Messbereich beträgt 15-150°C. Das entspricht einer Teilung von 13500 Werten. Somit muss der A/D-Wandler mindestens 13500 positive verschiedene Zustände unterscheiden können. Es würde also ein A/D-Wandler mit einer Auflösung von 15 Bit plus Vorzeichenbit (das entspricht -32768 bis 32767 verschiedenen Zuständen) ausreichen.

3.2.4 Physikalischer Messbereich

Für die Aufzeichnung des gesamten Aufheiz- und Betriebsvorgangs muss der Messbereich die Zustände „nicht aufgeheizt / aufgeheizt“ abdecken. Also von der Ausgangstemperatur des Wassers (ca. 15-20 °C) bis hin zum aufgeheizten Zustand unter Berücksichtigung des Boilerdrucks von bis zu zwei Bar (gemäß Dampfdrucktabelle [vgl. Internetchemie.info] ca. 135 °C). Der Messbereich wird etwas großzügiger gewählt, da die Temperatur bei höherem Druck im aufgeheizten Zustand auch über 135 °C liegen kann. Der physikalische Messbereich der 10 k Ω NTC Sensoren wird auf den Bereich 15-150 °C festgelegt. Es wird bei den verschiedenen Temperaturmessungen auf unterschiedliche Messbereiche verzichtet, sodass sich für jede Temperaturmessung immer der gleiche Vorwiderstand und Spannungsverlauf ergibt.

3.2.5 Elektrischer Messbereich und erforderlicher Verstärkungsfaktor

Der elektrische Messbereich und der Verstärkungsfaktor ergeben sich aus dem Nennwiderstand des Sensors, dem gewählten physikalischen Messbereich, dem Vorwiderstand, der Speisespannung und der Materialkonstante zu:

Verwendeter Vorwiderstand: 10 k Ω

Elektrischer Messbereich: 4096-127 mV

Verstärkungsfaktor: 1,6292

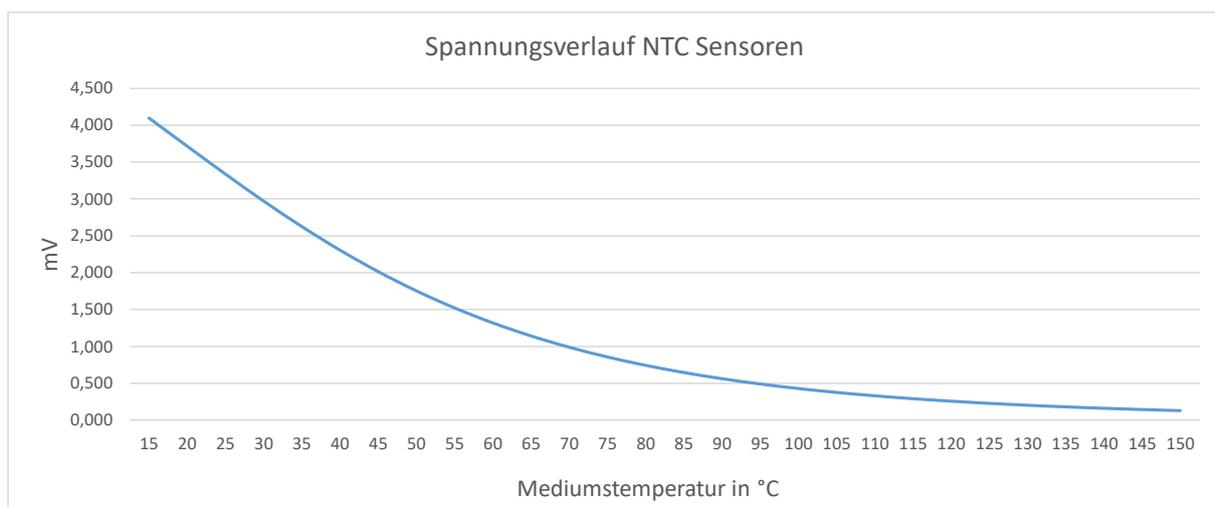


Abbildung 8: Spannungsverlauf NTC Sensoren

3.3 Druckmessung

(Sebastian Czernin)

Zur Ermittlung des Drucks im Mess-System kommt ein keramischer Relativdrucksensor 0-25 bar der Firma B+B Sensors zum Einsatz. Dieser hat den Vorteil, dass er neben seiner Kompaktheit und Wasserbeständigkeit auch optimal für das Verkleben in Mess-Systeme genutzt werden kann [vgl. B+B-Sensors, 2015]. Dieser wird im Mess-System für die Ermittlung des Drucks vor dem Kaffeepuck genutzt.

Tabelle 6: Technische Daten Drucksensor [vgl. B+B-Sensors, 2015]

| | |
|-------------------|--|
| Messbereich | 0-25bar |
| Einsatztemperatur | -40 bis +105 °C |
| Betriebsspannung | 5 bis 30 V DC |
| Brückenwiderstand | 10 ±20% kΩ |
| Nullpunkt-Offset | ± 0,02 mV/V |
| Ausgangssignal | 1 bis 4 mV / V |
| Genauigkeit | ±0,2...1,5 % FS |
| Anschluss | Flachbandleitung RM 1,27 x 45 mm Länge |
| Abmessung | Ø18 x 6,35 mm |
| Gewicht | 0.0174 kg |



Abbildung 9: Drucksensor [vgl. B+B-Sensors, 2015]

3.3.1 Anforderung an die Messelektronik (Schaltungsprinzip)

Der Drucksensor ist eine keramische Messzelle in Dickschichttechnologie. Dieser ist als wheatstonesche Vollmessbrücke aufgebaut welches als Ausgangssignal eine analoge, druckabhängige Differenzspannung liefert. Die Widerstandsbrücke ist eine Schaltung aus zwei parallelgeschalteten Spannungsteilern. Durch Änderung der Widerstände durch Aufbringen eines Drucks entsteht eine Potentialänderung zwischen den zwei Spannungsteiler und bewirkt so einen Stromfluss [vgl. Thiessen, 2020]. Da dieses Ausgangssignal im mV-Bereich liegt muss es mit einem Verstärkungsfaktor angepasst werden. Des Weiteren verfügt die Schaltung über eine Temperaturkompensation, welche ungewünschten Temperatureinflüssen entgegenwirkt [vgl. Thiessen, 2020]. Das analoge Signal wird anschließend über einen A/D-Wandler digitalisiert und über ein Raspberry Pi verarbeitet.

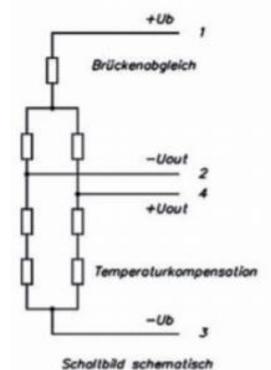


Abbildung 10: Schaltbild Drucksensor [vgl. B+B-Sensors, 2015]

A/D-Wandler:

Gewünschte Auflösung = 0,01 bar

Messbereich = 2 bis 18bar

Anzahl diskreter Werte = $(18-2)/0,01 = 1600$

Der Druck soll mit einer Auflösung von 0,01 bar gemessen werden können. Der Messbereich beträgt 2 bis 18 bar. Das sind diskrete 1600 Werte. Für einen gesicherten Ablauf, um z.B. das Rauschen zu verringern, werden zehnmal so viele Werte gefordert. Es würde also ein A/D-Wandler mit einer Auflösung von 12 Bit plus Vorzeichenbit (das entspricht -32768 bis 32767 verschiedenen Zuständen) ausreichen.

3.3.2 Physikalischer Messbereich

Mit dem keramischen Drucksensor wird der statische Druck vor dem Kaffeepuck ermittelt, also die Kraft, die in Ruhe, durch den Widerstand des Kaffeemehls auf die Flüssigkeit ausgeübt wird [vgl. Hackenesch, 2020]. Bei den meisten Espressomaschinen wird ein maximaler Pumpendruck von 15 bis 18 bar angegeben. Dabei wird aber der letztendliche Brühdruck meist auf 9-10 bar justiert [vgl. Tsantidis 2008: S. 22]. Es findet außerdem noch eine Preinfusion statt, bei der eine kleine Menge Wasser mit wenig Druck vor dem eigentlichen Druckaufbau auf das Kaffeemehl gelassen wird. Um den Druck aller auftretenden Fälle ermitteln zu können liegt deshalb der physikalische Messbereich des Drucksensors bei 2 bis 18 bar. Die Ermittlung des physikalischen Messbereichs aus dem elektrischen Messbereich wird über eine Vergleichsmessung der Projektgruppe Sensorkalibrierung realisiert.

3.3.3 Elektrischer Messbereich und erforderlicher Verstärkungsfaktor

Der elektrische Messbereich des Sensors sind die Werte, die der Sensor bei der Änderung des Drucks bei konstanter Eingangsspannung ausgibt. Diese Signale befinden sich im mV-Bereich, weshalb eine Verstärkungsschaltung benötigt wird, der das Signal in ein vom Raspberry Pi bevorzugten Wert umwandelt. Für diese Umwandlung wird ein Verstärkungsfaktor benötigt. Da der Drucksensor aber eine hohe Streuung besitzt (1 bis 4 mV/V bei 25 bar) [vgl. B+B-Sensors, 2015], weichen die tatsächliche Übertragungswerte von dem linearen Übertragungswert des Sensors ab. Deshalb muss zuvor eine Testmessung durchgeführt werden, um den realen Übertragungswerte zu bestimmen. Bei dieser wird der jeweilige Drucksensor mit einem konstanten, gegebenen Druck beaufschlagt und der dabei entstehende Druck gemessen. Über eine Umrechnung kann so der wahre Spannungsverlauf des Sensors ermittelt werden und daraus der optimale Verstärkungsfaktor realisiert werden. Darüber hinaus besitzen die Drucksensoren eine Nullpunktabweichung, also eine Abweichung des Sensorsignals von 0 bei unbelastetem Sensor (0 bar Relativdruck), welcher zusätzlich bei der Testmessung ermittelt werden muss. Das ganze Konzept für die Ermittlung und Umrechnung des Verstärkungsfaktors ist im Anhang beigefügt (siehe Anhang: Konzept Testmessung Drucksensoren).

3.4 Fördermenge nach dem Siebträgerauslauf - Zemic FAB-47-300g

(Jonas Pytlik)

Die Durchflussmessung nach dem Siebträgerauslauf wird durch ein Wägesystem realisiert. Dafür wurde die Wägezelle Zemic FAB-47-300g ausgewählt.

Hier ein Ausschnitt der wichtigsten technischen Daten. Weitere finden sich im Datenblatt des Herstellers [vgl. Zemic, 2020].

Tabelle 7: Auszug Technische Daten der Wägezelle [vgl. Zemic, 2020: Datenblatt]

| Benennung | Größe | Einheit |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| Nennlast | 300 | g |
| Ausgangssignal bei Nennlast | $0,9 \pm 20\%$ | mV/V |
| Maximale Speisespannung | 6 | V |
| Maximale Gebrauchslast | 150 | % der Nennlast |
| Nullpunktabweichung | $\pm 0,5$ | mV/V |

Der Hersteller gibt eine Messgenauigkeit von $\pm 0,05\%$ vom Endwert an. Durch Kalibrierung der Wägezelle wird eine bessere Genauigkeit angestrebt.

3.4.1 Anforderung an die Messelektronik (Schaltungsprinzip)

An der Wägezelle sind vier Dehnmessstreifen angebracht, welche in einer Wheatstoneschen Vollmessbrücke verschaltet sind. Es sind also vier Anschlussleitungen vorhanden. Zwei davon müssen mit der Spannungsversorgung verbunden werden, die anderen liefern das analoge Messsignal, welches verstärkt und umgewandelt werden muss.

A/D-Wandler:

Mit dem Wägesystem soll die Messung von $0,1 \frac{g}{s}$ gesichert durchgeführt werden können. Dafür benötigt das Wägesystem eine Auflösung, die um eine Zehnerpotenz größer ist, also 10 mg , bei einem Messbereich von 0 g 150 g (entspricht bei Wasser etwa dem *Volumen des Auffangbehälters* = 150 cm^3).

Das maximale, auf der Wägezelle lastende Gesamtgewicht setzt sich zusammen aus:

| | |
|-------|-----------------|
| 150 g | Flüssigkeit |
| 28 g | Auffangbehälter |
| 25 g | Wägeplatte |
| <hr/> | |
| 203 g | Gesamtgewicht |

Daraus lässt sich die nötige Bit-Zahl des A/D-Wandlers ermitteln:

Gewünschte Auflösung = $0,01\text{ g}$

Messbereich = $0\text{ bis }203\text{ g}$

$$\rightarrow \text{Anzahl diskreter Werte} = \frac{203\text{ g}}{0,01\text{ g}} = \mathbf{20300}$$

Es würde also ein A/D-Wandler mit einer Auflösung von 15 Bit plus Vorzeichenbit (das entspricht -32768 bis 32767 verschiedenen Zuständen) ausreichen.

3.4.2 Physikalischer Messbereich

Der Messbereich liegt zwischen 0 g und 203 g (siehe oben).

3.4.3 Elektrischer Messbereich und erforderlicher Verstärkungsfaktor

Das Ausgangssignal der Wägezelle beträgt 0,9 mV pro Volt Speisespannung $\pm 20\%$ bei der Nennlast von 300 g [vgl. Zemic, 2020].

Damit liegt das Ausgangssignal der Wägezelle beim maximal zu messenden Gesamtgewicht von 203 g bei:

$$\left(\frac{0,9 \frac{mV}{V}}{300 g} \cdot 203 g\right) \pm 20\% = 0,609 \frac{mV}{V} \pm 20\%.$$

Maximal ist das Signal bei einer positiven Abweichung von +20% also $0,7308 \frac{mV}{V}$.

Der A/D-Wandler darf ein Signal von maximal 4,096 V empfangen, die Speisespannung der Wägezelle beträgt ebenfalls 4,096 V.

Der Faktor, um welchen das Mess-Signal der Wägezelle verstärkt werden muss, um den gesamten Spannungsbereich des A/D-Wandlers auszunutzen ergibt sich zu:

$$\frac{4,096 V}{4,096 V * 0,7308 mV} = \mathbf{1368}.$$

4 Adaption der Sensoren

Im Folgenden wird die Adaption der Sensoren in den Kreislauf der Espressomaschinen beschrieben. Für die Ermittlung der Anschlussmöglichkeiten und der benötigten Adapter werden fünf verschiedene Modelle und deren Explosionszeichnungen betrachtet. Die betrachteten Espressomaschinen sind:

- Bezzera B2000 2005 und BZ99S/R
- Carimali E9
- ECM Elektronika und Synchronika

Dabei handelt es sich um Espressomaschinen mit typischen Komponenten, sodass die Integration der Sensoren auch für viele andere Espressomaschinen möglich ist. Darüber hinaus werden zwei verschiedene Brühgruppenarten unterschieden, die später noch erläutert werden. Folglich ist für jede Messung, also Durchfluss-, Temperatur, Druck und Fördermenge die Konstruktion und Integration beschrieben. Es werden alle Komponenten und Adapter, Kaufteile wie Fertigungsteile, Adaptionenpläne, Konstruktionszeichnungen, CAD-Modelle und Positionen der Sensoren erläutert, die zusammen das Messsystem ergeben.

4.1 Durchflusssensor

(Michael Zanzinger)

Position des Sensors:

In folgender Abbildung ist zu erkennen, dass grundsätzlich drei Positionen für die Integration der Durchflusssensoren in den Kreislauf in Frage kommen. Für den Digmesa Nano, der nur im Saugkreis verwendet werden darf, wird Position 1 vor der Pumpe im Saugkreis gewählt, für den Nano Brass die Position 2 nach der Pumpe im Druckkreis.

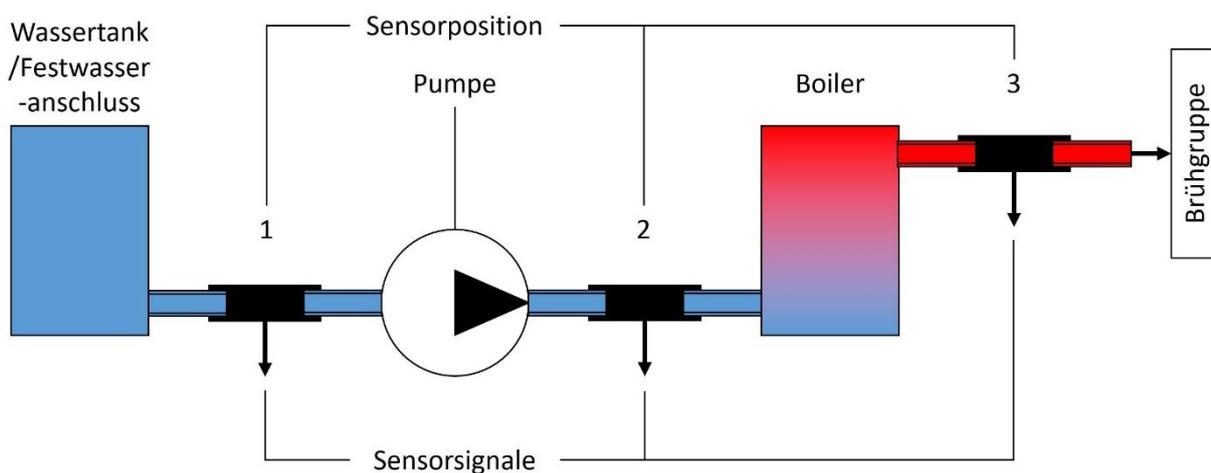


Abbildung 11: Schematische Darstellung des Kreislaufs

Es gibt Kaffeemaschinen mit Wasserbehälter, mit Festwasseranschluss, oder auch Maschinen, die sich beider Wasserbezugsarten bedienen. Wird der Digimesa Nano verwendet, so muss beachtet werden, dass dieser nur für den Saugkreis ausgelegt ist, und kann deshalb bei Maschinen, die an die Wasserleitung angeschlossen sind, nicht verwendet werden. Diese und alle anderen Espressomaschinen werden für die Messung so umgebaut, dass diese das Wasser direkt aus einem Eimer ansaugen. Die benötigten Komponenten reduzieren sich somit auf wenige Adapter und etwas Schlauch. So ist eine sehr universelle Integration des Durchflusssensors im Saugkreis mit wenig Applikationsaufwand möglich.

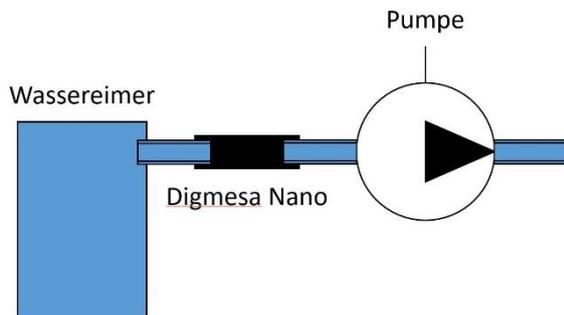


Abbildung 12: Durchflussmessung im Saugkreis

Wie bereits erwähnt ist jedoch der Nano Brass zu bevorzugen. Wird dieser Sensor verwendet, so darf er nur im Druckkreis nach der Pumpe angebracht werden. Auch hierfür müssen die Espressomaschinen geöffnet und so umgebaut werden, dass der Sensor mit entsprechenden Adaptern in den Kreislauf integriert werden kann. Da selbst bei verschiedenen Herstellern oftmals die gleichen Anschlüsse verwendet werden, kann die Anzahl der Adapter auf ein Minimum reduziert werden.

Aus den Explosionszeichnungen der Espressomaschinen gehen die Anschlussmöglichkeiten für die Sensoranbindung hervor. Sie werden für alle betrachtete Maschinen sowohl für den Saug- als auch Druckkreis beschrieben.

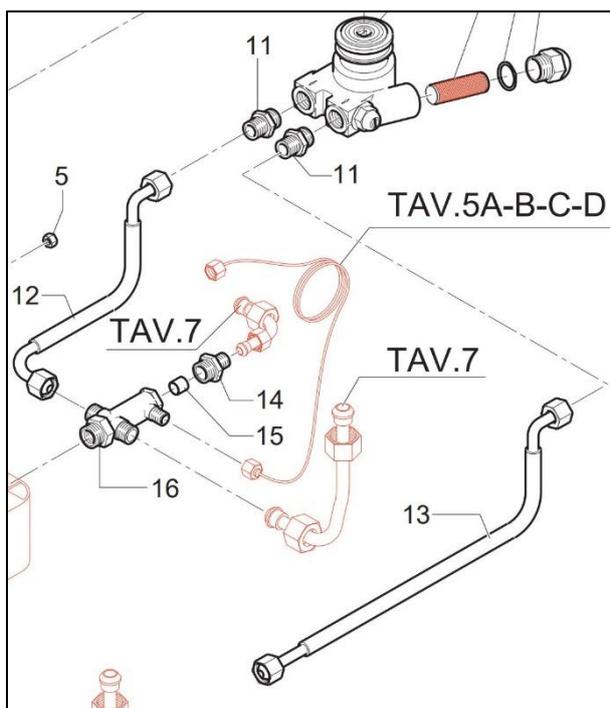


Abbildung 13: Bezzera B2000 Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2005: B2000: S.15]

Die Bezzera B2000 bezieht ihr Wasser von einem Festwasseranschluss und besitzt vor der Pumpe ein G 3/8" Gewinde (Pos. 11). Auch die Schläuche (Pos. 12 und 13) haben G 3/8" Gewinde.

Saugkreis: Je nach Zugänglichkeit der Maschine kann der Nano direkt an Pos. 11 oder vor Pos. 13 angebracht werden. Hierfür wird ein Adapter von G 3/8" AG auf Tülle D6, eine G 3/8" Muffe und etwas Schlauch benötigt.

Druckkreis: Der Nano Brass kann zwischen Pos. 11 und 12 bzw. zwischen Pos. 12 und 16 angebracht werden. Hierfür wird ein Adapter von G 3/8" AG auf G 1/8" AG und ein weiterer Adapter von G 1/8" AG auf G 3/8" IG benötigt.

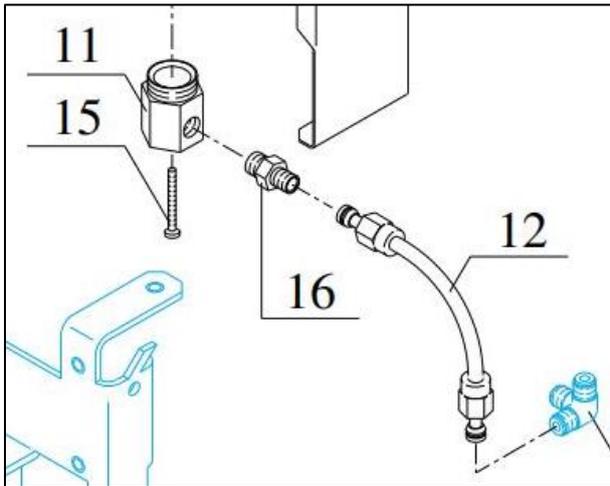


Abbildung 14: Bezzera BZ99S Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2004: BZ99: S.17]

Die Bezzera BZ99S bezieht ihr Wasser von einem Wassertank oberhalb der Pos. 11. Es handelt sich bei allen zu sehenden Anschlüssen um G1/8" Gewinde.

Saugkreis: Je nach Zugänglichkeit kann der Sensor zwischen Pos. 12 und 16 oder an der blauen Dreifachverbindung angebracht werden. Hierfür wird ein Adapter von G 1/8" AG auf Tülle D6, eine G 1/8" Muffe und etwas Schlauch benötigt.

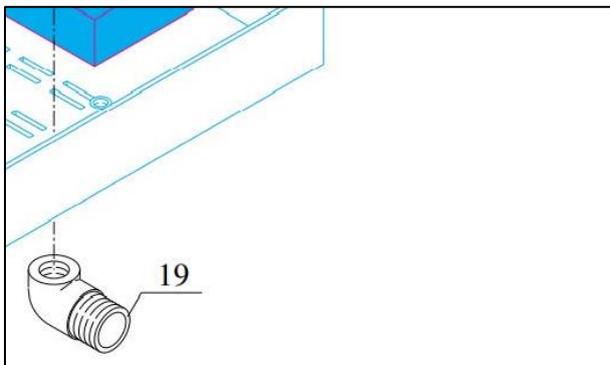


Abbildung 15: Bezzera BZ99R Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2004: BZ99: S.21]

Die Bezzera BZ99R ist im Grunde die gleiche Maschine wie die BZ99S, nur dass diese ihr Wasser von einem Festwasseranschluss bezieht.

Saugkreis: Der Anschluss erfolgt über Pos. 19, die mit dem blauen Dreifachverbinder in Abb. 14 über einen Schlauch verbunden ist. Dies ist ein G 3/8" AG. Der Sensor wird vor Pos. 19 angebracht. Hierfür wird ein Adapter von G 3/8" IG (bzw. G 3/8" AG mit Muffe) auf Tülle D6 und etwas Schlauch benötigt.

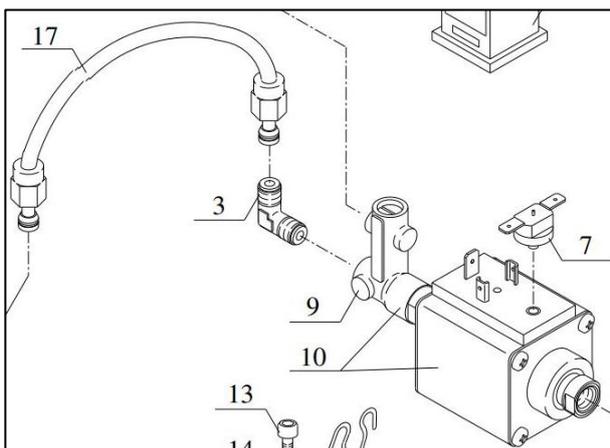


Abbildung 16: Bezzera BZ99S/R Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2004: BZ99: S.19]

Für die Anschlussmöglichkeit des Nano Brass im Druckkreis ist die Anbindung sowohl für die Bezzera BZ99S als auch R identisch.

Druckkreis: Der Schlauch (Pos. 17) besitzt zwei G 1/8" IG. Der Nano Brass wird mit einem auf der pumpenentfernten Seite des Schlauches angebracht.

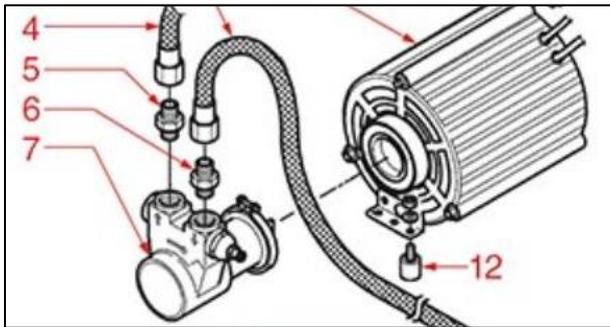


Abbildung 17: Carimali E9 Explosionszeichnung 2 [vgl. Carimali: E9]

Die Carimali E9 bezieht ihr Wasser von einem Festwasseranschluss. Das Gewinde des Schlauchs (Pos. 4) ist ein G 1/4" IG. Das Gewinde der Pumpe (Pos. 7) ein G 3/8" IG.

Saugkreis: Der Sensor kann sowohl vor dem Schlauch als auch vor der Pumpe angebracht werden. Hierfür wird ein Adapter von G 3/8" AG auf Tülle D6, ein Adapter von G 1/4" AG auf Tülle D6 und etwas Schlauch benötigt.

Druckkreis: Der Nano Brass wird zwischen Pos. 7 und 6 im Druckkreis angebracht. Hierfür wird ein Adapter von G 1/8" AG auf G 1/8" AG und ein weiter Adapter von G 1/8" AG auf G 3/8" IG benötigt.

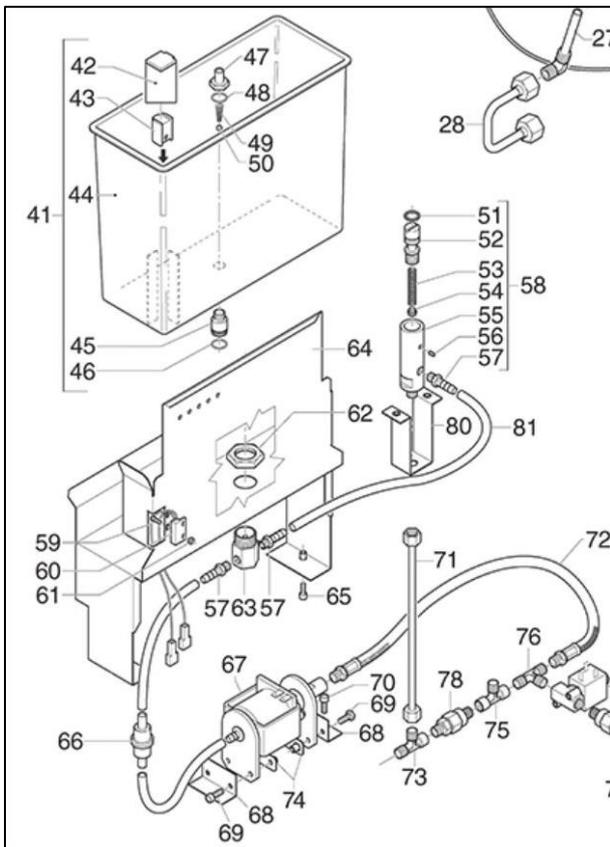


Abbildung 18: ECM Elektronika Explosionszeichnung [vgl. ECM GmbH: Elektronika]

Die ECM Elektronika bezieht ihr Wasser aus einem Wassertank. Die Vibrationspumpe (Pos. 67) besitzt eine Tülle D6 für einen direkten Schlauchanschluss. Die Positionen 75 und 76 besitzen G 1/8" Gewinde.

Saugkreis: Bei dieser Maschine kann gänzlich auf Adapter verzichtet werden. Es wird lediglich etwas Schlauch benötigt, um den Digmesa Nano vor der Pumpe (zwischen Pos. 66 und 67) anzubringen.

Druckkreis: Der Nano Brass wird zwischen Position 76 und 75 angebracht. Hierfür wird lediglich ein Adapter von G 1/8" AG auf G 1/8" AG benötigt.

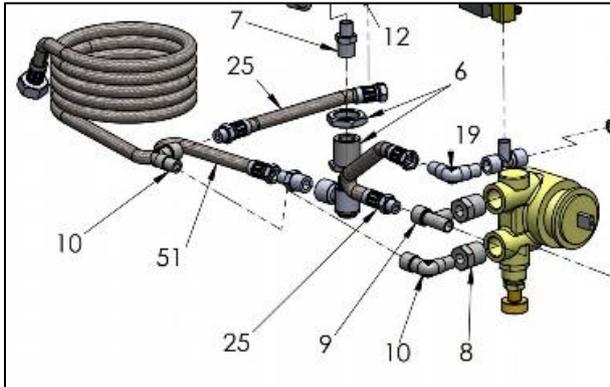


Abbildung 19: Synchronika Explosionszeichnung [vgl. ECM GmbH: Synchronika: S.3]

Die ECM Synchronika kann sowohl mit Wassertank, als auch mit Festwasseranschluss betrieben werden. Es wird vom Festwasseranschluss ausgegangen.

Saugkreis: Der Wasserschlauch (Pos. 51) besitzt ein G 3/8" IG. Der Sensor wird vor dem Schlauch angebracht. Hierfür ist ein Adapter von G 3/8" AG auf Tülle D6 und etwas Schlauch notwendig.

Druckkreis: Der Nano Brass wird zwischen Pos. 19 und 25 angebracht. Diese besitzen ein G 1/8" Gewinde. Es wird also ein Adapter von G 1/8" AG auf G 1/8" AG benötigt.

Bemerkungen zum Saugkreis:

Bei der Bezzera B2000 und der Carimali E9 geht aus den Explosionszeichnungen nicht hervor, wohin die genannten Schläuche führen. Aufgrund ihrer geringen Länge von 320mm und 350mm wird davon ausgegangen, dass diese noch nicht an die Wasserleitung angeschlossen werden, sondern innerhalb der Maschinen zu einem Verbindungsstück laufen, das letztendlich als Wasseranschluss dient. Das Gewinde dieses Verbindungsstücks auf der Seite des Wasseranschlusses ist somit nicht klar.

Da die Bezzera BZ99R ein G 3/8" AG Gewinde als Wasseranschluss besitzt, wird davon ausgegangen, dass auch die Bezzera B2000 ein solches besitzt.

Die Carimali E9 ist die einzige Maschine mit Festwasseranschluss, die einen Schlauch mit G 1/4" Gewinde besitzt. Es wird davon ausgegangen, dass auch der Wasseranschluss der Maschine ein solches Gewinde ist. Aufgrund der Unklarheit aber wird auf einen extra Adapter von G 1/4" auf Tülle D6 verzichtet. Der Anschluss des Sensors muss somit direkt an der Pumpe über das G 3/8" Gewinde erfolgen.

Die Bezzera B2000 und die BZ99R sowie die ECM Synchronika müssen für die Durchflussmessung nicht geöffnet oder umgebaut werden. Es ist lediglich der Sensor, statt der Wasserleitung anzuschließen. Alle anderen Maschinen müssen für diese Messung geöffnet werden.

Zusammengefasst ergeben sich nur vier Adapter und etwas Schlauch für Tülle D6, um den Durchfluss aller Maschinen über den Saugkreis messen zu können. (G 3/8" AG auf Tülle D6, G 3/8" Muffe, G 1/8" AG auf Tülle D6, G 1/8" Muffe).

Mit diesen Adaptern sollte ein weites Feld an Espressomaschinen mit typischen Komponenten abgedeckt sein.

Adaptionsplan für den Saugkreis:

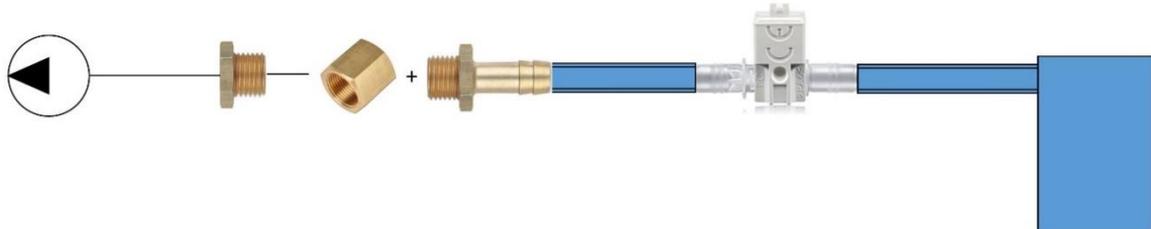
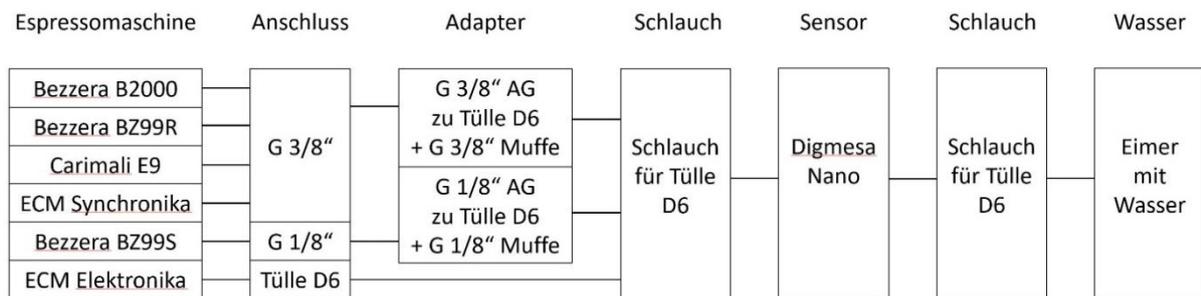


Abbildung 20: Adaptionsplan für den Saugkreis mit Digmesa Nano

Bemerkungen zum Druckkreis:

Die Espressomaschinen müssen für die Integration des Sensors geöffnet werden.

Zusammengefasst ergeben sich nur drei Adapter, um den Durchfluss aller Maschinen über den Druckkreis messen zu können. (G 3/8" AG auf G 1/8" AG, G 1/8" AG auf G 1/8" AG, G 1/8" AG auf G 3/8" IG).

Mit diesen Adaptern sollte ein weites Feld an Espressomaschinen mit typischen Komponenten abgedeckt sein.

Adaptionsplan für den Druckkreis:

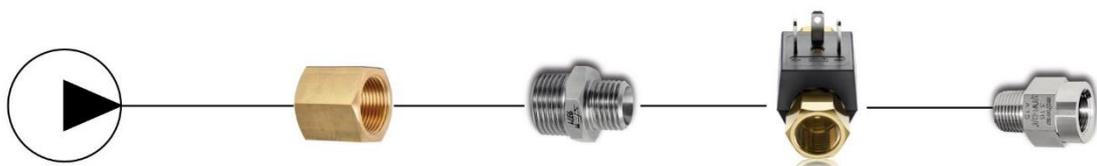
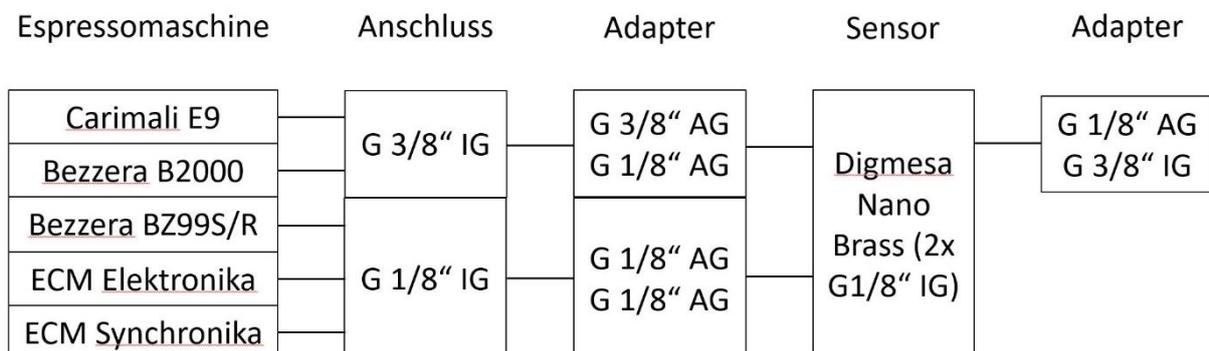


Abbildung 21: Adaptionsplan für den Druckkreis mit Digmesa Nano Brass

4.2 Temperatursensor vor der Brühgruppe

(Michael Zanzinger)

Position des Sensors:

Der AVS Römer Sensor wird direkt vor der Brühgruppe [vgl. Abb. 11, Pos. 3] in den Kreislauf integriert.

Aus den Explosionszeichnungen gehen die Anschlussmöglichkeiten für die Sensoranbindung vor der Brühgruppe hervor.

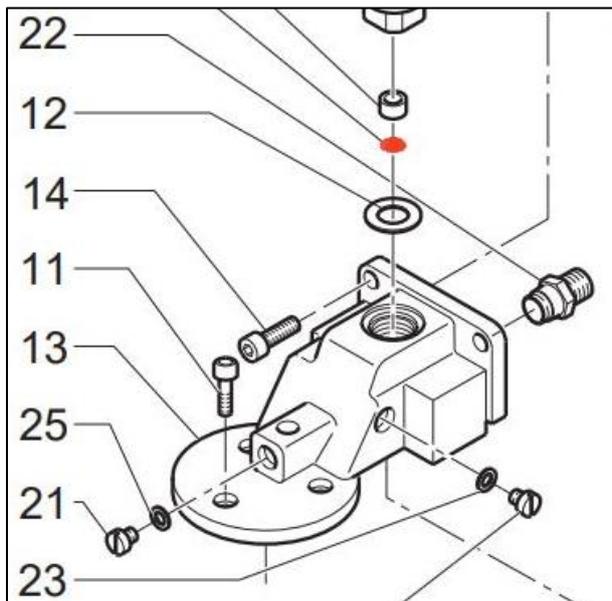


Abbildung 22: Bezzera B2000 Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2005: B2000: S.45]

Die Bezzera B2000 besitzt an der Brühgruppe ein G 1/4" IG. Der Sensor wird zwischen Brühgruppe und Pos. 22 angebracht. Hierfür werden zwei AVS Römer Adapter (Gerade Einschraubverschraubung PPSU 6 mm G 1/4"), eine G 1/4" Muffe und etwas druckfester Schlauch AD6 benötigt.

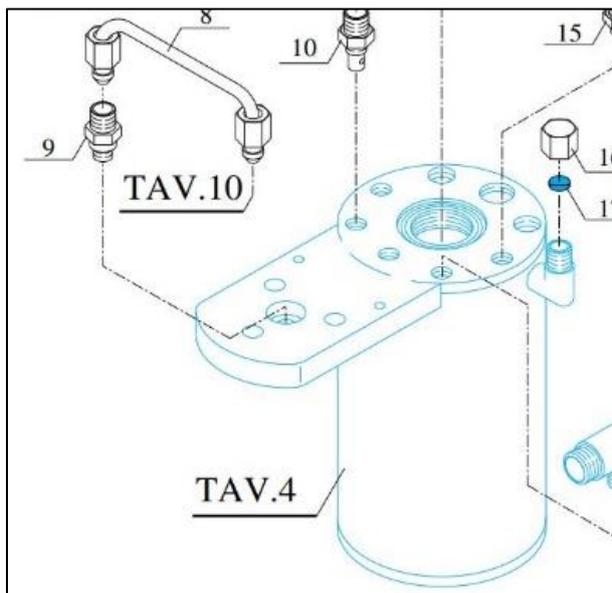
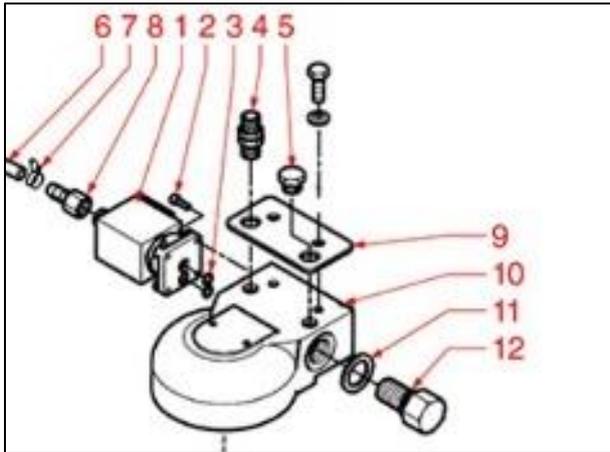


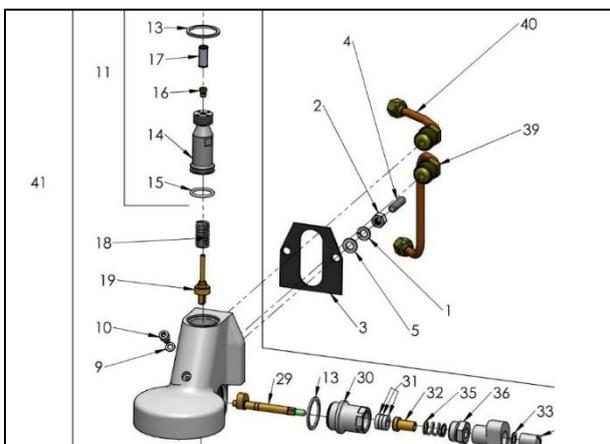
Abbildung 23: Bezzera BZ99S/R Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2004: BZ99: S.11]

Die Bezzera BZ99S/R besitzt an der Brühgruppe ein G 1/8" IG. Der Sensor wird zwischen Brühgruppe und Pos. 9 angebracht. Hierfür werden zwei AVS Römer Adapter (Gerade Einschraubverschraubung PPSU 6 mm G 1/8"), eine G 1/8" Muffe und etwas druckfester Schlauch AD6 benötigt.



Die Carimali E9 besitzt an der Brühgruppe eine Düse (Pos. 4) mit beidseitigem G 1/8" AG Anschluss. Der Sensor wird über Pos. 4 angebracht. Hierfür werden zwei AVS Römer Adapter (Gerade Einschraub-Verschraubung PPSU 6 mm G 1/8"), eine G 1/8" Muffe und etwas druckfester Schlauch AD6 benötigt.

Abbildung 24: Carimali E9 Explosionszeichnung 1 [vgl. Carimali: E9]



Die ECM Elektronika und die Synchronika besitzen eine E61 Brühgruppe. Diese hat an der Brühgruppe ein G 1/2" IG. Der Sensor wird zwischen der Brühgruppe und Pos. 40 angebracht. Hierfür werden zwei AVS Römer Adapter (Gerade Einschraub-Verschraubung PPSU 6 mm G 1/4"), ein Adapter (G 1/2" AG auf G 1/4" IG), ein Adapter (G 1/4" IG auf G 1/2" IG) und etwas druckfester Schlauch AD6 benötigt.

Abbildung 25: Explosionszeichnung E61 Brühgruppe [ECM GmbH: Synchronika: S.12]

Zusammengefasst ergeben sich sechs verschiedene Adapter und etwas druckfester Schlauch AD6, um die Temperatur vor der Brühgruppe aller Maschinen messen zu können. (Gerade Einschraub-Verschraubung PPSU 6 mm G 1/4" x2, Gerade Einschraub-Verschraubung PPSU 6mm G 1/8" x2, G 1/4" Muffe, G 1/8" Muffe, G 1/2" AG auf G 1/4" IG, G 1/4" IG auf G 1/2" IG).

Adaptionsplan:

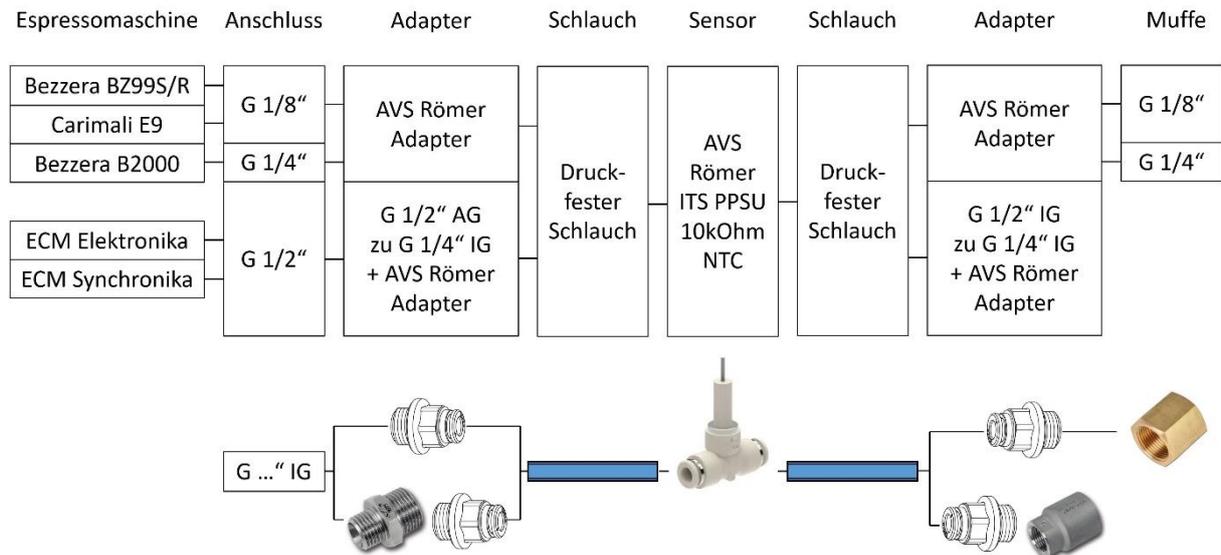


Abbildung 26: Adaptionsplan Temperatursensor vor der Brühgruppe

Für die Temperaturmessung vor der Brühgruppe kommt, wie in der Sensorik beschrieben, vorrangig der Micro-BetaChip zum Einsatz. Dieser besitzt allerdings keinen Schlauchanschluss wie der AVS-Römer Sensor, weshalb Adapter konstruiert werden müssen, um den Sensor in den Kreislauf integrieren, und eins zu eins gegen den AVS-Römer Sensor austauschen zu können.

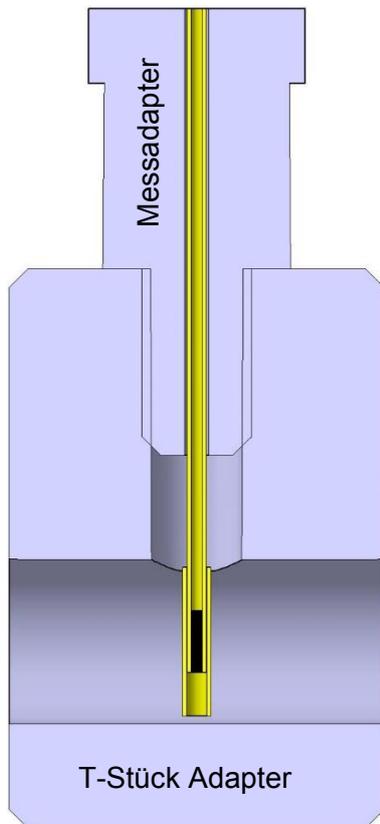
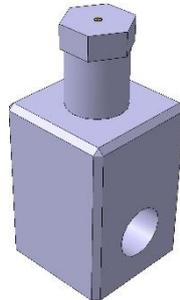


Abbildung 27: T-Stück Adapter mit Messadapter Schnittansicht



Das Konstrukt besteht im wesentlichen aus zwei Adaptern. Dem Messadapter und dem T-Stück Adapter. Der Messadapter kommt auch bei der Temperaturmessung vor dem Kaffeepuck zum Einsatz und wird dort näher beschrieben [vgl. 4.5.2], weshalb an dieser Stelle auf eine ausführliche Beschreibung verzichtet wird. Dort wird auch auf den Schutz der Kabel näher eingegangen. Wichtig ist an dieser Stelle die benötigte

Länge des Messingrohrs (hier in Gelb), in das der Sensor (hier in Schwarz) eingeklebt wird. Diese kann der technischen Zeichnung im Anhang des Dokuments entnommen werden.

Der T-Stück Adapter hat die Aufgabe, den selben Schlauchanschluss wie bei dem AVS-Römer Sensor zu gewährleisten und den Messadapter samt Sensor einschrauben zu können. Die Horizontale Bohrung besitzt ein G 1/8" Gewinde. Über dieses Gewinde können die AVS-Römer Einschraubverschraubungen eingeschraubt werden. Dies sind Adapter, die aus einem Gewindeanschluss einen Schlauchanschluss machen. Die vertikale Bohrung besitzt ein M6 Gewinde über das der Messadapter eingeschraubt werden kann. Für die Dichtigkeit sorgt Teflonband das vor dem Einschrauben auf die Außengewinde aufgewickelt wird. Die Technische Zeichnung des T-Stück Adapters sowie des Messadapters befindet sich im Anhang. Als Material für die Adapter wird Aluminium verwendet.

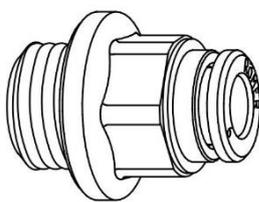


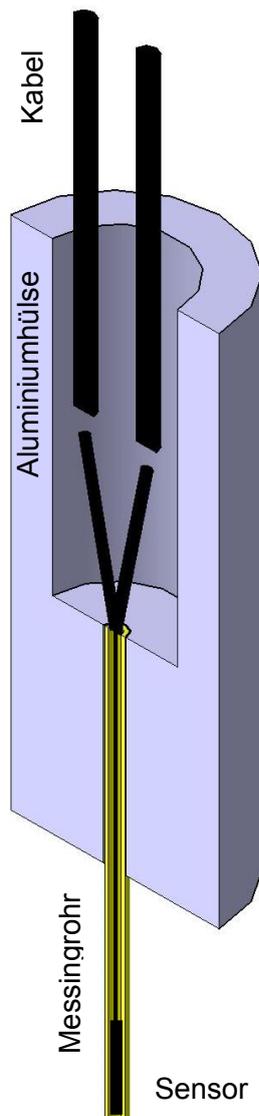
Abbildung 28: AVS-Römer Einschraubverschraubung

Links sind die genannten AVS-Römer Einschraubverschraubungen dargestellt. Auf der einen Seite besitzen sie ein G 1/8" Außengewinde, auf der anderen Seite einen Schlauchanschluss für Außendurchmesser 6 mm.

4.3 Temperatursensor an der Brühgruppe

(Michael Zanzinger)

Die Brühgruppen der Espressomaschinen haben viele verschiedene Formen. Einen universellen Halter oder Adapter für die Brühgruppe zu bauen, gestaltet sich daher schwierig. Aus der Forderung nach wenig Applikationsaufwand ergibt sich die pragmatische Lösung, den Temperatursensor [vgl. 3.2.2] mittels Aluminiumklebeband an der Oberfläche der Brühgruppe anzukleben.



Der Sensor kann allerdings nicht ungeschützt einfach angeklebt werden. Er ist nur 0,5 mm dick, 3,3 mm lang und besitzt hauchdünne Kabel mit ca. 152 mm Länge. Um den Sensor und besonders die Kabel zu schützen wird ein 1 mm dünnes Messingrohr, der Gesamtlänge des Sensors inklusiv Kabel entsprechend [vgl. 3.2.2] minus 10 mm, in die links dargestellte Aluminiumhülse [siehe Anhang: Technische Zeichnung Kabelschutz] bis zum obersten Rand eingeschoben und mittels Cyanacrylat-Kleber (z.B. LOCTITE® 496™) verklebt. Der überstehende Teil des Messingrohrs in der Hülse wird herausgebrochen und es entsteht die Situation wie links dargestellt (ohne Kabel in schwarz). Dann wird der Sensor von unten mit den Kabeln voran in das Messingrohr eingeschoben, sodass die Litzen der Kabel in die Hülse ragen. Anschließend wird der Sensor mit genanntem Kleber am unteren Ende des Messingrohrs verklebt. Die Kabel des Sensors sollten nun 10 mm über das obere Ende der Hülse hinausragen. So können diese hauchdünnen Kabel mit festeren Kabeln verlötet und die Lötstelle anschließend mit Schrumpfschlauch geschützt werden. Die Kabel, besonders die Lötstelle inklusiv Schrumpfschlauch, werden dann so weit wie möglich in die Hülse zurückgeschoben, sodass nur noch die festeren Kabel aus der Hülsenöffnung herausragen. Der Hohlraum wird schlussendlich mit Epoxidharz (z.B. UHU Plus Endfest 300) ausgefüllt, wodurch die hauchdünnen Kabel des Sensors schlagfest eingebettet vor dynamischer Beanspruchung geschützt sind und nicht beschädigt werden können. An die überstehenden festeren Kabel kann nun die nötige Kabellänge zum Anschluss des Sensors an die Messelektronik angelötet und mit Schrumpfschlauch überzogen werden.

Abbildung 29: Sensor- und Kabelschutz (nicht maßstabsgerecht)

4.4 Temperatursensor am Siebträgerauslauf

(Michael Zanzinger)

Der Micro BetaChip Temperatursensor [vgl. 3.2.2] wird mit einem Cyanacrylat-Kleber (z.B. LOCTITE® 496™) in ein 1 mm dünnes Messingrohr geklebt. Für die Dichtigkeit des Systems sorgt neben dem Kleber ein zweites 1,5 mm dickes Messingrohr, welches über das erste Messingrohr geschoben, festgeklebt und an der Ausgangsseite druckdicht gequetscht wird. Die Länge des Messingrohrs und die Maßnahmen zum Schutz des Sensors und der Kabel sind dieselben, wie im vorangegangenen Kapitel 4.3 und können dort entnommen werden. Das Messingrohr wird dann mit dem Sensor voraus in den Auslauf des Siebträgers gehalten. Um das Messingrohr in Position zu halten, kann z.B. eine Löthilfe verwendet werden.

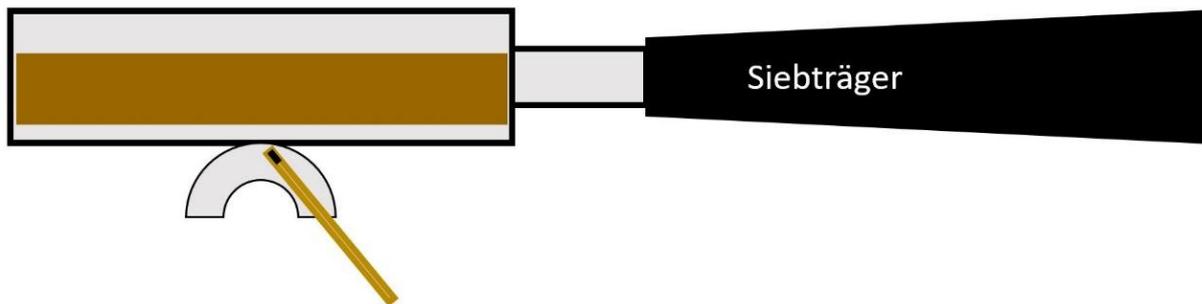


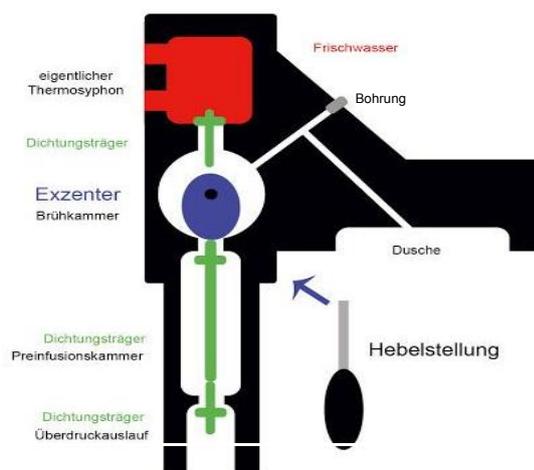
Abbildung 30: Temperatursensor am Siebträgerauslauf

4.5 Druck und Temperatur vor dem Kaffeepuck

Bei der Anbindung der Druck- und Temperaturmessung vor dem Kaffeepuck wird zwischen zwei Anbindungsvarianten unterschieden. Dabei wird grundsätzlich zwischen Espressomaschinen mit E61- und Espressomaschinen ohne E61-Brühgruppen unterschieden.

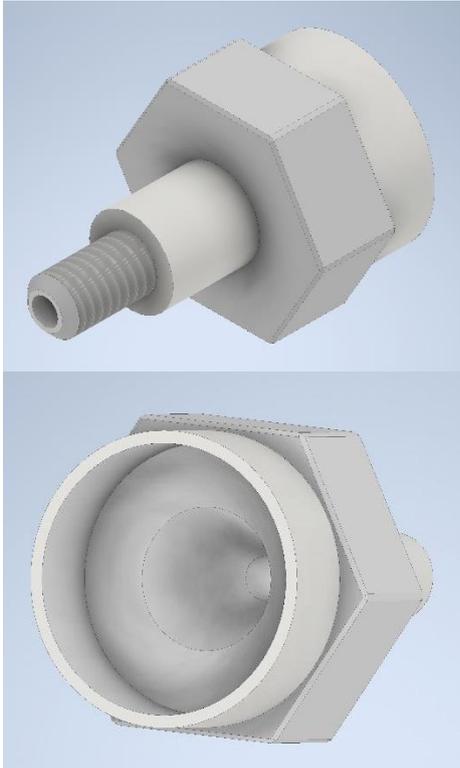
4.5.1 Druck vor dem Kaffeepuck bei E61-Brühgruppen

(Sebastian Czernin)



Die Anbindung des Drucksensors zur Ermittlung des Drucks vor dem Kaffeepuck wird bei Espressomaschinen mit E61-Brühgruppe über eine an der Brühgruppe befindliche Bohrung realisiert. Die Bohrung führt direkt zum Wasserkanal, welches das Brühwasser von der Brühkammer zur Dusche und somit zum Siebträger mit Kaffeepuck weiterleitet. Dabei wird der Drucksensor mithilfe eines konstruierten Messadapters in die Bohrung eingeschraubt.

Abbildung 31: Aufbau E61-Brühgruppe [vgl. Imprezza]



Der in Kapitel 3.3 beschriebene Relativdrucksensor wird mit einem lebensmittelechten Epoxidharzkleber in dem dafür vorgesehenen Bauraum des Drucksensoradapters eingeklebt und ist mit einer Durchgangsbohrung direkt mit dem Wasserkanal an der Brühgruppe verbunden. Für die Verklebung wird ein Loctite EA9480 Klebstoff verwendet, da dieser neben seiner Verträglichkeit gegenüber Wasser auch bei hohen Temperaturen eine ausreichende Festigkeit vorweist [vgl. Loctite, 2014]. Der Druckmessadapter, wird mithilfe eines M6-Gewindes in die an der Brühgruppe befindliche Bohrung eingeschraubt. Am Adapter befindet sich diesbezüglich eine Außensechskant mit 22 mm Schlüsselweite (DIN EN ISO 4017:2015), welche eine einfache Verschraubung gewährleistet. Für die Dichtigkeit des Systems wird zwischen Kopfaufgabe des Adapters und der Brühgruppe eine M6x12 Unterschlagscheibe (DIN EN ISO 7090:2000) aus Edelstahl eingesetzt. Als Messadaptermaterial wird Aluminium verwendet.

Abbildung 32: Druckmessadapter für E61

4.5.1.1 Festigkeitsnachweis

Der Festigkeitsnachweis wird nach dem Dokument Mess-System Berechnungen geführt [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

Es wird zunächst überprüft, ob die gewählte Verklebung des Drucksensors mit dem Druckmessadapter den beaufschlagten Druck standhält. Dabei werden zunächst die entstehenden Spannungen an der Klebeverbindung berechnet. Der dabei maximal auftretende Druck wird auf 18 bar festgelegt.

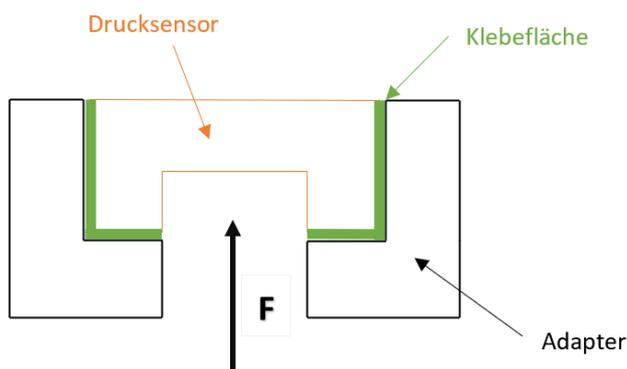


Abbildung 33: Klebeverbindung Druckmessadapter

An der Klebeverbindung wirken zwei Belastungen, welche mit folgenden Formeln berechnet werden:

- Zugbeanspruchung:

$$\sigma_K = \frac{F_{BW} \cdot K_A}{A_Z} \quad (1)$$

- Scherung:

$$\tau_K = \frac{F_{BW} \cdot K_A}{A_S} \quad (2)$$

Anschließend wird die Gesamtbelastung über die Formel

$$\tau_{Gesamt} = \sqrt{\sigma_K^2 + \tau_K^2} \quad (3)$$

berechnet und mit der zulässigen Spannung der Klebeverbindung verglichen.

Bei der Festigkeitsberechnung der Klebeverbindung ist die auftretende Gesamtbelastung mit $0,85 \frac{N}{mm^2}$ kleiner als die zulässige Spannung mit $9,2 \frac{N}{mm^2}$ [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

Als nächstes wird überprüft, ob der Messadapter das Anziehmoment an die Brühgruppe standhält. Dabei wird die Torsionsspannung an der dünnsten Wandstärke im Adapter berechnet und mit der zulässigen Torsionsspannung verglichen. Das Anziehmoment wird auf $M_A = 11,3 \text{ Nm}$ [vgl. Würth, 2005: S. 11] für Festigkeitsklasse 8.8 festgelegt.

Die Torsionsspannung wird mit folgender Formel berechnet:

$$\tau_t = \frac{M_A}{W_t} \quad (4)$$

Bei dem Druckmessadapter liegt die an der dünnsten Wandstärke auftretende Torsionsspannung mit $65,13 \frac{N}{mm^2}$ unter der zulässigen Torsionsspannung des Werkstoffes mit $100 \frac{N}{mm^2}$ und hält somit ein Anziehdrehmoment von $M_A = 11,3 \text{ Nm}$ stand [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

4.5.2 Temperatur vor dem Kaffeepuck bei E61-Brühgruppen

(Michael Zanzinger)

Für Espressomaschinen mit E61-Brühgruppen läuft die Anbindung des in 3.3.2 beschriebenen Temperaturthermistors wie bei dem Drucksensor [vgl. 4.5.1], über einen konstruierten Messadapter. Dieser wird wie der Druckmessadapter mithilfe eines M6-Gewindes in die Bohrung der Brühgruppe eingeschraubt. Am Adapter befindet sich diesbezüglich ein Außensechskant mit 10 mm Schlüsselweite, welcher eine einfache Verschraubung gewährleistet. Der Messadapter besitzt darüber hinaus eine Durchgangsbohrung, in die ein 1 mm dünnes Messingrohr mit einem Cyanacrylat-Kleber wasserdicht verklebt wird. Das Messingrohr wird durch den Klebevorgang wahrscheinlich an der Oberseite des Messadapters verschlossen sein. Dies stellt allerdings kein Problem dar. Nach dem Fügen und Aushärten wird der Messadapter mit einer 15 mm tiefen Bohrung mit dem Durchmesser 6 mm versehen. Dies entfernt den verschlossenen Teil des Rohres und gewährleistet zugleich, den Sensor und dessen Kabel wie in Kapitel 4.3 mit selbigem Vorgehen vor Beschädigung zu schützen. Anschließend wird der Sensor von unten mit den Kabeln voraus in das Messingrohr eingeführt und mit dem Cyanacrylat-Kleber am unteren Ende des Messingrohrs festgeklebt. Für die Dichtigkeit des Systems sorgt neben dem Kleber ein zweites 1,5 mm dickes Messingrohr, welches über das erste Messingrohr geschoben, festgeklebt und an der Ausgangsseite druckdicht gequetscht wird. Dann erfolgt der Schutz der Kabel nach Kapitel 4.3. Zwischen Kopfauflage des Messadapters und der Brühgruppe wird eine Unterlagscheibe eingelegt, welche die Dichtigkeit des Systems sicherstellt. Als Adaptermaterial wird Aluminium verwendet. Die benötigten Messingrohrängen können den Technischen Zeichnungen im Anhang entnommen werden. Insgesamt werden 3 Messadapter mit verschiedenen Messingrohrängen benötigt. Für die Temperaturmessung vor der Brühgruppe, und für die Temperaturmessung vor dem Kaffeepuck, jeweils für E61- und nicht E61-Brühgruppen. Die Technische Zeichnung des Messadapters befindet sich ebenfalls im Anhang.

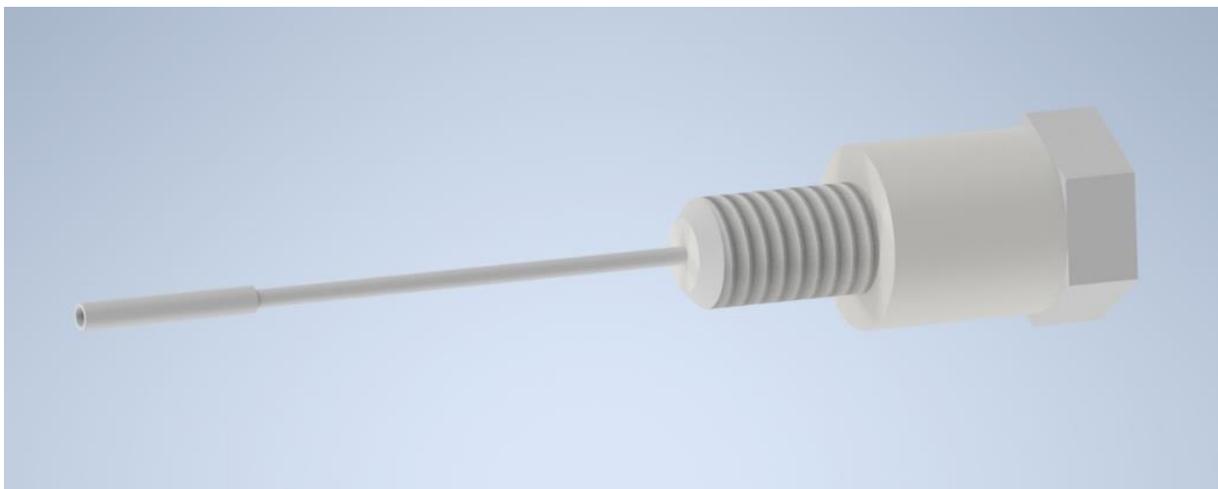


Abbildung 34: Temperaturmessadapter

4.5.3 Druck- und Temperaturermittlung ohne E61-Brühgruppe (Sebastian Czernin)

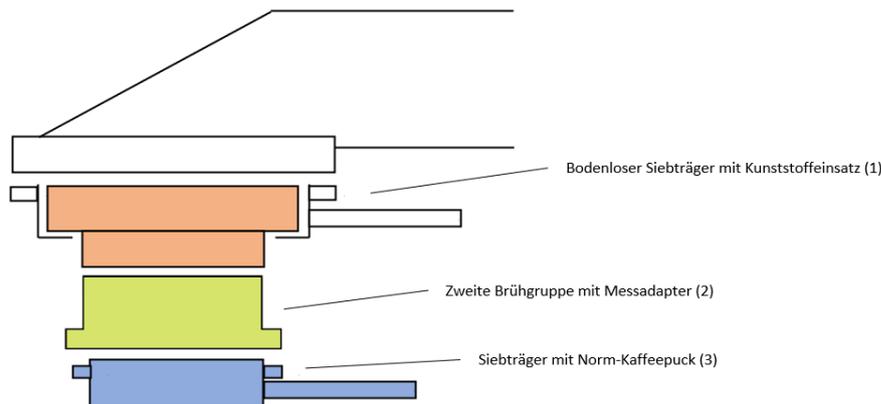


Abbildung 35: Temperatur- und Druckermittlung ohne E61-Brühgruppe

Bei universellen Espressomaschinen ohne E61-Brühgruppe gibt es, wie bei den E61-Brühgruppen keine einheitliche Bohrung die direkt mit dem Wasserkanal verbunden ist. Deshalb wird hier der Druck und die Temperatur vor dem Kaffeepuck über eine zweite, neu konstruierte Brühgruppe ermittelt. Bei dieser wird das Brühwasser, welches aus der eigentlichen Brühgruppe der Espressomaschine kommt, über einen Kunststoffeinsatz (1), zu einer zweiten Brühgruppe (2) weitergeleitet, in welchem der Druck und die Temperatur des Brühwassers über Bohrungen ermittelt werden. Damit ein realer Brühwasserdruck entsteht wird an die zweite Brühgruppe (2) ein Norm-Siebträger (3) mit einheitlichem Kaffeepuck eingesetzt. Dieser bleibt bei jeder gemessenen Espressomaschine unverändert, welches zu einer guten Reproduzierbarkeit der Messung führt.

4.5.3.1 Kunststoffeinsatz

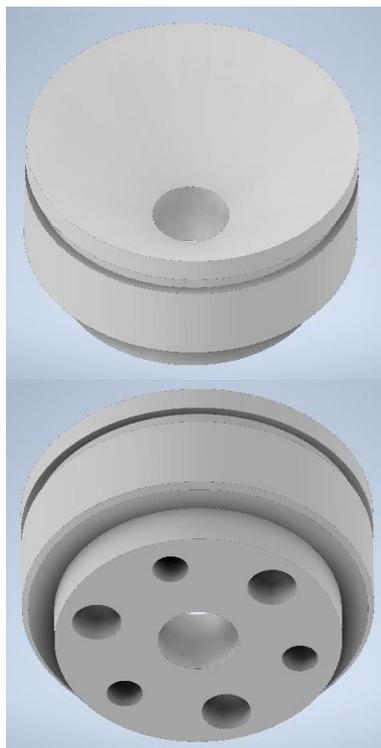


Abbildung 36: Kunststoffeinsatz
Ansicht 1

Der Kunststoffeinsatz hat die Aufgabe, das Brühwasser, welches aus der Brühgruppe der Espressomaschine kommt, zur neu konstruierten Brühgruppe weiterzuleiten. Dabei wird das Sieb des jeweiligen bodenlosen Siebträgers der Espressomaschine auf 49mm Durchmesser ausgeschnitten und der Kunststoffeinsatz eingelegt. Der bodenlose Siebträger wird anschließend in die Brühgruppe der zu messenden Espressomaschine eingespannt. Da die bodenlosen Siebträger von Espressomaschinen meist unterschiedliche Größen und Formen besitzen, wird der Kunststoffeinsatz für jede Espressomaschinenvariante neu ausgelegt und gefertigt. Über M6X12 Gewindeeinsätze aus Messing [vgl. KVT Solutioneering, 2019: S.6], welche zuvor in den Kunststoffeinsatz selbstschneiden eingesetzt werden, wird die zweite Brühgruppe angeschraubt. Zur Übertragung von Querkräften werden zusätzlich drei 6x24 mm Zylinderstifte (DIN 6325:1971) zwischen Brühgruppe und Kunststoffeinsatz eingesetzt. Das Bauteil wird im HP-Multi Jet Fusion (MJF) 3D-Druckverfahren [vgl. 3Faktor GmbH] gefertigt. Um die Oberflächengüte an den benötigten Stellen und die Toleranzen der Bohrungen zu gewährleisten, wird der Kunststoffeinsatz nachbearbeitet (siehe Anhang: Technische Zeichnung Kunststoffeinsatz Nachbearbeitung). Um die Dichtigkeit des

Systems zu gewährleisten werden außerdem zwei Dichtringe zwischen Sieb und Kunststoffeinsatz, sowie zwischen Kunststoffeinsatz und zweite Brühgruppe eingelegt (siehe Anhang: Bestellliste) [vgl. Parker, 2019: S.22]. Diese haben die Aufgabe die Dichtigkeit des Mess-Systems zu gewährleisten und so ein Druckverlust im Mess-System zu vermeiden.

4.5.3.2 Zweite Brühgruppe

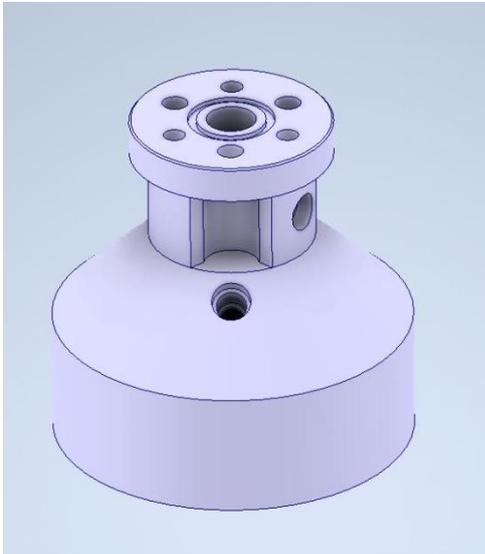


Abbildung 38: Zweite Brühgruppe

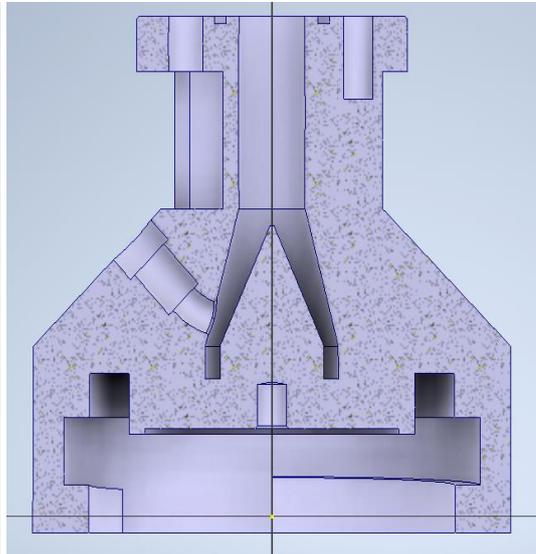


Abbildung 37: Zweite Brühgruppe Schnitt

Die zweite Brühgruppe hat zum einen die Aufgabe, das Brühwasser weiter zum Norm-Siebträger zu leiten und diesen an der Brühgruppe zu befestigen, zum anderen die Anbindung der Druck- und Temperaturmessung zu realisieren. Dafür werden die bei der E61-Brühgruppe verwendeten Druck- und Temperaturmessadapter (siehe 4.5.1 und 4.5.2) in die dafür vorgesehenen Bohrungen mithilfe von selbstschneidende M6x7,9 Gewindeeinsätze eingeschraubt. [vgl. KVT Solutioneering, 2019: S.6]. Dabei muss die für den Temperatursensoradapter notwendige Messingrohrlänge beachtet und angepasst werden (siehe Anhang: benötigte Messingrohrlänge Temperaturmessadapter). Die Bohrungen sind direkt mit dem Wasserkanal verbunden in der die Temperatur und der Druck vor dem Kaffeepuck ermittelt werden. Für die Dichtigkeit am Übergang zwischen Messadapter und zweite Brühgruppe sorgen PTFE-Flachdichtungen (siehe Anhang: Bestellliste). Des Weiteren sind in der Brühgruppe drei Durchgangsbohrungen konstruiert, mit welcher die Brühgruppe mithilfe von drei M6x24 Innensechskantschrauben (ISO 4762:2004) an den Kunststoffeinsatz angeschraubt werden. Zur Übertragung der Querkräfte sind zusätzlich drei Bohrungen für die Zylinderstifte eingearbeitet. Die zweite Brühgruppe wird, wie der Kunststoffeinsatz im HP-Multi Jet Fusion (MJF) 3D-Druckverfahren [vgl. 3Faktur GmbH] gefertigt. Für die Einhaltung der Toleranzen, sowie die Oberflächengüte an der Dichtungsringnut, wird die Brühgruppe nachbearbeitet (siehe Anhang: Technische Zeichnung Brühgruppe Nachbearbeitung).

Die in der zweiten Brühgruppe befindliche Konstruktion für das Einspannen des Siebträgers an die Brühgruppe und der Norm-Siebträger mit Kaffeepuck wurden aus der Konstruktion von der parallellaufenden Projektgruppe: Konstruktion Brühgruppe und zugehöriger Siebträger übernommen, Der Norm-Siebträger mit Kaffeepuck muss noch für das Mess-System aus dem 3D-Druck Verfahren gefertigt werden.

4.5.3.3 Festigkeitsnachweis

Der Festigkeitsnachweis wird nach dem Dokument: Mess-System Berechnungen geführt [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

Beim Festigkeitsnachweis der Brühgruppe muss zwischen der axialen Belastung und der Belastung durch Querkräfte unterschieden werden. Die Belastung durch Axialkräfte werden durch die drei M6-Innensechskantschrauben mit Festigkeitsklasse 8.8 aufgenommen, mit welcher die Brühgruppe an den Kunststoffeinsatz angeschraubt wird. Da die Brühgruppe außer des Eigengewichts keine Belastung in Axialrichtung erfährt, wird diese durch die Formel

$$F_B = \frac{m \cdot g}{n} \quad (5)$$

berechnet und mit der zulässigen Belastungsgrenze von M6-Schrauben verglichen. Dabei liegt die auftretende Axialbelastung weit unterhalb der zulässigen Belastungsgrenze von $F_B < 1,6 \text{ kN}$.

Die Auszugskraft der eingebauten Gewindeeinsätze an dem Kunststoffeinsatz mit welcher die M6-Schrauben eingeschraubt werden, liegt bei 8 kN und somit auch weit oberhalb der auftretenden Axialbelastung.

Für die Belastung der Querkräfte werden zwischen der Brühgruppe und dem Kunststoffeinsatz drei 6x24 mm Zylinderstifte eingesetzt. Die Querbelastungen entstehen durch das Einsetzen des Norm-Siebträgers an die Brühgruppe. Die dabei auftretenden Kräfte wurden mithilfe einer zuvor durchgeführten Messung ermittelt. Dabei lag die maximal auftretende Kraft bei 55 N [vgl. Rohren, Testmessung].

Beim Festigkeitsnachweis der Zylinderstifte werden auf zwei Belastungen eingegangen.

Abscherspannung:

Die Abscherspannung lässt sich über folgende Formel berechnen:

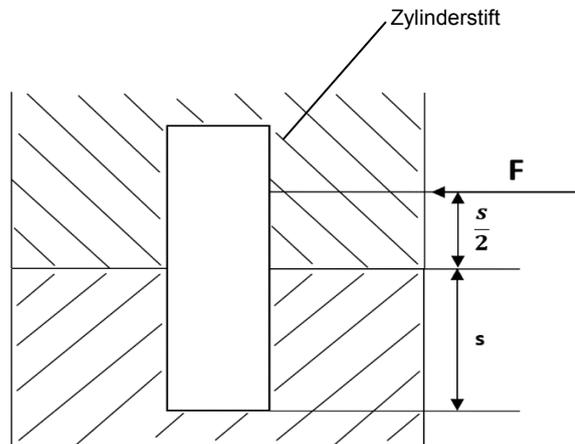
$$\tau_a = \frac{4 \cdot K_A \cdot F_{ZS}}{3 \cdot d^2 \cdot \pi} \quad (6)$$

Diese wird anschließend mit der zulässigen Abscherspannung von dem Zylinderstift aus Stahl verglichen. Dabei ist die auftretende Spannung mit $1,78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ weitaus kleiner als die zulässige Abscherspannung mit $105 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

Flächenpressung:

Da die zulässige Flächenpressung auf den Kunststoffeinsatz weitaus geringer ist als die des Zylinderstifts, wird nur die Belastung auf den Kunststoffeinsatz berücksichtigt.

Die Flächenpressung wird dabei über folgende Formel berechnet:



$$p_f = \frac{K_A \cdot F_{ZS} \cdot (6 \frac{s}{2} + 4s)}{2 \cdot d \cdot s^2} \quad (7)$$

Abbildung 39: Flächenpressung

Diese wird anschließend mit der zulässigen Flächenpressung von PA12 verglichen. Dabei ist die auftretende Flächenpressung mit $14,7 \frac{N}{mm^2}$ geringer als die zulässige Flächenpressung mit $44 \frac{N}{mm^2}$ [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

Neben dem Festigkeitsnachweis an den Zylinderstifte muss noch die durch Torsion entstehende Schubspannung an der kleinsten Wandstärke in der Brühgruppe berechnet werden. Dies wird über die Formel

$$\tau_t = \frac{M_A}{W_t} \quad (8)$$

berechnet und mit der zulässigen Schubspannung von PA12 verglichen. Dabei ist die entstehende Schubspannung mit $8,29 \frac{N}{mm^2}$ weitaus geringer als die zulässige Schubspannung mit $68 \frac{N}{mm^2}$ [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

4.6 Fördermenge nach dem Siebträgerauslauf

(Jonas Pytlik)

Die Durchflussmessung nach dem Siebträgerauslauf wird mithilfe eines, eigens konstruierten, Wägesystems durchgeführt. Der Aufbau des Systems ist mit dem einer herkömmlichen Waage vergleichbar: Das zu messende Gut wird in einem Behälter aufgenommen und bewirkt mit seiner Gewichtskraft eine elastische Verformung im Kraftaufnehmer. In diesem Fall ist der Kraftaufnehmer eine Wägezelle von Zemic (siehe Kapitel 3.4), in Form eines Doppelbiegebalkens, an dem an Ober- und Unterseite jeweils zwei Dehnmessstreifen (DMS) angebracht sind. Deren elektrischer Widerstand ändert sich mit ihrer Dehnung und Stauchung. Werden sie gedehnt, so nimmt ihr elektrischer Widerstand zu (weil sich dabei ihr Querschnitt verkleinert) und vice versa. Um den Einfluss der Temperatur auf den elektrischen Widerstand zu kompensieren sind die DMS in der Wheatstoneschen Messbrücke verschaltet. Der Spannungsabfall an den Messanschlüssen hängt dadurch nur noch von der Dehnung der Messstreifen, hervorgerufen durch die Scherung des Doppelbiegebalkens und von der Speisespannung ab.

Der aus dem Siebträger auslaufende Espresso wird in einem Behälter aufgefangen. Dessen Gewichtskraft wird mit dem hier beschriebenen Kraftaufnehmer gemessen. Über den zeitlichen Verlauf der Gewichtskraft wird ein Massestrom berechnet [Messdatenerfassung, 2021: Kapitel 6.3].

4.6.1 Konzept

Für das Wägesystem wurden drei mögliche Konzepte ausgearbeitet und bewertet (siehe Anhang). Im Allgemeinen handelt es sich bei den Konzepten um Plattformwaagen, bei der die Messung mithilfe einer Single-Point Wägezelle durchgeführt wird. Das heißt, dass nur eine Wägezelle zur Messung genutzt wird. Diese Art von Wägesystem zeichnet sich durch einen einfachen Aufbau aus [vgl. Gommola, 2002: Kap. 8].

Für die weitere Ausarbeitung wird das 3. Konzept gewählt, da es in der Konzeptbewertung die beste Punktzahl erreicht hat.

Bei diesem Konzept werden Deckel des Gehäuses und Wägeplattform in einem Teil vereint. Der für die Wägezelle nötige Überlastschutz wird durch eine Schraube realisiert, welche durch eine Mutter gekontert wird. Anders, als im ursprünglichen Konzept wurde der Überlastschutz letzten Endes in den Boden des Gehäuses gesetzt, um die Wägezelle mit so wenig Gewicht wie möglich vorzubelasten. Die Wägezelle wird durch Schrauben am Boden des Gehäuses fixiert. Es gibt eine Durchführung für die Messleitungen.

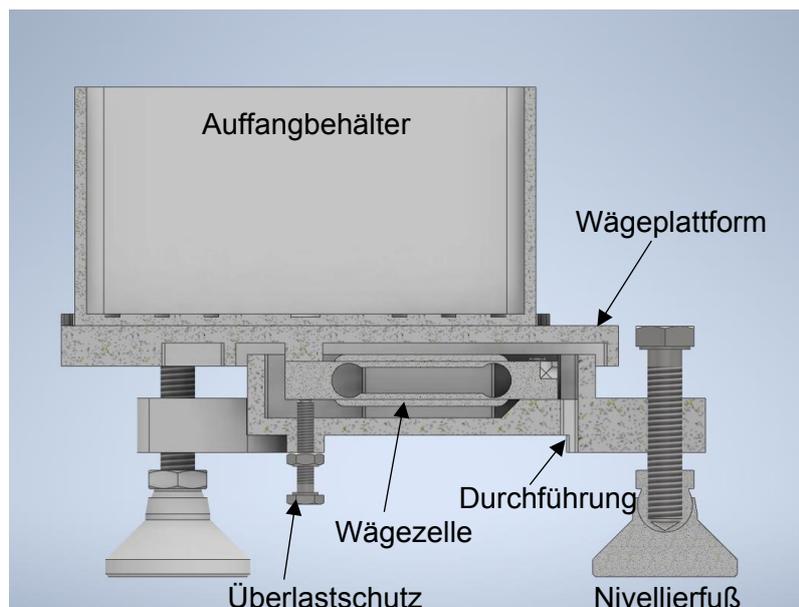


Abbildung 40: Schnittbild Wägesystem

Die Wägezelle wird durch Schrauben am Boden des Gehäuses fixiert. Es gibt eine Durchführung für die Messleitungen. Der Auffangbehälter für den Espresso ist entnehmbar. Auf der Wägeplattform befinden sich Positionierhilfen für den Auffangbehälter.

Am Gehäuse sind drei Nivellierfüße angebracht. Es wurde eine Wägezelle von Zemic mit der Modellnummer FAB-47-300g ausgewählt, welche eine Nennlast von 300 g besitzt. Weitere Kenndaten finden sich in dem Datenblatt des Herstellers [vgl. Zemic, 2020]. Sie besitzt nur auf der Seite Gewinde, welche am Gehäuse fixiert wird. Die Wägeplattform wird mit Stiften auf der Wägezelle zentriert. Diese Art der Zentrierung hat den entscheidenden Vorteil, dass sie völlig Reibungsfrei funktioniert. Diese Methode ermöglicht eine viel bessere Messgenauigkeit im Gegensatz zur Führung der Wägeplattform, z. B. durch einstellbare Anschläge.

4.6.2 Konstruktion

Es wird das im Anhang beschriebene Konzept Nr. 3 konstruiert, mit einer Änderung: Der Anschlag, welcher in der Konzeptzeichnung im Deckel platziert ist, wird stattdessen unten links, unter der Wägezelle, eingebaut. Grund dafür ist, dass die Wägezelle durch so wenig Gewicht, wie möglich, vorbelastet werden soll. Die einfache Einstellbarkeit des Anschlags geht zwar dadurch verloren, der Anschlag muss jedoch nur einmal richtig eingestellt werden, weswegen dies zu verkraften ist. Wie bereits erwähnt wird die Wägeplattform mit Zentrierstiften auf der Wägezelle angebracht, anstatt der in der Skizze angedeuteten Schraube.

4.6.2.1 Das Gehäuse

Das Gehäuse besitzt im Inneren eine Auflagefläche mit zwei M3 Gewindebohrungen, an welche die Wägezelle geschraubt wird.

Die Wägezelle besitzt an ihrer Ober- und Unterseite jeweils einen Kunststoffstreifen, unter welchen sich die Dehn-Mess-Streifen befinden. Für die Gesamthöhe der Wägezelle nebst Freiraum werden 9 mm benötigt. Die maximal zulässige Durchbiegung der Wägezelle kann aus den technischen Daten nicht entnommen werden. Typischerweise betragen die Verformungen von Wägezellen wenige Zehntel-Millimeter. Hier wurde von 1 mm Verformung ausgegangen. Die Genauigkeit des 3-D-Drucks mit einem HP-Multi Jet Fusion wird von einem Dienstleister zu 0,3 % der Abmaße angegeben, mindestens jedoch $\pm 0,3 \text{ mm}$ [vgl. 3Faktur GmbH] (andere Dienstleister beziffern die Toleranz teilweise zu $\pm 0,2 \%$ bzw. $\pm 0,2 \text{ mm}$; hier wurde vom schlechtesten Fall ausgegangen).

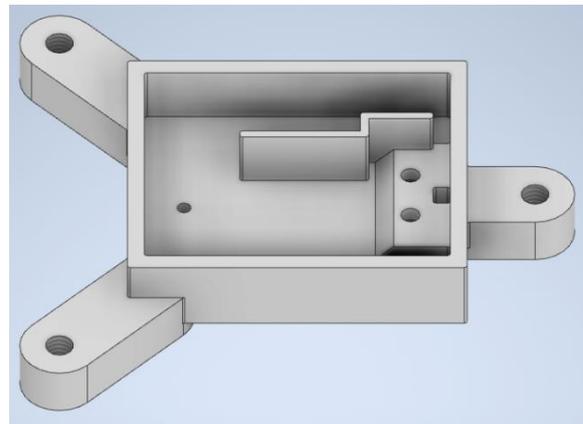


Abbildung 41: Gehäuse

Um der Wägezelle einen Verformungsweg von 1 mm zu ermöglichen muss die Auflagefläche des Gehäuses unter Berücksichtigung der Drucktoleranz also mindestens 2,8 mm über dem Boden sein.

Weil das Wägesystem nach oben hin genug Platz hat wird der Abstand der Wägezelle zum Boden und zur Wägeplattform auf 2 mm erhöht. Die Dicke der Auflagefläche beträgt somit 3,2 mm.

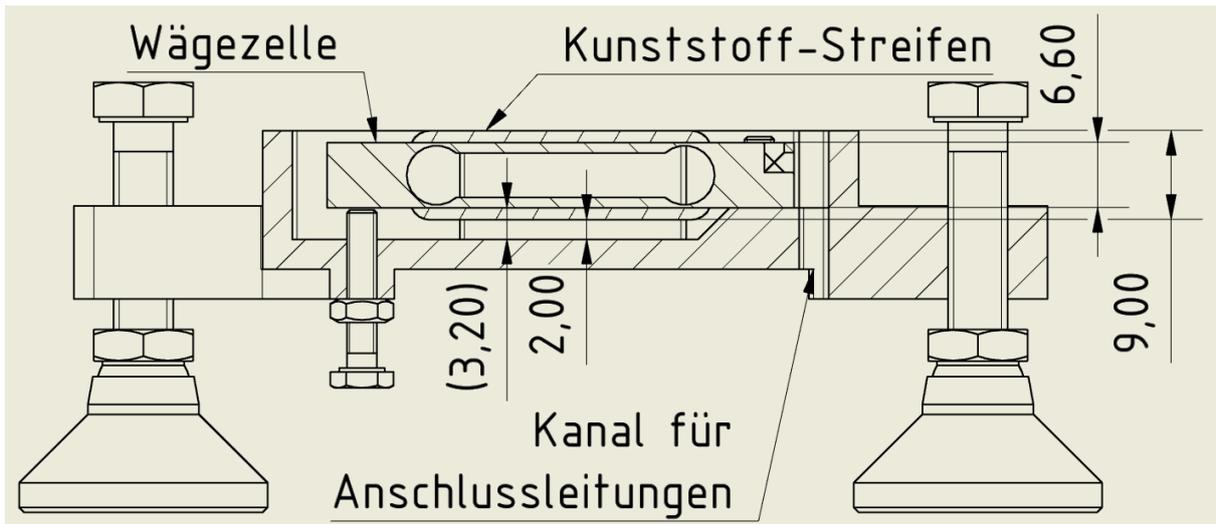


Abbildung 42: Schnitt durch Gehäuse und Wägezelle

In der Auflagefläche ist ein Kanal in der Auflagefläche vorhanden, durch welchen die Anschluss-Leitungen der Wägezelle durch den Boden des Gehäuses geführt werden können. Durch diese Führung nach unten wird verhindert, dass die Leitungen mit der Wägeplatte in Berührung kommen, was das Messergebnis verfälschen würde.

Im Boden des Gehäuses befindet sich das Gewinde für die Anschlag-Schraube.

An dem Gehäuse befinden sich drei Ausleger für höhenverstellbare Füße mit M6 Gewinden. Als Füße werden M6 Schrauben mit Regelgewinde verwendet, auf welche Gelenkfüße geschraubt werden, um eine Nivellierung zu ermöglichen.

Damit die Anschlussleitungen der Wägezelle nicht durch Herausziehen beschädigt werden können, werden sie zu einer Platine geführt und dort mit Leitungen verbunden, welche durch den Boden nach Draußen geführt werden. Das Herausführen durch den Boden stellt sicher, dass die Drähte nicht mit der Wägeplatte in Kontakt treten, was das Messergebnis verfälschen würde. Die Platine wird mit zwei M2,5 Innensechskantschrauben befestigt.

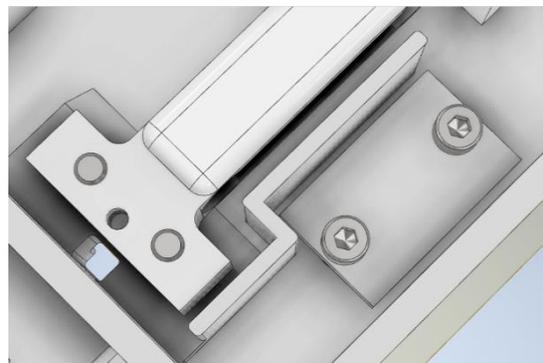


Abbildung 43: Platine, Wand und Kanal im Gehäuse

Eine Wand im Gehäuse trennt die Leitungen von der Wägezelle, sodass das Messergebnis nicht durch einen Kontakt der Leitungen mit der Wägezelle verfälscht wird.

4.6.2.2 Die Wägeplatte

Die Wägeplatte steht über eine Auflagefläche mit der Wägezelle in Kontakt. Die Höhe der Auflagefläche ergibt sich analog zur Auflagefläche der Wägezelle im Gehäuse (siehe oben).

Damit der Schwerpunkt der Wägeplatte und des Auffangbehälters exakt über dem Krafeinleitungspunkt der Wägezelle steht wurden mehrere Maßnahmen ergriffen:

1. Die Wägeplatte wird über Zentrierstifte an der richtigen Position gehalten.
2. Es wurde ein Ausgleichsgewicht an der Wägeplatte angebracht. Dieses ist aufgrund des asymmetrischen Aufbaus der Wägeplatte notwendig.
3. Auf der Oberseite der Wägeplatte wurden Positionierhilfen für den Auffangbehälter konstruiert.

Um die Wägezelle vor Verschmutzung, Spritzwasser und ähnlichem zu schtzen besitzt die Wägeplatte an ihrer Unterseite eine umlaufende Lippe.

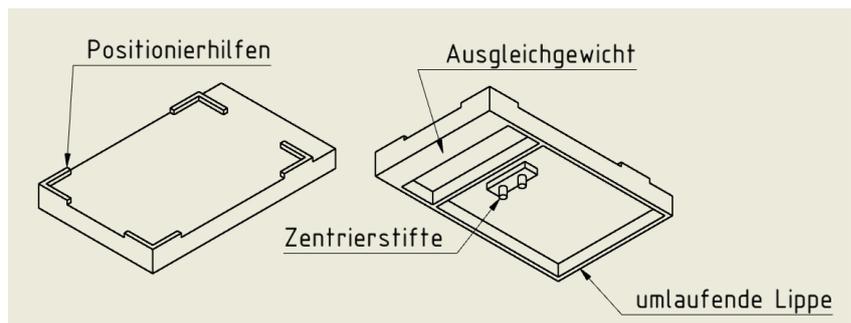


Abbildung 44: Isometrische Ansicht von oben und unten auf die Wägeplatte

4.6.2.3 Der Auffangbehälter

Der Auffangbehälter ist so konstruiert, dass er die vorgeschriebenen 150 cm^2 fasst. Er hat im Inneren abgerundete Kanten, sodass das Säubern erleichtert wird.

Um möglichst genaue Messungen zu erreichen müssen die Flüssigkeits-Strahlen, die aus der Espresso-Maschine kommen, zusammen einen resultierenden Kraftvektor haben, der durch den vorgesehenen Krafeinleitungspunkt der Wägezelle verläuft. Damit das Ausrichten der Flüssigkeitsstrahlen leichter fällt befindet sich am Boden des Auffangbehälters eine Zielscheibe.

Die Behalterbreite wurde auf $80,2\text{ mm}$ festgelegt, die Länge beträgt 56 mm . Die 3D-Druck Dienstleister 3Faktur, Trindo und Sculpteo machen keine Angaben über den Warmerausdehnungskoeffizienten des verwendeten Kunststoffs beim Druck mit einem HP-Multi Jet Fusion [vgl. 3Faktur GmbH, 2018; Sculpteo und Trindo, 2021]. Da sie alle einen PA12 Kunststoff verwenden, wurde als Referenzwert

für den Warmerausdehnungskoeffizienten $\alpha = 16 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$ angenommen [vgl. Ensinger GmbH, 2018]. Es wird davon ausgegangen, dass die Flüssigkeit im Behälter $80\text{ }^\circ\text{C}$ hat, bei einer Raumtemperatur von $21\text{ }^\circ\text{C}$. Das ergibt eine maximale Temperaturdifferenz $\Delta T = 59\text{ K}$. Der Behälter dehnt sich also in Breitenrichtung um $\Delta b = 80,2\text{ mm} \cdot 16 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K} \cdot 59\text{ K} = 0,076\text{ mm}$ und in Längsrichtung um $\Delta l = 56\text{ mm} \cdot 16 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K} \cdot 59\text{ K} = 0,053\text{ mm}$. Die Dehnungen werden berücksichtigt, indem die Länge und die Breite des Behälters um $0,1\text{ mm}$ verkürzt werden.

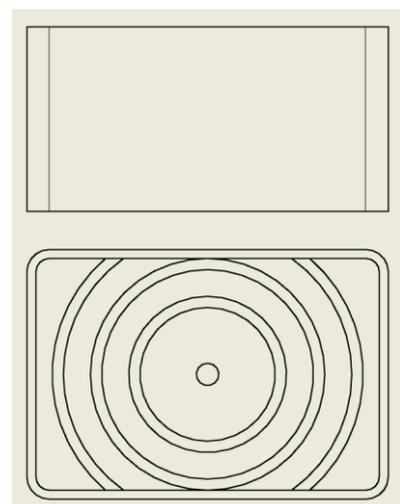


Abbildung 45: Vorderansicht und Ansicht von oben auf den Auffangbehälter

Der Behälter und die Wägeplatte werden beide mit einem HP-Multi Jet Fusion 3D-gedruckt, dieses Fertigungsverfahren hat, wie oben erwähnt, eine Toleranz von $\pm 0,3 \text{ mm}$. Im schlimmsten Fall überlappen sich die Wägeplatte und der Auffangbehälter also um $0,6 \text{ mm}$. Um das zu verhindern werden die Maße des Behälters um weitere $0,6 \text{ mm}$ in Längen- und Breitenrichtung verkürzt.

4.6.2.4 Gesamtbaugruppe

Die Maße der Gesamtbaugruppe sind $101 \text{ mm} \cdot 116,6 \text{ mm} \cdot 85 \text{ mm}$ ($l \cdot b \cdot h$), wobei sich die Höhe durch die Nivellierfüße leicht variieren lässt.

Insgesamt bleibt das Wägesystem innerhalb der geforderten Höhenbeschränkung.

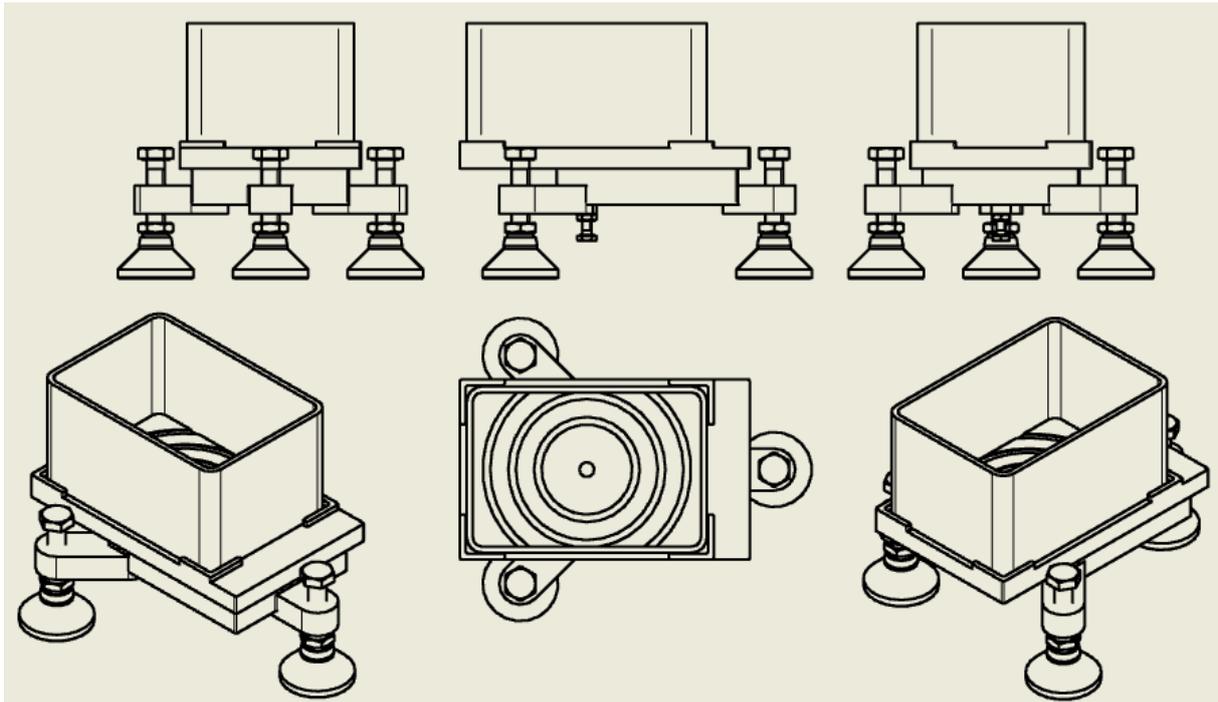


Abbildung 46: Ansichten der Gesamtbaugruppe

4.6.3 Berechnung der nötigen Breite des Ausgleich-Gewichts

Damit der Gesamtschwerpunkt der Wägeplatte genau über dem Kräfteinleitungspunkt der Wägezelle liegt wird ein Ausgleichsgewicht (siehe Abbildung 47, links unten) benötigt. Damit der (Volumen-)Schwerpunkt der Wägeplatte genau über dem Kräfteinleitungspunkt liegt muss die Breite des Ausgleichsgewichts $17,35 \text{ mm}$ betragen [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

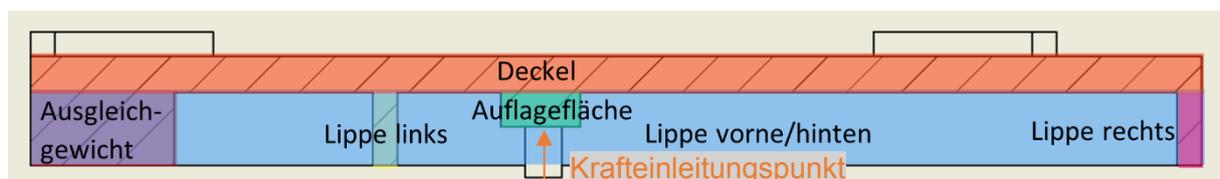


Abbildung 47: Schnitt durch Wägeplatte mit markierten Teilvolumina

4.6.4 Berechnung der Anschlagschraube

Für die Anschlagschraube wird eine M3 Schraube mit Regelgewinde verwendet. Es wird so eine kleine Schraube gewählt, um eine möglichst kleine Gewindesteigung zu erlangen, ohne dabei auf eine spezialangefertigte Schraube zurückgreifen zu müssen. Die Berechnung des Anschlags findet sich im Dokument [vgl. Mess-System Berechnungen, 2021].

Es wurden die Pressung auf das Kunststoffgehäuse unter dem Mutterkopf und die Belastung auf das Muttergewinde im Gehäuse geprüft, um sicherzustellen, dass eine Überlast von 2 kg ohne Schaden aufgenommen werden kann.

Die Klemmkraft zur Sicherung des Anschlags gegen Herausdrehen durch Vibrationen oder Stöße und ähnliches wurde auf 20 N festgelegt. Die Schraube selbst ist im PA12 Gehäuse selbsthemmend.

Für die Pressung unter der Mutter hat sich unter diesen Bedingungen ein Wert von $7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ergeben, was unter der für PA12 maximal zulässigen Pressung von $55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ liegt. Die Pressung im Muttergewinde des Gehäuses ist noch geringer und liegt bei $2,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Damit ist die M3 Schraube als Anschlag geeignet.

Das Anziehdrehmoment ergab sich in der Rechnung zu 0,061 Nm. Bei einer Nachrechnung für eine höhere Klemmkraft hat sich gezeigt, dass die maximal zulässigen Flächenpressungen auch für ein Anziehdrehmoment von 0,48 Nm noch nicht überschritten werden. Das Anziehdrehmoment sollte also zwischen 0,061 Nm und 0,48 Nm liegen.

4.6.5 Zusammenbau Wägesystem

Der Zusammenbau des Wägesystems steht noch aus. Die dafür nötigen Teile liegen noch nicht alle vor [siehe Anhang: Bestellliste]. Der Bedarf an Schrauben wurde bei Herrn Bichler angemeldet, eine Rückmeldung von seiner Seite steht noch aus. Das Gehäuse muss nachgearbeitet werden. Dafür wurde eine Fertigungszeichnung erstellt (siehe Anhang: Bohrungsbezeichnung).

Im Folgenden werden die Schritte des Zusammenbaus des Wägesystems erläutert. Eine Darstellung der Schritte findet sich im Anhang (siehe Anhang: Explosionsdarstellung).

Zunächst wird die Wägezelle im Gehäuse platziert und von unten mit zwei M3x10 Sechskantschrauben (ISO 4762:2004) fixiert.

Als nächstes wird auf eine M3x16 Sechskantschraube (DIN EN ISO 4017:2015) eine M3 Sechskantmutter (DIN EN ISO 4032:2013) aufgedreht. Die Schraube wird zusammen mit der Mutter von unten in das Gehäuse geschraubt, bis sie an die Wägezelle anstößt, dann wird die Schraube mit der Mutter gekontert (für das Drehmoment siehe 4.6.4). Die genaue Einstellung des Luftspalts zwischen Wägezelle und Anschlagschraube kann erst erfolgen, wenn die Wägezelle an eine Messelektronik angeschlossen ist. Dabei wird zunächst die Nennbelastung auf die Wägezelle aufgebracht. Dann wird die Anschlagschraube herausgeschraubt, bis an den Messleitungen der Wägezelle die zur Nennbelastung zugehörige Spannung abfällt. In diesem Fall ergibt sich bei einer Speisespannung von 4,096 V und einer Nennbelastung von 300 g eine Messspannung $U_{nenn} = 0,9 \frac{\text{mV}}{\text{V}} \cdot 4,096 \text{ V} \pm 20 \% = 3,7 \text{ mV} \pm 20 \%$. Dabei muss nicht übermäßig genau vorgegangen werden, denn die Wägezelle kann auch eine Last von 150 % der Nennlast ohne Schaden überstehen [vgl. Zemic, 2020]. Es wird empfohlen, einfach die Anschlagschraube vorsichtig so weit herauszudrehen, bis keine Spannungserhöhung mehr messbar ist. Nach der Einstellung der Anschlagschraube wird sie wieder mit der Mutter gekontert.

Die Platine für die Anschlussleitungen wird mit zwei M2,5x6 Innensechskantschrauben (ISO 4762:2004) in das Gehäuse geschraubt. Die Leitungen der Wägezelle werden mit der Platine verbunden. Es werden Leitungen von der Platine durch den Boden des Gehäuses nach außen geführt.

Danach werden die drei M6x30 Sechskantschrauben (DIN EN ISO 4017:2015) von oben in die Ausleger des Gehäuses geschraubt. Auf diese drei Schrauben werden von unten die drei Gelenkfüße aufgeschraubt.

Jetzt wird die Wägeplatte in das freie Ende der Wägezelle gesteckt. Sollten die zwei Zentrierstifte der Wägeplatte aufgrund der Ungenauigkeit des 3D-Drucks einen etwas zu großen Durchmesser haben, so müssen die Zentrierstifte zunächst mit einem feinen Schleifpapier im Durchmesser reduziert werden. Zum Einstecken der Wägeplatte sollte keine große Kraft nötig sein. Auf keinen Fall darf die Wägeplatte quer zur Achse der Zentrierstifte belastet werden, da die filigranen Stifte sonst beschädigt werden können.

Ist die Wägeplatte eingesteckt kann der Auffangbehälter aufgestellt werden und die Leitungen können an die Messelektronik angeschlossen werden.

4.6.6 Kalibrierung Wägesystem

Mit der Wägezelle muss eine Spannungsmessreihe mit Kalibriergewichten durchgeführt werden. Es bietet sich an, dass diese Messreihe am bereits zusammengebauten Wägesystem durchgeführt wird (mit Wägeplatte und Auffangbehälter), denn dann wäre das tatsächliche Gewicht der Wägeplatte und des Auffangbehälters und die damit verbundene Nullpunktabweichung in der Messreihe berücksichtigt. Der Messablauf stellt sich wie folgt dar: Das Wägesystem wird zusammengebaut und nivelliert. Es wird die Speisespannung von $4,096\text{ V}$ an die Wägezelle angeschlossen. Die Leitungsbelegung findet sich nicht im Datenblatt der Zemic FAB-47-300g, allerdings kann hierfür das Datenblatt der baugleichen europäischen Version, der Zemic Q47, herangezogen werden [vgl. Zemic, 2021: Q47]. Es wird die Messspannung an der Wägezelle ermittelt, z. B. mit einem Voltmeter oder einer anderen, im Labor verfügbaren Methode. Die Spannung wird in einer Tabelle festgehalten. Das Gewicht auf die Wägezelle wird um ein halbes Gramm erhöht, Gewicht und Mess-Spannung werden in der Tabelle festgehalten. Das wird für den gesamten Messbereich bis zu einem Kalibriergewicht von 150 g wiederholt. In MATLAB® kann dann mit Hilfe dieser Messreihe eine gemessene Spannung in eine Masse interpoliert werden.

5 Messablauf

Beim Messablauf wird, wie unter Kapitel 2 zwischen Espressomaschinen mit E61- und ohne E61-Brühgruppen unterschieden. Außerdem werden pro Espressomaschine zwei Messung stattfinden. In diesem Kapitel wird die Durchführung der zwei definierten Messprozesse dargestellt.

5.1 Espressomaschinen mit E61-Brühgruppe:

Tabelle 8: Definierte Messungen für Espressomaschinen mit E61-Brühgruppe

| Messung Nr. | Fördermenge am Wasserzulauf | Temperatur vor der Brühgruppe | Temperatur der Brühgruppe | Temperatur vor dem Kaffeepuck | Druck vor dem Kaffeepuck | Temperatur am Siebträgerauslauf | Fördermenge am Siebträgerauslauf |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | X | X | X | X | O | O | X |
| 2 | X | X | X | O | X | X | O |

Vorbereitung:

Bevor die Messung durchgeführt werden kann, müssen die Sensoren an die Elektronik des Mess-Systems angeschlossen werden. Das Raspberry Pi muss mit der MATLAB® Benutzeroberfläche und mit der Stromversorgung verbunden werden.

Schritt 1: Einbau der Sensoren

Zunächst muss die Espressomaschine vom Wasserzulauf und vom Stromnetz getrennt werden, anschließend wird die kalte Espressomaschine geöffnet. Dann wird der im Kapitel 3.1 beschriebene Durchfluss-Sensor Nano oder Nano Brass entsprechend des Adaptionplans [vgl. Abbildung 20 bzw. 21] in den Kreislauf eingebaut. Für die Temperaturmessung vor der Brühgruppe wird der Temperaturmessadapter inklusiv Sensor in den T-Stück Adapter eingeschraubt und mit den AVS-Römer Einschraubverschraubungen versehen [vgl. 4.2]. Dann kann das Konstrukt bzw. alternativ auch der AVS-Römer Sensor gemäß des Adaptionplans [vgl. Abbildung 26] in den Kreislauf integriert werden. Die Anbindung des Temperatursensors, der die Brühgruppentemperatur misst, findet an einer geeigneten Position der Brühgruppe statt. Die Oberfläche sollte möglichst eben sein, um die Messspitze mit Aluminiumklebeband gut befestigen zu können. Der Temperatursensor vor dem Kaffeepuck wird mit Hilfe des Messadapters (siehe 4.5.2) in die vorhandene Bohrung mit Hilfe eines 10er Schraubenschlüssel an der E61 Brühgruppe eingeschraubt. Dabei ist auf ein Anziehmoment von 11,3 Nm zu achten [vgl. Würth, 2005: S. 11]. Es wird dabei eine M6x12 Unterlegscheibe (DIN EN ISO 7090:2000) verwendet. Alternativ kann anstatt dem Temperaturmessadapter auch der Druckmessadapter verwendet werden. Außerdem wird das Wägesystem unter den Siebträgerauslauf gestellt.

Schritt 2: Anschluss der Elektronik

Die Leitungen der Sensoren werden verlegt und an die Messelektronik angeschlossen.

Schritt 3: Vorbereitung der Maschine

Sollte es sich bei der Espressomaschine um eine Wassertankmaschine handeln, so muss der Tank mit Wasser befüllt werden. Die Kaffeemaschine wird angeschaltet und abgewartet bis die Maschine auf Betriebstemperatur ist. Anschließend wird vor der ersten Messung kurz der Brühgruppenbedienhebel mit eingespanntem Siebträger nach oben gestellt und heißes Wasser durchlaufen gelassen, dadurch wird der Siebträger vorgewärmt. Hierbei wird das Wägesystem derart ausgerichtet, dass der Flüssigkeits-Strahl im Mittelpunkt der Zielscheibe im Auffangbehälter auftrifft beziehungsweise die Flüssigkeits-Strahlen symmetrisch zum Mittelpunkt der Zielscheibe im Auffangbehälter auftreffen. Wenn das Geschehen ist, muss der Auffangbehälter geleert, getrocknet und auf das wieder auf dem ausgerichteten Wägesystem platziert werden. Danach wird der Kaffeepuck des Siebträgers mit Auslauf mit einer definierten Kaffeemenge und Tamperdruck gefüllt. Der Siebträger mit Auslauf wird anschließend in die Espressomaschine eingespannt.

Schritt 4: Vorbereitung Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche in MATLAB® wird gestartet. Diese verbindet sich automatisch mit dem angeschlossenen Raspberry Pi. Anschließend müssen die alten Messdaten über den „Reset“-Knopf zurückgesetzt werden. Es werden die gewünschten Sensoren für die Messung 1 in der Benutzeroberfläche ausgewählt und über den „Start“-Knopf bestätigt.

Schritt 5: Start der ersten Messung

Zum Start der Messung wird der Brühgruppenbedienhebel nach oben gestellt. Da bei Maschinen mit E61-Brühgruppen die gewünschte Espressomenge manuell gesteuert wird, muss diese für die Messung definiert werden. Für die Messung an Espressomaschinen mit E61-Brühgruppe wird die Kaffeebezugsdauer auf 30 Sekunden festgelegt. In der Benutzeroberfläche wird, sobald der Hebel betätigt wird eine Stoppuhr gestartet. Sobald eine Kaffeebezugsdauer von 30 Sekunden angezeigt wird, muss der Brühgruppenbedienhebel zurückgestellt werden. Fünf Sekunden, nachdem der Hebel zurückgesetzt wurde endet die erste Messung. Die Messwerte werden automatisch nach der ersten Messung grafisch in den Plots in der MATLAB® Benutzeroberfläche dargestellt.

Schritt 6: Entfernen des Siebträgers

Der Siebträger wird aus der Espressomaschine entfernt, gereinigt und erneut befüllt und getampert.

Schritt 7: Vorbereitung der zweiten Messung

Für die zweite Messung wird der Temperaturmessadapter vor dem Kaffeepuck ausgeschraubt und durch den Druckmessadapter ersetzt. Dieser wird mit einem 22er Sechskantschlüssel eingeschraubt. Dabei ist auf ein Anziehmoment von 11,3 Nm [vgl. Würth, 2005: S. 11]. zu achten. Außerdem wird der Temperatursensor nach dem Siebträgerauslauf am Siebträger angebracht. Die Messspitze soll direkt in den Auslauf des Siebträgers gehalten werden. Für eine dauerhafte Positionierung wird eine Löthilfe empfohlen. Das Wägesystem wird entfernt. Zum Starten der Messung 2 werden die benötigten Sensoren in der MATLAB® Benutzeroberfläche ausgewählt und mit dem „Start-Knopf“ bestätigt.

Schritt 8: Start der zweiten Messung

Dieser Schritt läuft ab, wie bei Schritt 5.

Schritt 9: Sichten der Daten

In der MATLAB® Benutzeroberfläche werden nun die aufgenommenen Daten aus beiden Messungen graphisch dargestellt. Die doppelt gemessenen Parameter werden als Durchschnittswerte dargestellt. Außerdem können die Messergebnisse gespeichert werden.

Schritt 10: Abbau Mess-System

Der Siebträger wird entfernt und gereinigt. Die Espressomaschine wird ausgeschaltet und nachdem sie abgekühlt ist, werden die Messadapter ausgebaut. Diese werden anschließend mit dem Auffangbehälter des Wägesystems gereinigt.

5.2 Espressomaschinen ohne E61-Brühgruppe:

Tabelle 9: Definierte Messungen für Espressomaschinen ohne E61-Brühgruppe

| Messung Nr. | Fördermenge am Wasserzulauf | Temperatur vor der Brühgruppe | Temperatur der Brühgruppe | Temperatur vor dem Kaffeepuck | Druck vor dem Kaffeepuck | Temperatur am Siebträgerauslauf | Fördermenge am Siebträgerauslauf |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | X | X | X | O | O | O | X |
| 2 | X | X | X | X | X | X | O |

Vorbereitung:

Der Kunststoffeinsatz muss, bezüglich des bodenlosen Siebträgers der zu messenden Espressomaschine angepasst und gefertigt werden. Anschließend müssen Gewindeeinsätze in die dafür vorgesehenen Bohrungen des Kunststoffeinsatzes eingeschraubt werden. Das Sieb des bodenlosen Siebträgers der Espressomaschine muss für den Kunststoffeinsatz auf 49 mm Durchmesser ausgeschnitten werden. Der Kunststoffeinsatz muss mit dem entsprechenden Dichtring eingesetzt werden. Die zweite Brühgruppe wird anschließend mit Hilfe der drei Innensechskantschrauben (Anziehmoment 11,3 Nm) [vgl. Würth, 2005: S. 11], der Unterlagscheiben und drei Zylinderstiften an den Kunststoffeinsatz angeschraubt. Zwischen Kunststoffeinsatz und zweiter Brühgruppe wird ebenfalls ein Dichtring in die entsprechende Nut eingesetzt.

Bevor die Messung durchgeführt werden kann müssen die Sensoren an die Elektronik angeschlossen werden. Das Raspberry Pi muss mit der MATLAB® Benutzeroberfläche und mit der Stromversorgung verbunden werden.

Schritt 1: Einbau der Sensoren

Zunächst muss die Espressomaschine vom Wasserzulauf und vom Stromnetz getrennt werden, anschließend wird die kalte Espressomaschine geöffnet. Dann wird der im Kapitel 3.1 beschriebene Durchfluss-Sensor Nano oder Nano Brass entsprechend des Adaptionplans [vgl. Abbildung 20 bzw. 21] in den Kreislauf eingebaut. Für die Temperaturmessung vor der Brühgruppe wird der Temperaturmessadapter inklusiv Sensor in den T-Stück Adapter eingeschraubt und mit den AVS-Römer Einschraubverschraubungen versehen [vgl. 4.2]. Dann kann das Konstrukt bzw. alternativ auch der AVS-Römer Sensor gemäß des Adaptionplans [vgl. Abb. 26] in den Kreislauf integriert werden. Die Anbindung des Temperatursensors, der die Brühgruppentemperatur misst, findet an einer geeigneten Position der Brühgruppe statt. Die Oberfläche sollte möglichst eben sein, um die Messspitze mit Aluminiumklebeband gut befestigen zu können. Außerdem wird das Wägesystem unter den Siebträgerauslauf gestellt.

Schritt 2: Anschluss der Elektronik

Die Leitungen der Sensoren werden verlegt und an die Messelektronik angeschlossen.

Schritt 3: Vorbereitung der Maschine

Sollte es sich bei der Espressomaschine um eine Wassertankmaschine handeln, so muss der Tank mit Wasser befüllt werden. Die Kaffeemaschine wird nach der Bedienungsanleitung des Herstellers in Betrieb genommen und es muss gewartet werden, bis die Maschine Betriebstemperatur erreicht hat. Bei leerem, eingespanntem Siebträger wird Wasser über die Brühgruppe entnommen und das Wägesystem derart ausgerichtet, dass der Flüssigkeits-Strahl im Mittelpunkt der Zielscheibe im Auffangbehälter auftrifft beziehungsweise die Flüssigkeits-Strahlen symmetrisch zum Mittelpunkt der Zielscheibe im Auffangbehälter auftreffen. Wenn das Geschehen ist, muss der Auffangbehälter geleert, getrocknet und auf das wieder auf dem ausgerichteten Wägesystem platziert werden. Danach wird der Kaffeepuck des Siebträgers mit Auslauf mit einer definierten Kaffeemenge und Tamperdruck gefüllt. Der Siebträger mit Auslauf wird anschließend in die Espressomaschine eingespannt.

Schritt 4: Vorbereitung Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche in MATLAB® wird gestartet. Diese verbindet sich automatisch mit dem angeschlossenen Raspberry Pi. Anschließend müssen die alten Messdaten über den „Reset“-Knopf zurückgesetzt werden. Es werden die gewünschten Sensoren für die Messung 1 in der Benutzeroberfläche ausgewählt und über den „Start“-Knopf bestätigt.

Schritt 5: Start der ersten Messung

Zum Start der ersten Messung wird der Kaffeebezug gestartet. Wenn die Bezugsdauer der Espressomaschine manuell gesteuert wird, dann wird der Bezug nach 30 Sekunden beendet. Fünf Sekunden, nachdem der Bezug beendet wurde, endet die erste Messung. Bei automatischer Steuerung des Kaffeebezugs wird gewartet, bis die Messung beendet wird. Die Messwerte der ersten Messung werden automatisch grafisch in den Plots in der MATLAB® Benutzeroberfläche dargestellt.

Schritt 6: Entfernen des Siebträgers

Der Siebträger wird aus der Espressomaschine entfernt und gereinigt.

Schritt 7: Vorbereitung der zweiten Messung

Der Temperatursensor vor dem Kaffeepuck und der Drucksensor vor dem Kaffeepuck werden mit Hilfe der Messadapter [vgl. 4.5.1 und 4.5.2] in die vorhandenen Bohrungen der zweiten Brühgruppe, mit Hilfe von 10er und 22er Schraubenschlüssel, eingeschraubt. Dabei ist auf ein Anziehmoment von 11,3 Nm [vgl. Würth, 2005: S. 11] zu achten. Es wird dabei jeweils eine PTFE-Flachdichtung (siehe Anhang: Bestellliste) verwendet. Für die zweite Messung wird der bodenlose Siebträger mit angeschraubtem Kunststoffeinsatz und Brühgruppe in die Espressomaschine eingespannt. Danach wird der Norm-Siebträger mit einer definierten Kaffeemenge und Tamperdruck gefüllt. Der Siebträger wird anschließend in die zweite Brühgruppe eingespannt. Das Wägesystem wird entfernt. Außerdem wird der Temperatursensor nach dem Siebträgerauslauf am Siebträger angebracht. Die Messspitze soll direkt in den Auslauf des Siebträgers gehalten werden. Für eine dauerhafte Positionierung wird eine Löthilfe empfohlen. Zum Starten der Messung 2 werden die benötigten Sensoren in der MATLAB® Benutzeroberfläche ausgewählt und mit dem „Start-Knopf“ bestätigt.

Schritt 8: Start der zweiten Messung

Dieser Schritt läuft ab, wie bei Schritt 5.

Schritt 9: Sichten der Daten

In der MATLAB® Benutzeroberfläche werden nun die aufgenommenen Daten aus beiden Messungen graphisch dargestellt. Die doppelt gemessenen Parameter werden als Durchschnittswerte dargestellt. Außerdem können die Messergebnisse gespeichert werden.

Schritt 10: Abbau Mess-System

Die Espressomaschine wird ausgeschaltet und nachdem sie abgekühlt ist, werden die Messadapter ausgebaut. Anschließend werden alle Bauteile gereinigt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die aktuelle Situation (Corona) ein komplettes Umsetzen der vorgegebenen Ziele der Projektarbeit nicht erreicht werden konnte, der Grundbaustein für die Fertigung des Mess-Systems aber gelegt wurde. So ist die benötigte Sensorik bestimmt. Dabei wurde für die Ermittlung der Fördermenge am Wasserzulauf mit einem Digmesa Nano Brass Durchflusssensor, die Ermittlung der Temperaturen mit einem Micro-Beta Chip Thermistor und die Druckermittlung vor dem Kaffeepuck mit einem Relativdrucksensor der Firma B+B Sensors realisiert. Außerdem wird für die Ermittlung der Fördermenge am Siebträgerauslauf eine Zemic FAB-47-300g Messzelle verwendet. Bei der Anbindung dieser Sensoren an die zu messende Espressomaschine wurden mehrere Messadapter konstruiert. So wurde für die Ermittlung des Drucks vor der Brühgruppe ein T-Stück Adapter, für die Temperatur vor dem Kaffeepuck ein Temperaturmessadapter und für die Ermittlung des Drucks vor dem Kaffeepuck ein Druckmessadapter entwickelt. Für Espressomaschinen ohne E61-Brühgruppe wurde außerdem ein Mess-System entwickelt, welche aus einem Kunststoffeinsatz und einer zweiten Brühgruppe besteht. Diese wird mithilfe des bodenlosen Siebträgers an die Brühgruppe der zu messenden Espressomaschine angeschlossen. Des Weiteren wurde für die Ermittlung der Fördermenge am Siebträgerauslauf ein Wägesystem konstruiert, bei welchem die Gewichtskraft des aufgefangenen Espressos gemessen wird. Mit dieser kann über den zeitlichen Verlauf die Fördermenge bestimmt werden.

Als nächster Schritt kann nach kompletter Fertigung und Bestellung aller benötigten Komponenten des Mess-Systems (siehe Anhang: Fertigungsliste und Bestellsliste) der erste Prototyp gebaut werden. Folgende Schritte sind zusätzlich für den Bau des Mess-Systems noch durchzuführen:

- Nachbearbeitung der entsprechenden Bauteile zur Einhaltung der Toleranzen und Oberflächengüte
- Temperaturmessadapter mit benötigter Toleranz nachbearbeiten (siehe Anhang: Technische Zeichnung Temperaturmessadapter)
- Fertigung des Norm-Siebträgers mit Kaffeepuck von der Projektgruppe: Konstruktion Brühgruppen und zugehöriger Siebträger sowie die Definierung der Kaffeemehlmenge und des Tamperdrucks
- Ermittlung der Nullpunktabweichung und Verstärkungsfaktoren der Drucksensoren (siehe Anhang: Konzept Testmessung Drucksensoren)
- Kalibrierung des Wägesystems (siehe Kapitel 4.6.6)
- Definieren und Fertigen der Elektronikplatine für die Spannungsteilung, -verstärkung sowie die Verkabelung des Mess-Systems
- Die noch ausstehenden Arbeitsschritte der Messdatenerfassung sind dem Dokument Messdatenerfassung zu entnehmen. [Messdatenerfassung, 2021: Kapitel 8]

Für den eigentlichen Zusammenbau des Mess-Systems müssen für die jeweiligen Temperaturmessadapter die passenden Messingrohrängen zugeschnitten und in den Adapter eingeklebt werden. Beim Druckmessadapter wird der Relativdrucksensor in die vorhandene Aussparung eingeklebt. Im Kunststoffeinsatz für Espressomaschinen ohne E61-Brühgruppe müssen die Gewindeeinsätze zur Befestigung der zweiten Brühgruppe sowie die Gewindeeinsätze an den Bohrungen für die Messadapter an der zweiten Brühgruppe eingeschnitten werden. Der Zusammenbau des Wägesystems ist in Kapitel 4.6.5 beschrieben.

Sobald der Prototyp gebaut wird, kann anschließend eine Druckdichtigkeitsprüfung und die erste Messung an der labortechnischen Espressomaschine durchgeführt werden.

7 Literaturverzeichnis

- 3Faktur GmbH
3Faktur GmbH, HP-Multi Jet Fusion, Online,
<https://3faktor.com/3d-druck-materialien-und-verfahren/hp-multi-jet-fusion-das-verfahren/>, letzter Zugriff: 22.02.2021.
- AVS Römer, 2018
AVS Römer GmbH & Co. KG, 2018: Produktkatalog, 2018/03, Online,
<https://www.avs-roemer.de/de/unternehmen/qualitaet/kataloge/katalog-2019-01-de.pdf>, letzter Zugriff: 05.01.2021.
- B+B Sensors, 2015
B+B Sensors, keramischer Drucksensor Datenblatt, Online,
https://shop.bb-sensors.com/out/media/Datenblatt_Keramischer_Drucksensor_relativ_0391_0001_neu.pdf, Letzter Zugriff: 05.01.2021.
- Bennett Shop
Bennet Shop, BFC -Levetta, Online,
<https://www.bennett-shop.de/produkt/bfc-levetta/>, Letzter Zugriff: 21.02.2021.
- Bezzera, 2005: B2000
Bezzera, 2005: Bezzera B2000, 08/05, Online,
<https://b2bnet.lfspareparts724.com/Esplosi/Dettaglio/gONDOg3NZlazKBsIGETmjQ!3d!3d/4k!2bxPgJ13qNo5df!Gajzw!3d!3d/T rue>, letzter Zugriff: 05.01.2021.
- Bezzera, 2004: BZ99
Bezzera, 2004: Bezzera BZ99, 03/04, Online,
<https://b2bnet.lfspareparts724.com/Esplosi/Dettaglio/LBAdaDBtj!2bZQ2CY!2b9kYoMg!3d!3d/aqcT7w!2fHTxxsR7QyGEPydw!3d!3d/True>, letzter Zugriff: 05.01.2021.
- Carimali: E9
Carimali (o.J.): Carimali E9, Online,
<https://b2bnet.lfspareparts724.com/Esplosi/Risultato?Prodottoe=001208&Tipo=0000062%3A&Macchina=e9&Rielabora=True> letzter Zugriff: 05.01.2021.
- Digmesa AG: Nano
Digmesa AG, (o.J.): Flow Sensor Nano, Online,
https://www.digmesa.com/wp-content/uploads/93N-6211_1100x_D_V03.pdf, letzter Zugriff: 05.01.2021.
- Digmesa AG: Nano Brass
Digmesa AG, (o.J.): Flow Sensor Nano Brass, Online,
https://www.digmesa.com/wp-content/uploads/9NB-01xx_01_x_D_V05.pdf, letzter Zugriff: 05.01.2021.
- DIN 6325:1971
DIN 6325:1971, Zylinderstifte, gehärtet, Toleranzfeld m6, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 4017:2015
DIN EN ISO 4017:2015, Mechanische Verbindungselemente - Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 4032:2013
DIN EN ISO 4032:2013, Sechskantmuttern (Typ 1), Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 7090:2000
DIN EN ISO 7090:2000, Flache Scheiben mit Fase - Normale Reihe, Beuth Verlag, Berlin.
- ECM GmbH: Elektronika
ECM GmbH (o.J.): ECM Elektronika, Online,
<https://b2bnet.lfspareparts724.com/Esplosi/Tavola/g732CTyQI4I9xfpVUNIBvw!3d!3d/True>, letzter Zugriff: 05.01.2021.

| | |
|--|---|
| ECM GmbH: Synchronika | ECM GmbH (o.J.): ECM Synchronika, Online, https://b2bnet.lfspareparts724.com/Esplosi/Deitaglio/D4th6f12b!2fyiKrCJnFaDtVPA!3d!3d/kHox2QfaKBI4v!2buhhbsjVA!3d!3d/True , letzter Zugriff: 05.01.2021. |
| Ensinger GmbH, 2018 | Ensinger GmbH, TECAMID 12 natural, Online, https://www.ensinger-online.com/modules/public/sheet/createsheet.php?SID=661&FL=1&FILENAME=TECAMID_12_natural_1.PDF&ZOOM=1.2 , letzter Zugriff: 25.02.2021. |
| Gommola, 2002: Kap. 8 | Gommola, Gert: Kapitel 8, Konstruktive Ausführung von Plattformwaagen, Anwendung und Einbau von Wägezellen, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt (2002). |
| Hackenesch, 2020 | Hackenesch, Peter, Vorlesungsskript Fluidmechanik |
| Internetchemie.info | Internetchemie.info, 2019, Dampfdrucktabelle Wasser, Online, https://www.internetchemie.info/chemie-lexikon/daten/w/wasser-dampfdruck.php , Letzter Zugriff: 07.01.2021. |
| Imprezza | Imprezza, Online, http://www.rimprezza.de/Die-E61-Bruehgruppe , Letzter Zugriff: 25.02.21. |
| ISO 4762:2004 | ISO 4762:2004, Zylinderschrauben mit Innensechskant, Beuth Verlag, Berlin. |
| KVT Solutioneering, 2019 | KVT Solutioneering, Tapex Gewindeeinsätze, Online, https://www.kvt-fastening.de/-/media/kvt/download-center/catalogs/kataloge_de_at/kvt_tappex_02-2019.pdf , letzter Zugriff: 23.02.2021. |
| Labortechnische Espressomaschine, 2016 | Rawad Alshikh, Frank Hadwiger, Timo Sieber, Projektarbeit Inbetriebnahme der Labortechnischen Espressomaschine. |
| Loctite, 2014 | LOCTITE® EA 9480™. Datenblatt, Online, https://www.woronko-kleje.pl/sg_obrazki_/00033237_zalac_003.pdf , Letzter Zugriff: 22.02.2021. |
| Media-Markt | Media-Markt Online-Shop, DeLonghi EC-9335, Online, https://www.mediamarkt.de/de/product/_delonghi-ec-9335-m-la-specialista-2546761.html , Letzter Zugriff: 21.02.2021. |
| Mess-System Berechnungen, 2021 | Czernin, Sebastian, Jonas Pytlik, 2021, 20210225_Mess-System_Berechnungen, München . |
| Messdatenerfassung, 2021 | Wang, Haobo, 20210225_Haobo_Wang_Messdatenerfassung, München. |
| Parker GmbH, 2019 | Parker GmbH, O-Ring Handbuch, Online, https://www.parker.com/literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_O-Ring-Handbook_PTD5705-DE.pdf , letzter Zugriff: 23.02.2021. |
| Rohnen, Testmessung | Dipl.-Ing. Armin Rohnen LbA, Testmessung auftretende Kräfte an der Brühgruppe durch den Siebträger. |
| Sculpteo | Sculpteo, MultiJet Fusion PA12, Online, https://www.sculpteo.com/de/materialien/multijetfusion-technologie/multi-jet-fusion-schwarzer-kunststoff/ , letzter Zugriff: 05.02.2021. |
| TE Connectivity Sensors, 2015 | TE Connectivity Sensors, 2015: Datenblatt, 09/2015, Online, http://www.farnell.com/datasheets/2305667.pdf , letzter Zugriff: 05.01.2021. |

| | |
|------------------|--|
| Thiessen, 2020 | Thiessen,Rainer: Vorlesungsskript Messtechnik. |
| Trindo, 2021 | Trindo Digitalmanufaktur GmbH, PA12 Datenblatt, Online, http://trin.do/wp-content/uploads/2017/08/Datenblatt-HP.pdf , letzter Zugriff: 05.02.2021. |
| Tsantidis, 2008 | Tsantidis, Dimitrios: Faszination Espressomaschine, Online, http://www.ciando.com/img/books/extract/377233573X_lp.pdf , letzter Zugriff: 30.12.2020. |
| Würth, 2005 | Würth, Technische Informationen zu Verbindungselementen Datenblatt, Online, https://www.wuerth.de/web/media/downloads/pdf/meinwuerth_1/ihrebranche_1/nfz/dino/dino.pdf , Letzter Zugriff 30.12.2020. |
| Zemic, 2020 | Zemic, FAB-47-Xg, Online, http://en.zemic.com.cn/u/cms/en/201806/0710435040i8.pdf , letzter Zugriff: 31.12.2020. |
| Zemic, 2021: Q47 | Zemic, Q47 Datasheet, Online, https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/Q47_Datasheet.pdf , letzter Zugriff: 21.02.2021. |

8 Abbildungsverzeichnis

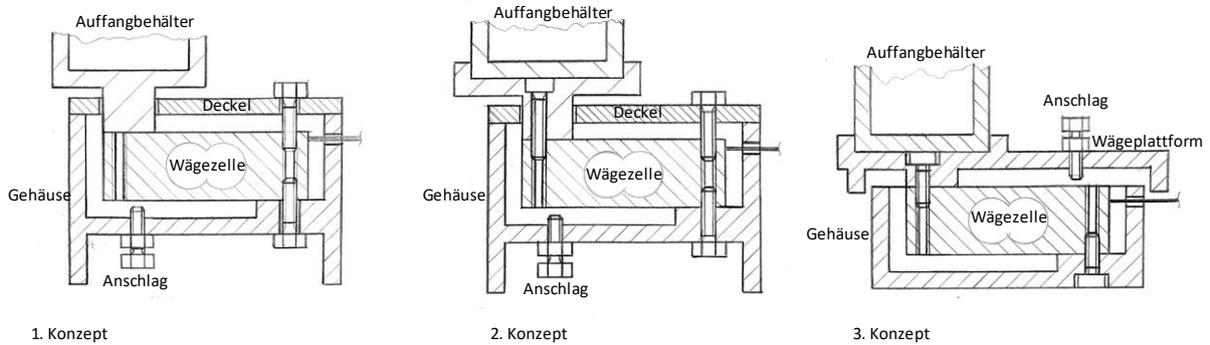
| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Espressomaschine | 7 |
| Abbildung 2: Espressomaschine mit E61 | 7 |
| Abbildung 3: Flow-Diagramm Messprozess | 8 |
| Abbildung 4: Digmesa Nano Abmessungen [vgl. Digmesa AG: Nano] | 10 |
| Abbildung 5: Digmesa Nano Brass Abmessungen [vgl. Digmesa AG: Nano Brass] | 11 |
| Abbildung 6: AVS Römer ITS PPSU Details und Abmessungen [vgl. AVS Römer, 2018] | 13 |
| Abbildung 7: Micro BetaChip Thermistor Probe [vgl. TE Connectivity Sensors, 2015] | 14 |
| Abbildung 8: Spannungsverlauf NTC Sensoren | 15 |
| Abbildung 9: Drucksensor [vgl. B+B-Sensors, 2015] | 16 |
| Abbildung 10: Schaltbild Drucksensor [vgl. B+B-Sensors, 2015] | 16 |
| Abbildung 11: Schematische Darstellung des Kreislaufs | 20 |
| Abbildung 12: Durchflussmessung im Saugkreis | 21 |
| Abbildung 13: Bezzera B2000 Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2005: B2000: S.15] | 21 |
| Abbildung 14: Bezzera BZ99S Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2004: BZ99: S.17] | 22 |
| Abbildung 15: Bezzera BZ99R Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2004: BZ99: S.21] | 22 |
| Abbildung 16: Bezzera BZ99S/R Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2004: BZ99: S.19] | 22 |
| Abbildung 17: Carimali E9 Explosionszeichnung 2 [vgl. Carimali: E9] | 23 |
| Abbildung 18: ECM Elektronika Explosionszeichnung [vgl. ECM GmbH: Elektronika] | 23 |
| Abbildung 19: Synchronika Explosionszeichnung [vgl. ECM GmbH: Synchronika: S.3] | 24 |
| Abbildung 20: Adaptionsplan für den Saugkreis mit Digmesa Nano | 25 |
| Abbildung 21: Adaptionsplan für den Druckkreis mit Digmesa Nano Brass | 25 |
| Abbildung 22: Bezzera B2000 Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2005: B2000: S.45] | 26 |
| Abbildung 23: Bezzera BZ99S/R Explosionszeichnung [vgl. Bezzera, 2004: BZ99: S.11] | 26 |
| Abbildung 24: Carimali E9 Explosionszeichnung 1 [vgl. Carimali: E9] | 27 |
| Abbildung 25: Explosionszeichnung E61 Brühgruppe [ECM GmbH: Synchronika: S.12] | 27 |
| Abbildung 26: Adaptionsplan Temperatursensor vor der Brühgruppe | 27 |
| Abbildung 27: T-Stück Adapter mit Messadapter Schnittansicht | 28 |
| Abbildung 28: AVS-Römer Einschraubverschraubung | 28 |
| Abbildung 29: Sensor- und Kabelschutz (nicht maßstabsgerecht) | 29 |
| Abbildung 30: Temperatursensor am Siebträgerauslauf | 30 |
| Abbildung 31: Aufbau E61-Brühgruppe [vgl. Imprezza] | 30 |
| Abbildung 32: Druckmessadapter für E61 | 31 |
| Abbildung 33: Klebeverbindung Druckmessadapter | 31 |
| Abbildung 34: Temperaturmessadapter | 33 |
| Abbildung 35: Temperatur- und Druckermittlung ohne E61-Brühgruppe | 34 |
| Abbildung 36: Kunststoffeinsatz Ansicht 1 | 34 |
| Abbildung 37: Zweite Brühgruppe Schnitt | 35 |
| Abbildung 38: Zweite Brühgruppe | 35 |
| Abbildung 39: Flächenpressung | 37 |
| Abbildung 40: Schnittbild Wägesystem | 38 |
| Abbildung 41: Gehäuse | 39 |
| Abbildung 42: Schnitt durch Gehäuse und Wägezelle | 40 |
| Abbildung 43: Platine, Wand und Kanal im Gehäuse | 40 |
| Abbildung 44: Isometrische Ansicht von oben und unten auf die Wägeplatte | 41 |
| Abbildung 45: Vorderansicht und Ansicht von oben auf den Auffangbehälter | 41 |
| Abbildung 46: Ansichten der Gesamtbaugruppe | 42 |
| Abbildung 47: Schnitt durch Wägeplatte mit markierten Teilvolumina | 42 |

9 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Definierte Messungen im Mess-System | 9 |
| Tabelle 2: Technische Daten Digmesa Nano [vgl. Digmesa AG: Nano] | 10 |
| Tabelle 3: Technische Daten Digmesa Nano Brass [vgl. Digmesa AG: Nano Brass] | 11 |
| Tabelle 4: Technische Daten AVS Römer ITS PPSU [vgl. AVS Römer, 2018]..... | 13 |
| Tabelle 5: Technische Daten Micro BetaChip [vgl. TE Connectivity Sensors, 2015] | 14 |
| Tabelle 6: Technische Daten Drucksensor [vgl. B+B-Sensors, 2015]..... | 16 |
| Tabelle 7: Auszug Technische Daten der Wägezelle [vgl. Zemic, 2020: Datenblatt]..... | 18 |
| Tabelle 8: Definierte Messungen für Espressomaschinen mit E61-Brühgruppe | 45 |
| Tabelle 9: Definierte Messungen für Espressomaschinen ohne E61-Brühgruppe..... | 47 |

Anhang

Konzeptwahl Wägezelle



Konzepte des Wägesystems

Oben die Skizzen der drei ausgearbeiteten Konzepte. Gewählt wurde das 3. Konzept, da es die größte Punktzahl in der Konzeptbewertung unten erreicht hat.

Tabelle: Konzeptbewertung des Wägesystems

| Nr. | Kriterium | Gewicht | 1. Konzept | | 2. Konzept | | 3. Konzept | |
|-----|--|---------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | Bewertung | gew. Bew. | Bewertung | gew. Bew. | Bewertung | gew. Bew. |
| 1 | loser Auffangbehälter | 0,1 | 10 | 1 | 10 | 1 | 10 | 1 |
| 2 | Überlastschutz der Wägezelle | 0,1 | 10 | 1 | 10 | 1 | 10 | 1 |
| 3 | leichte Einstellbarkeit des Überlastschutzes | 0,05 | 5 | 0,25 | 5 | 0,25 | 10 | 0,5 |
| 4 | einfache Montage | 0,05 | 10 | 0,5 | 8 | 0,4 | 10 | 0,5 |
| 5 | stabiler Stand des Auffangbehälters | 0,2 | 5 | 1 | 10 | 2 | 10 | 2 |
| 6 | möglichst steifes Gehäuse | 0,2 | 10 | 2 | 10 | 2 | 8 | 1,6 |
| 7 | geringe Anzahl an Komponenten | 0,1 | 10 | 1 | 7 | 0,7 | 10 | 1 |
| 8 | guter Spritzwasserschutz | 0,1 | 5 | 0,5 | 5 | 0,5 | 10 | 1 |
| 9 | geringer zeitlicher Aufwand in der Produktion | 0,05 | 10 | 0,5 | 7 | 0,35 | 10 | 0,5 |
| 10 | leicht zu reinigender Espresso-Auffangbehälter | 0,05 | 10 | 0,5 | 10 | 0,5 | 10 | 0,5 |
| | Summe: | 1 | 85 | 8,25 | 82 | 8,7 | 98 | 9,6 |

maximal erreichbare Punktzahl: 10 (Anforderung voll erfüllt)

minimal erreichbare Punktzahl: 0 (Anforderung nicht erfüllt)

Detaillierte Erläuterung zur Bewertung des 3. Konzepts

Tabelle: Erläuterung zur Konzeptbewertung

| Kriteriumsnummer | Erläuterung zum Konzept Nr. 3 |
|------------------|---|
| 1 | Dieses Konzept beinhaltet einen losen Auffangbehälter. |
| 2 | Ein Überlastschutz ist in Form einer Schraube mit Kontermutter in der Wägeplattform vorhanden. |
| 3 | Der Überlastschutz befindet sich an der Oberseite des Wägesystems und ist deshalb leicht erreichbar. |
| 4 | Die Montage ist sehr einfach: Die Wägezelle wird im Gehäuse platziert und am Boden festgeschraubt. Die Wägeplattform wird mit einer Schraube an der Wägezelle montiert. Die Anschlag-Schraube wird zusammen mit der Kontermutter in die Wägeplattform geschraubt. Der Auffangbehälter wird auf der Wägeplattform platziert. |
| 5 | Der Auffangbehälter hat eine große Standfläche und wird mithilfe eines Wulstes auf der Wägeplattform in Position gehalten. |
| 6 | Anders als bei den anderen beiden Konzepten ist die Anschlagsschraube hier in der Wägeplattform. Diese kann sich nur links auf der Wägezelle abstützen. Die Anschlagsschraube gibt also leichter nach, als bei den anderen Konzepten, bei denen sich die Schrauben im Boden des Gehäuses befinden, welcher sich über die Standfüße ringsum abstützen kann. Um die gleiche Steifigkeit zu erreichen muss die Wägeplattform hier, bei gleichem Material, z. B etwas dicker ausgeführt werden. |
| 7 | Wenige Komponenten: Abgesehen von der Wägezelle (und dem Verstärker) wird nur ein Gehäuse, eine Wägeplattform, ein Auffangbehälter, eine Mutter und einige Schrauben benötigt. Beim 2. Konzept werden noch ein Deckel und eine/zwei zusätzliche Schraube/-n benötigt. |
| 8 | An der Oberseite des Messsystems befindet sich keine Öffnung, wenn man den Auffangbehälter entfernt. |
| 9 | Die Teile können aus dem Vollen gefräßt werden. Es werden keine Standfüße benötigt, wie beim 1. und 2. Konzept. Es wird ein Teil weniger benötigt als beim 2. Konzept. Es wird kein Standfuß im Auffangbehälter benötigt, wie beim 1. Konzept. Es muss nur ein Gewinde geschnitten werden. Zusätzlich zum Gewinde werden nur zwei Bohrungen und eine Durchführung für die elektrischen Leitungen benötigt. |
| 10 | Der Auffangbehälter hat eine große Öffnung an der Oberseite, durch die man ihn leicht reinigen kann. |

Konzept Testmessung Drucksensoren

Da der keramische Drucksensor von B+B-Sensors eine hohe Streuung besitzt, wird für das Ermitteln des (annähernd) tatsächlichen Übertragungswert des Sensors eine Testmessung vor der eigentlichen Kalibrierung benötigt. Der tatsächliche Übertragungswert wird für das Bestimmen des Verstärkungsfaktors benötigt, welcher nach der Kalibrierung nichtmehr angepasst werden kann. Außerdem liefert die Testmessung eine Aussage, ob dem Drucksensor eine Versorgungsspannung von 4096mV reicht, trotz im Datenblatt vorausgesetzter Mindestspeisespannung von 5V.

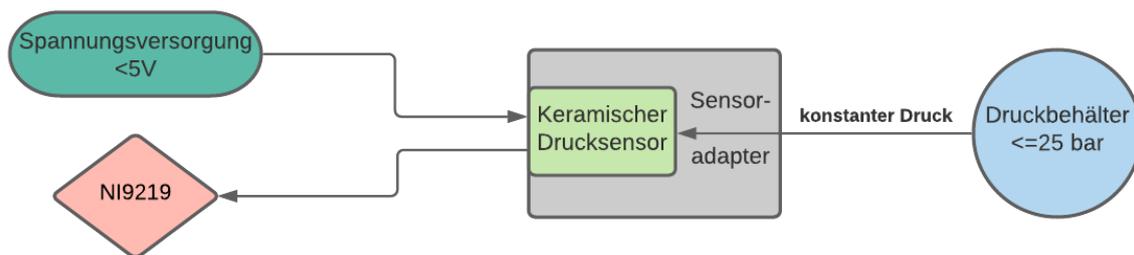


Abbildung: Testmessung

Messablauf: Der keramische Drucksensor wird für die Testmessung in den konstruierten Messadapter eingebaut und über ein M6-Gewinde in den Druckbehälter eingeschraubt. Dieser Druckbehälter muss mit einem konstant gegebenen Druck von ≤ 25 bar beaufschlagt werden (Je nach Gegebenheiten kann der Drucksensor auch auf eine andere Art mit einem konstanten Druck beaufschlagt werden). Der Drucksensor wird an eine Spannungsversorgung $< 5V$ angeschlossen. Das analoge Ausgangssignal wird mithilfe eines NI9219 ermittelt.

Berechnung des Übertragungswerts bei bestimmtem Druck:

$$\text{tatsächlicher Übertragungswert} \left(\frac{mV}{V} \right) = \frac{\text{Ausgangssignal}(mV)}{\text{Spannungsversorgung}(V)}$$

Der daraus ermittelte Übertragungswert und der dabei beaufschlagte Druck werden in die beigefügte Excel-Tabelle: *Ermittlung des Verstärkungsfaktor für den Drucksensor* eingesetzt und daraus den erforderlichen Verstärkungsfaktor für einen physikalischen Messbereich von 2 bis 18 bar ermittelt.

Ermittlung der Nullpunktabweichung: Zur Ermittlung der Nullpunktabweichung wird der Sensor bei unbelastetem Druck (Relativdruck = 0 Bar) an die Spannungsversorgung und dem Messinstrument angeschlossen. Die dabei abfallende Spannung ist die Nullpunktabweichung des Sensors.

Fertigungsliste

| Nr. | Bezeichnung | Anbindung | Menge | Material | Fertigungsprozess | Status |
|-----|--------------------------------|--|-------|-----------|----------------------------|--|
| 1 | T-Stück Adapter | Temperatur vor der Brühgruppe (AVS-Römer Ersatz) | 1 | Aluminium | Spanende Fertigung | |
| 2 | Temperaturmessadapter | Temperatur vor der Brühgruppe (AVS-Römer Ersatz) | 1 | Aluminium | Spanende Fertigung | in Auftrag gegeben |
| 3 | Temperaturmessadapter | Temperatur vor dem Kaffeepuck | 2 | Aluminium | Spanende Fertigung | in Auftrag gegeben |
| 5 | Druckmessadapter | Druck vor dem Kaffeepuck | 2 | Aluminium | Spanende Fertigung | in Auftrag gegeben |
| 7 | Norm-Siebträger mit Kaffeepuck | Druck vor dem Kaffeepuck | 1 | PA12 | 3D-Druck | Aus Projektgruppe: Konstruktion Brühgruppe mit Siebträger |
| 8 | Kunststoffeinsatz | Druck/Temperatur vor dem Kaffeepuck | 1 | PA12 | 3D-Druck + Nachbearbeitung | |
| 9 | Brühgruppe | Druck/Temperatur vor dem Kaffeepuck | 1 | PA12 | 3D-Druck + Nachbearbeitung | |
| 10 | Gehäuse | Durchflussmenge nach dem Siebträgerauslauf | 1 | PA12 | 3D-Druck + Nachbearbeitung | 3D-Druck in Auftrag gegeben, Nachbearbeitung steht aus |
| 11 | Auffangbehälter | Durchflussmenge nach dem Siebträgerauslauf | 1 | PA12 | 3D-Druck | 3D-Druck in Auftrag gegeben |
| 12 | Wägeplattform | Durchflussmenge nach dem Siebträgerauslauf | 1 | PA12 | 3D-Druck | 3D-Druck in Auftrag gegeben |

Bestellliste

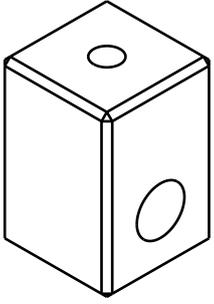
| Nr. | Bezeichnung | Material/Beschreibung | Maße | Stückzahl | Lieferant | Artikelnummer | Status |
|-----|--|---|------------------------|-----------|--------------------|------------------|------------------------------------|
| 1 | Messingrohr | Messing/ Anbindung Temperatursensor an Adapter | 1,0x0,6x0,2x1000 mm | 1 | Modellbau-Profi | 001MR010006 | bestellt |
| 2 | Messingrohr | Messing/ Anbindung Temperatursensor an Adapter | 1,5x1,1x0,2x1000 mm | 1 | Modellbau-Profi | 001MR015011 | bestellt |
| 3 | Unterlagscheibe | Edelstahl/Druck und Temperaturmessadapter E61 | ISO 7090-6,4x12x1,0 mm | 2 | Würth | 464381616 | |
| 4 | Flachdichtung | PTFE/ Druck und Temperaturmessadapter Brühgruppe | 6,4x10x1,0 mm | 2 | - | - | |
| 5 | O-Ring | EPDM/ Dichtigkeit der Brühgruppe | ISO 3651-18,77x1,78 mm | 1 | Parker.com | 2-018 | |
| 6 | O-Ring | EPDM/ Dichtigkeit des Kunststoffeinsatz | ISO 3651-55,25x2,62 mm | 1 | Parker.com | 2-139 | |
| 7 | Innensechskantschraube | Stahl 8.8/ Verschraubung Brühgruppe an Kunststoffeinsatz | ISO 4762-M6x20 mm | 3 | Würth | 00846 20 | |
| 8 | Unterlagscheibe | Edelstahl/ Verschraubung Brühgruppe an Kunststoffeinsatz | ISO 7090-M6x14x1,2 mm | 3 | Würth | 46216 | |
| 9 | Gewindeinsatz | Messing/ Verschraubung Brühgruppe an Kunststoffeinsatz | M6x12 mm | 3 | KVT | 137M6 | |
| 10 | Gewindeinsatz | Messing/ Verschraubung Druck-/Temperaturadapter an Brühgruppe | M6x7,9 mm | 2 | KVT | 145M6 | |
| 11 | Zylinderstift | Stahl/Verschraubung Brühgruppe an Kunststoffeinsatz | DIN 6325-6x24 mm | 3 | Würth | 025206 24 | |
| 12 | Zemic FAB-47-300g | Wägezelle | - | 1 | - | - | vorhanden |
| 13 | Innensechskantschraube | Zur Befestigung der Wägezelle | ISO 4762-M3 x 10 mm | 2 | - | - | beim Herrn Bichler Bedarf gemeldet |
| 14 | Platine für Anschlussleitungen | - | - | 1 | - | - | |
| 15 | Innensechskantschraube | Zur Befestigung der Platine | ISO 4762-M2,5 x 6 | 2 | - | - | beim Herrn Bichler Bedarf gemeldet |
| 16 | Gelenkfüße | - | Durchmesser d1 = 25mm | 3 | ganternorm.com | GN 343.3-25-M6-A | |
| 17 | Außensechskantschraube | Schrauben für Füße | ISO 4017-M6x30 | 3 | - | - | beim Herrn Bichler Bedarf gemeldet |
| 18 | Mutter für Anschlagsschraube | passiviert/Edelstahl, Festigkeitsklasse min. 4.6 | ISO 4032-M3 | 1 | - | - | beim Herrn Bichler Bedarf gemeldet |
| 19 | Anschlagsschraube | passiviert/Edelstahl, Festigkeitsklasse min. 4.6 | ISO 4017-M3x16 | 1 | - | - | beim Herrn Bichler Bedarf gemeldet |
| 20 | Kalibriergewicht 0,5 g | zur Kalibrierung des Wägesystems | 0,5 g | 1 | - | - | |
| 21 | Kalibriergewicht 1 g | zur Kalibrierung des Wägesystems | 1 g | 1 | - | - | |
| 22 | Kalibriergewicht 2 g | zur Kalibrierung des Wägesystems | 2 g | 2 | - | - | |
| 23 | Kalibriergewicht 5 g | zur Kalibrierung des Wägesystems | 5 g | 1 | - | - | |
| 24 | Kalibriergewicht 10 g | zur Kalibrierung des Wägesystems | 10 g | 1 | - | - | |
| 25 | Kalibriergewicht 20 g | zur Kalibrierung des Wägesystems | 20 g | 2 | - | - | |
| 26 | Kalibriergewicht 50 g | zur Kalibrierung des Wägesystems | 50 g | 1 | - | - | |
| 27 | Kalibriergewicht 100 g | zur Kalibrierung des Wägesystems | 100 g | 1 | - | - | |
| 28 | Digmesa Nano Brass | Durchflusssensor im Druckkreis | - | 1 | Digmesa | 9NB-011x/01x | |
| 29 | Micro-BetaChip | NTC Temperatursensor | - | 4 | mouser.de | 824-GA10K3MCD1 | |
| 30 | Doppelnippel | Stahl verzinkt / Gewindeadapter für Sensorintegration | G 1/8" AG - G 1/8" AG | 1 | esska.de | DN1818HD0000 | |
| 31 | Gewindereduzierung | VA 1.4571 / Gewindeadapter für Sensorintegration | G 1/8" AG - G 3/8" IG | 1 | esska.de | RI1 8X3 8ES0 | |
| 32 | Sechskant-Reduzierdoppelnippel | VA 1.4571 / Gewindeadapter für Sensorintegration | G 1/8" AG - G 3/8" AG | 1 | schwer.com | GF-105G3818-7 | |
| 33 | Sechskant-Reduzierstück | VA 1.4571 / Gewindeadapter für Sensorintegration | G 1/2" AG - G 1/4" IG | 1 | schwer.com | GF-106G1214-7 | |
| 34 | Reduziermuffe | VA 1.4571 / Gewindeadapter für Sensorintegration | G 1/2" IG - G 1/4" IG | 1 | schwer.com | GF-135G1214-7 | |
| 35 | Sechskant-Muffe | VA 1.4571 / Gewindeadapter für Sensorintegration | G 1/8" | 1 | schwer.com | GF-101HEXG18-7 | |
| 36 | Sechskant-Muffe | VA 1.4571 / Gewindeadapter für Sensorintegration | G 1/4" | 1 | schwer.com | GF-101HEXG14-7 | |
| 37 | AVS-Römer Gerade Einschraub-Verschraubung G 1/8" (951P3-6FF-1/8) | Gewinde zu Schlauch Adapter für Sensorintegration | G 1/8" | 4 | avs-roemer.de | 367053 | |
| 38 | AVS-Römer Gerade Einschraub-Verschraubung G 1/4" (951P3-6FF-1/4) | Gewinde zu Schlauch Adapter für Sensorintegration | G 1/4" | 2 | avs-roemer.de | 367054 | |
| 39 | Teflon Dichtungsband | PTFE / Abdichtung der Schraubverbindungen | 12 mm x 0,1 mm x 12 m | 1 | hoffmann-group.com | 083319 COARSE | |
| 40 | Aluminiumklebeband | Anbringung des Temperatursensors an der Brühgruppe | 50 mm x 10 m | 1 | hornbach.de | 1001960 | |
| 41 | Schrumpfschlauch | Schutz der hauchdünnen Kabel des Micro-BetaChip | 1,5 - 0,5 mm x 1 m | 1 | conrad.de | 1600944 - WK | |

D

C

B

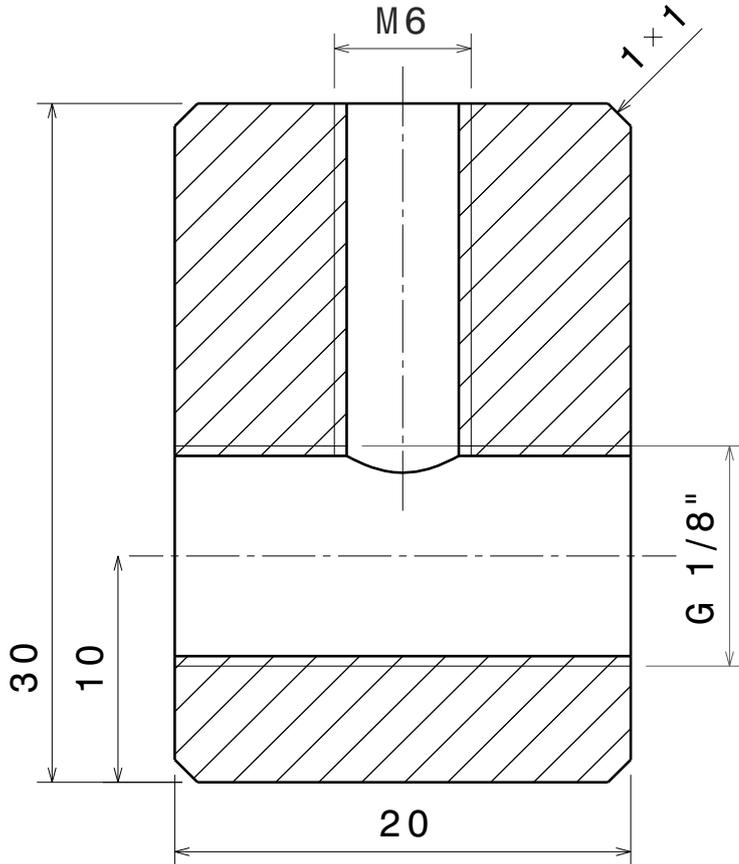
A



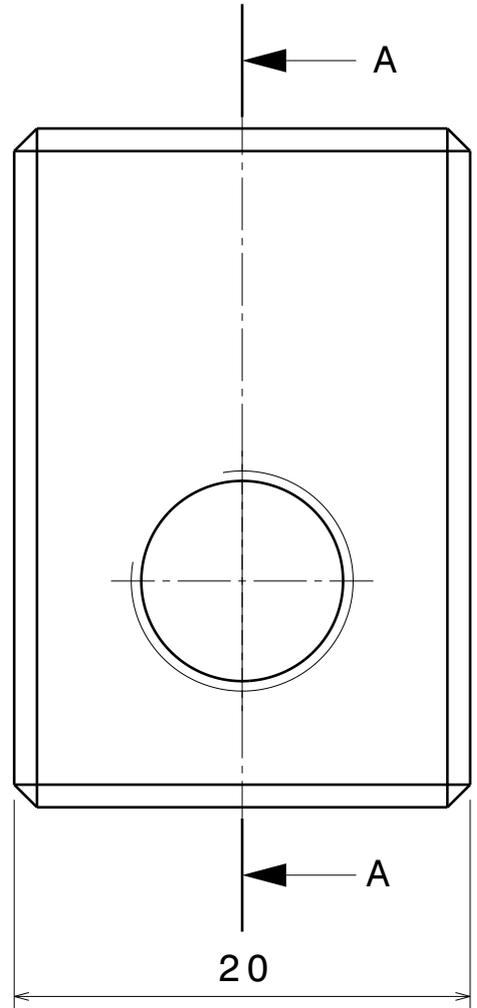
Isometrische Ansicht
 Maßstab: 1:1

4

4



Schnittansicht A-A
 Maßstab: 3:1



Seitenansicht
 Maßstab: 3:1

3

3

2

2

DESIGNED BY:
 Michael Zanzinger
 DATE:
 11.02.2021

CHECKED BY:
 XXX
 DATE:
 XXX

SIZE
 A4

SCALE
 3:1

Mit diesem Adapter wird die alternative Anbindung des Micro-BetaChip Temperatursensors für die Temperaturmessung vor der Brühgruppe ermöglicht.

T-Stück Adapter

WEIGHT (kg)
 28 g

Material
 Aluminium

SHEET
 1/1

| | |
|---|---|
| I | - |
| H | - |
| G | - |
| F | - |
| E | - |
| D | - |
| C | - |
| B | - |
| A | - |

1

1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

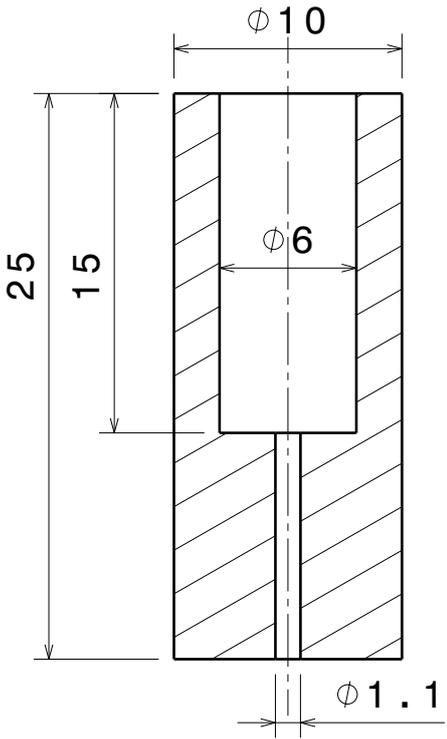
D

A

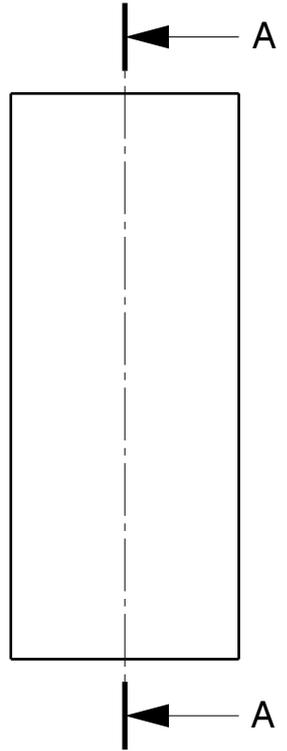
D C B A

4

4



Schnittansicht A-A
Maßstab: 3:1



Seitenansicht
Maßstab: 3:1

3

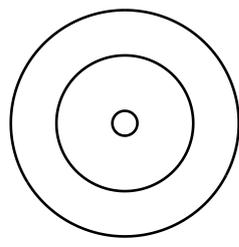
3

2

2



Isometrische Ansicht
Maßstab: 1:1



Draufsicht
Maßstab: 3:1

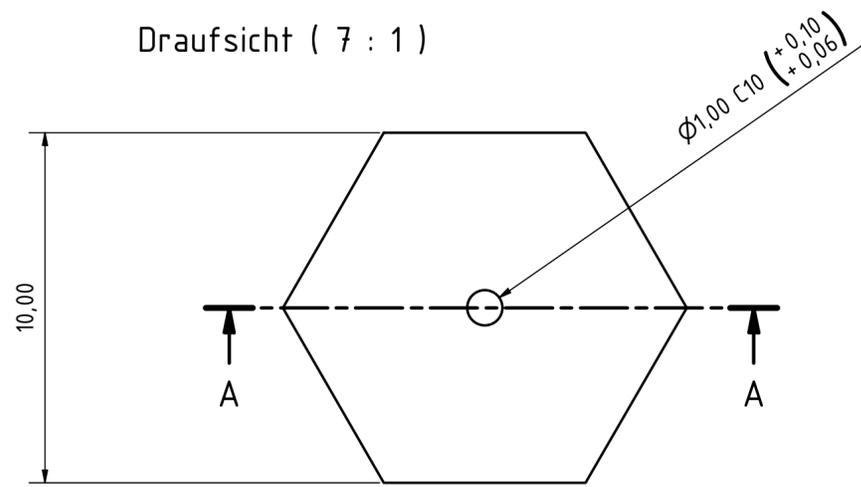
1

1

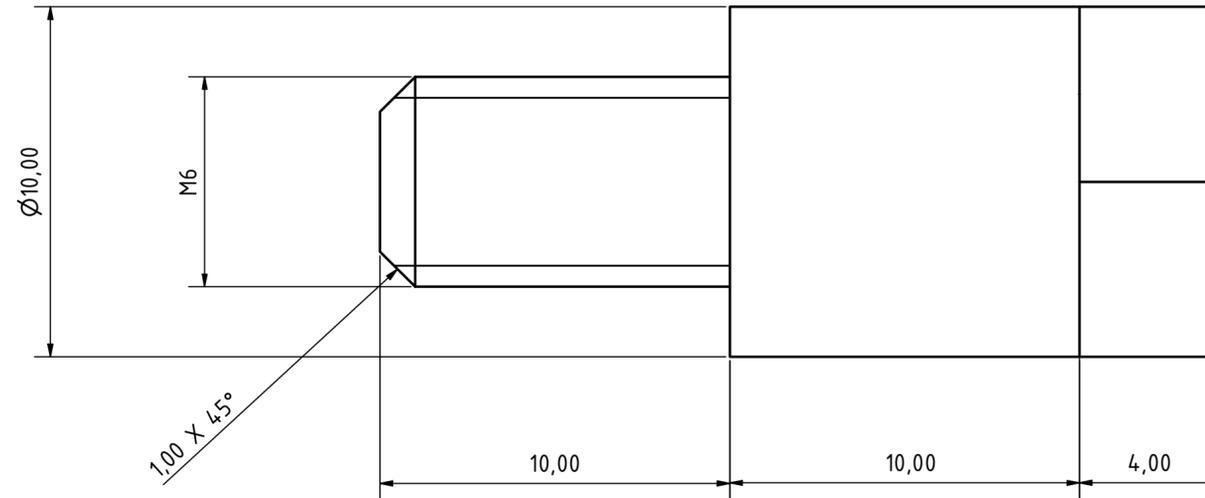
| | | | | | |
|---|------------------------------|-----------------------|---|---|---|
| DESIGNED BY: Michael Zanzinger | | | | I | - |
| DATE: 11.02.2021 | | | | H | - |
| CHECKED BY: XXX | | | | G | - |
| DATE: XXX | | | | F | - |
| SIZE A4 | | Kabelschutz | | E | - |
| SCALE 3:1 | WEIGHT (kg) | | | D | - |
| | Material Aluminium | SHEET 1 / 1 | C | - | |
| This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement. | | | | B | - |
| | | | | A | - |

D A

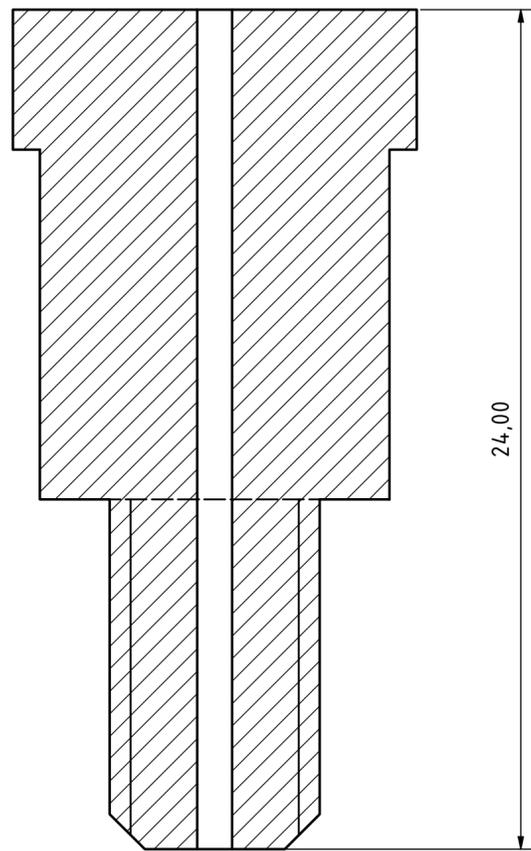
Draufsicht (7 : 1)



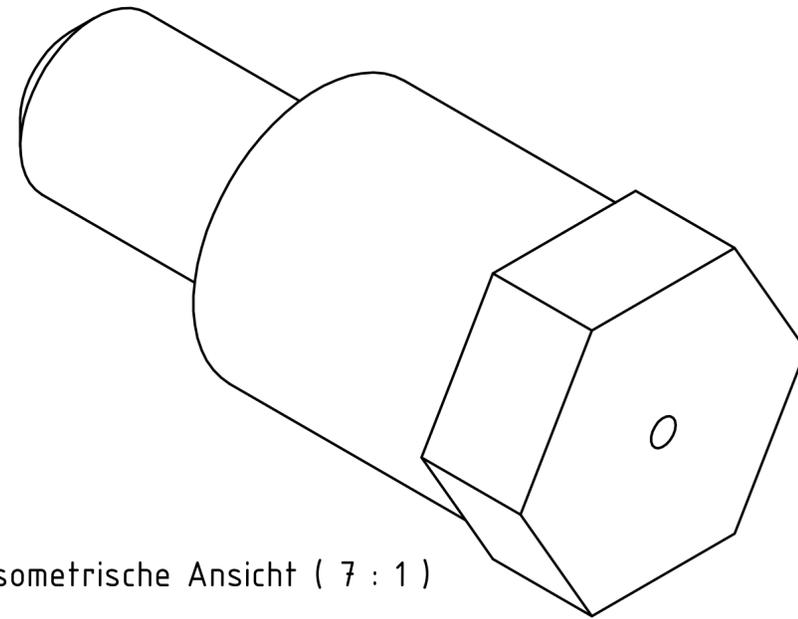
Seitenansicht (7 : 1)



A-A (7 : 1)



Isometrische Ansicht (7 : 1)



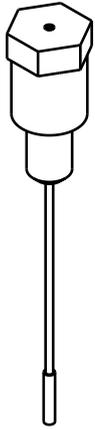
| | | | | | |
|-------------------------------------|------------|---|------------------|--|--|
| Allgemein-toleranzen ISO 2768-mK | | Tol. ISO 14405 ISO 8015 ISO 4017 | Maßstab: 7:1 | Material/Rohteil: AISI 316/304 | |
| | | Datum Bear. 23.02.2021 | Name SCZERNIN | Temperaturmessadapter | |
| | | | | | |
| Status | Änderungen | Datum | Name | Blatt 1/1 DIN A3 | |
| | | | | Betr.: Herr Rohnen Sem./Gruppe: WiSe2021 | |

D

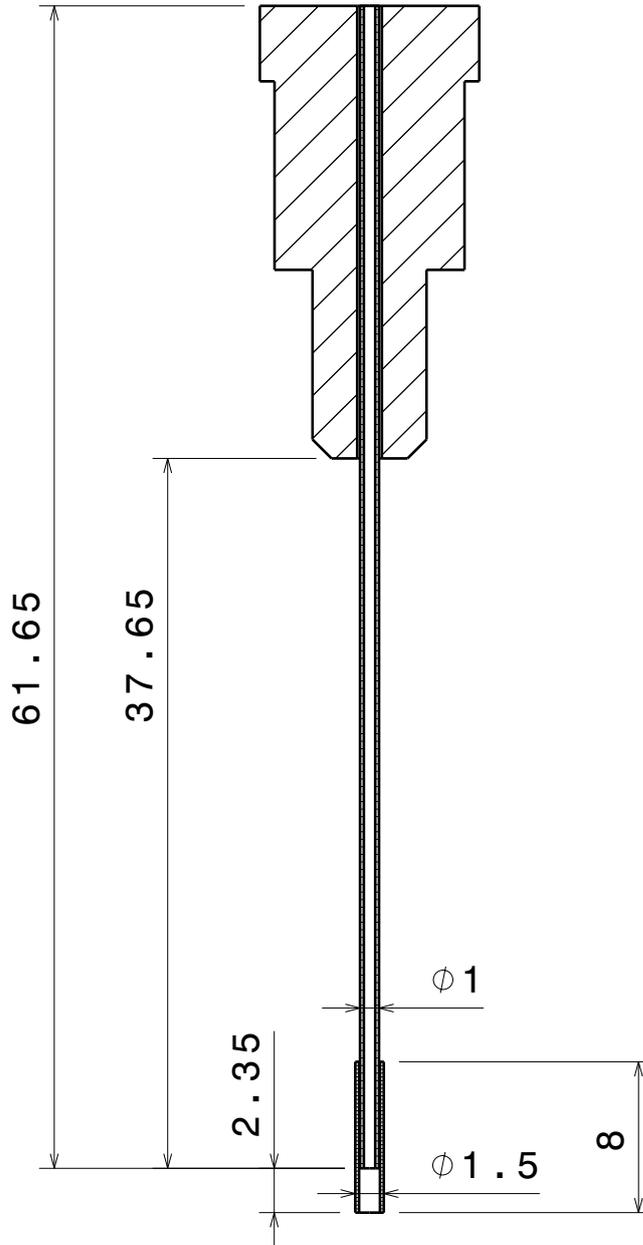
C

B

A



Isometrische Ansicht
Maßstab: 1:1



Schnittansicht des Messadapters mit Messingrohr
Maßstab: 5:2

| | | | | |
|---|-------------|---|---|---|
| DESIGNED BY: Michael Zanzinger | | Veranschaulichung der benötigten Messingrohrlänge für die Temperaturmessung vor dem Kaffeepuck (E61) (Keine Fertigungszeichnung) | I | - |
| DATE: 11.02.2021 | | | H | - |
| CHECKED BY: XXX | | Benötigte Messingrohrlänge: 61,65 mm | G | - |
| DATE: XXX | | | F | - |
| SIZE A4 | | Bauraum für das Messingrohr | E | - |
| SCALE 5:2 | WEIGHT (kg) | | D | - |
| DRAWING NUMBER 1 / 1 | | SHEET | C | - |
| This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement. | | | B | - |
| | | | A | - |

D

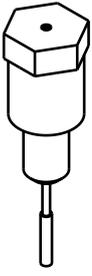
A

D

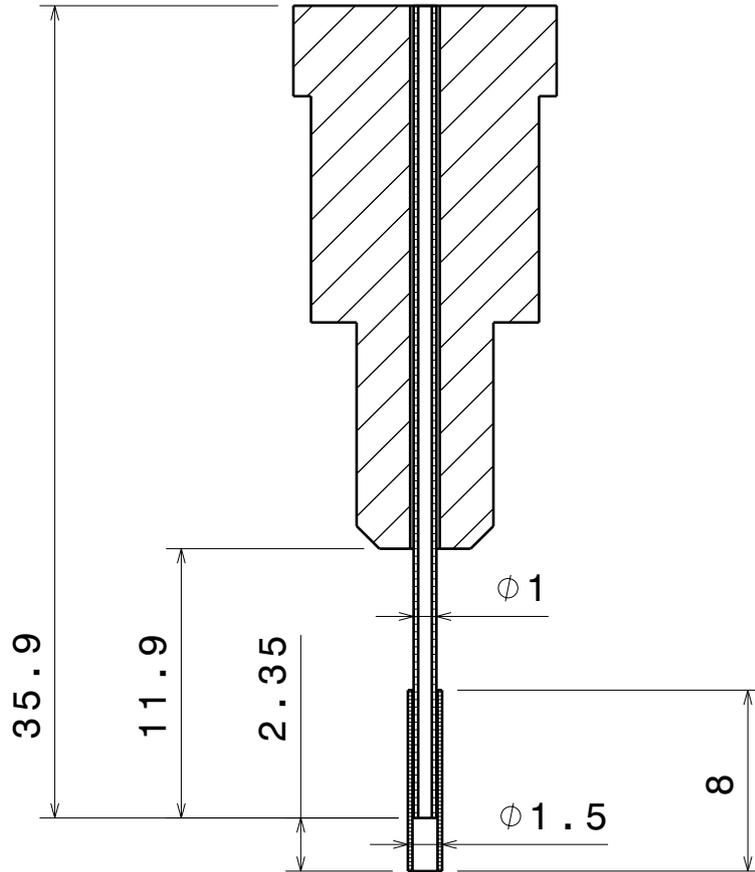
C

B

A



Isometrische Ansicht
Maßstab: 1:1



Schnittansicht des Messadapters mit Messingrohr
Maßstab: 3:1

DESIGNED BY:

Michael Zanzinger

DATE:

11.02.2021

CHECKED BY:

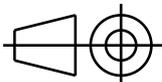
XXX

DATE:

XXX

SIZE

A4



Veranschaulichung der benötigten
Messingrohrlänge für die
Temperaturmessung vor dem Kaffeepuck
(nicht E61) (Keine Fertigungszeichnung)

Benötigte Messingrohrlänge: 35,9 mm

SCALE

3:1

WEIGHT (kg)

DRAWING NUMBER

Bauraum für das Messingrohr

SHEET

1/1

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

A

-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

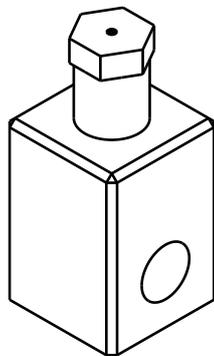
A

D

C

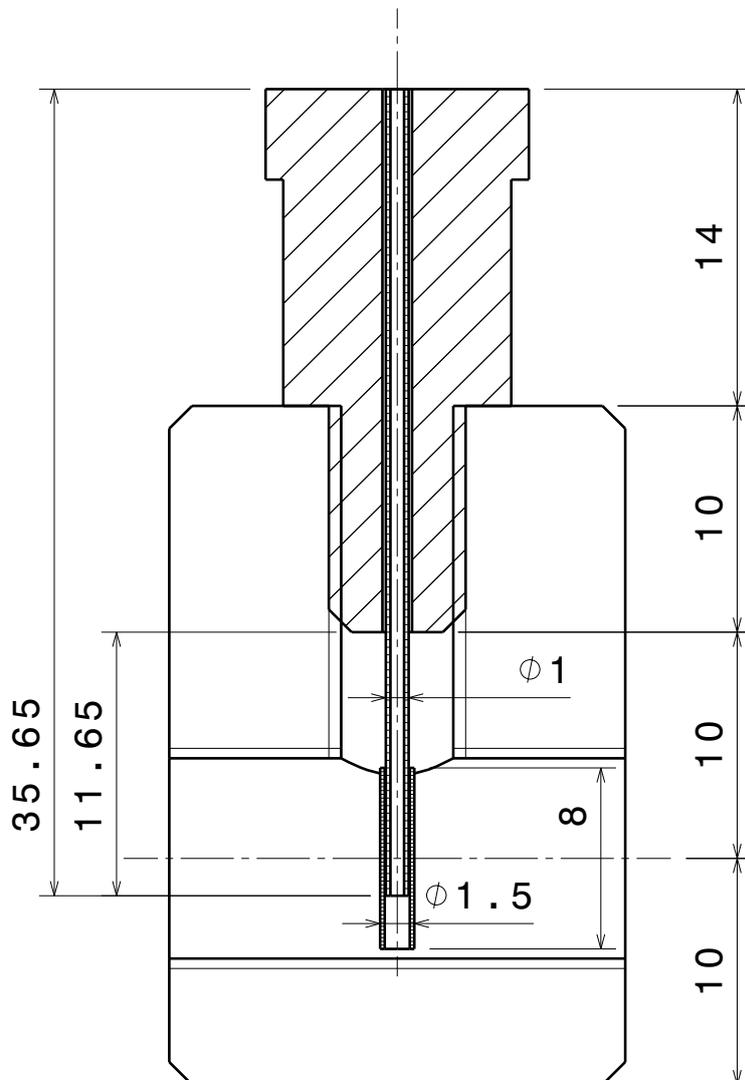
B

A



Isometrische Ansicht

Maßstab: 1:1



Schnittansicht des T-Stück Adapters mit Messadapter
Maßstab: 3:1

DESIGNED BY:

Michael Zanzinger

DATE:

11.02.2021

CHECKED BY:

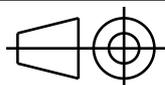
XXX

DATE:

XXX

SIZE

A4



Veranschaulichung der benötigten
Messingrohrlänge für die
Temperaturmessung vor der Brühgruppe.
(Keine Fertigungszeichnung)

Benötigte Messingrohrlänge: 35,65 mm

SCALE

3:1

WEIGHT (kg)

DRAWING NUMBER

Bauraum für das Messingrohr

SHEET

1/1

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

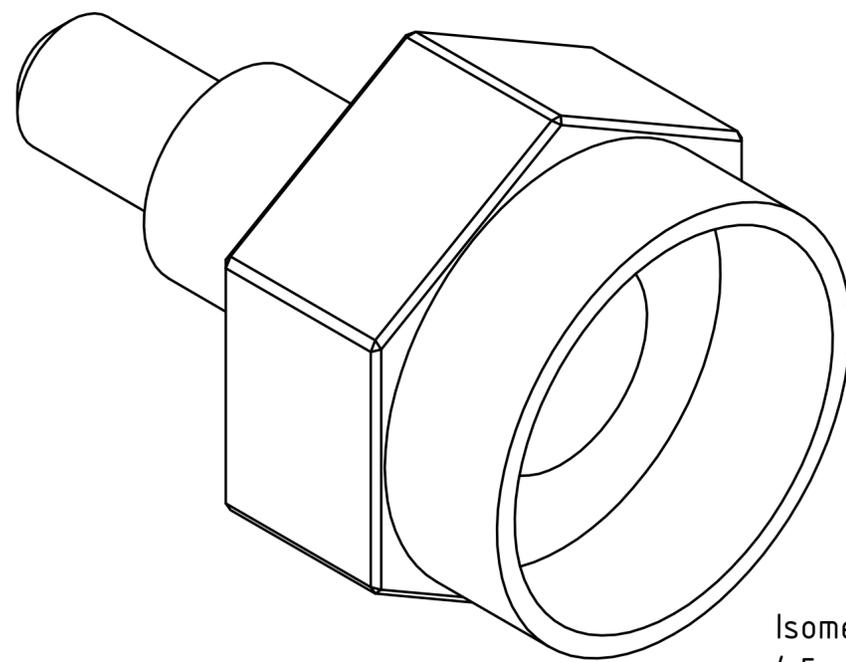
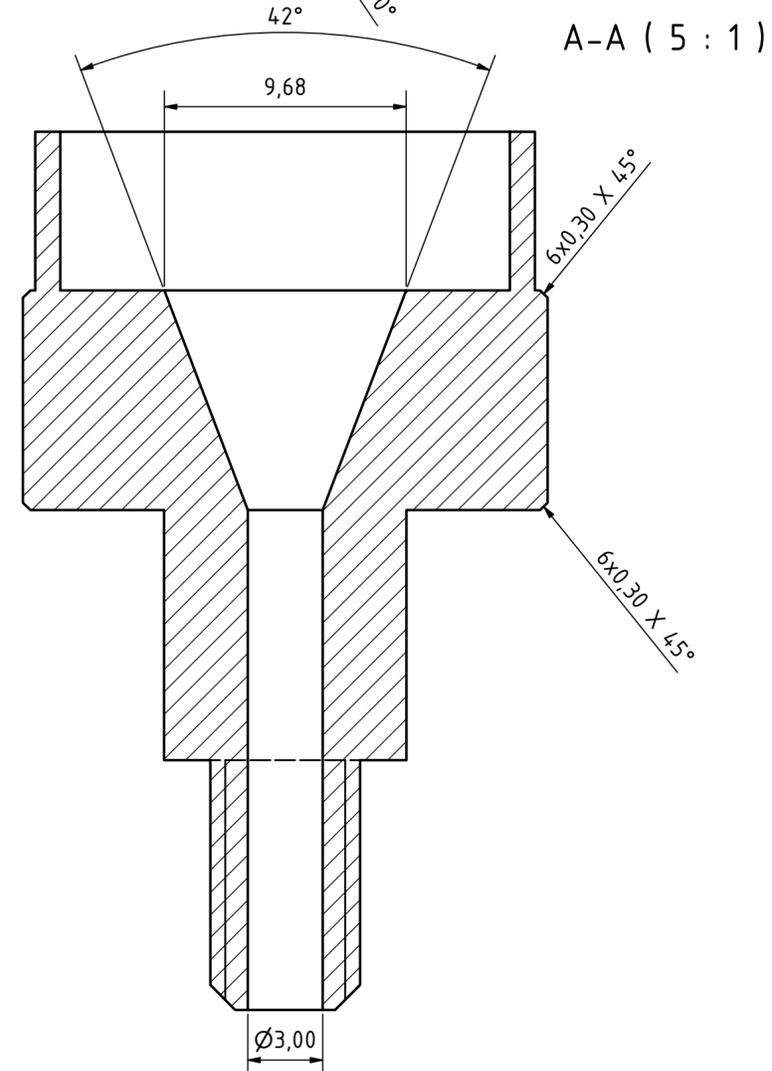
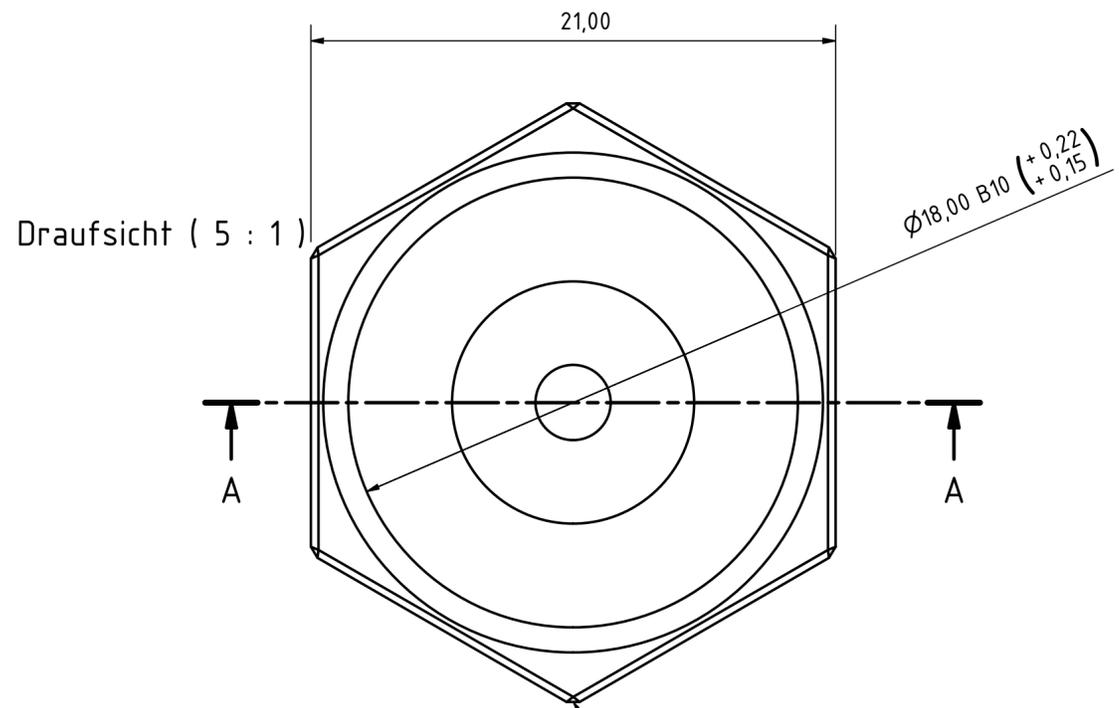
A

-

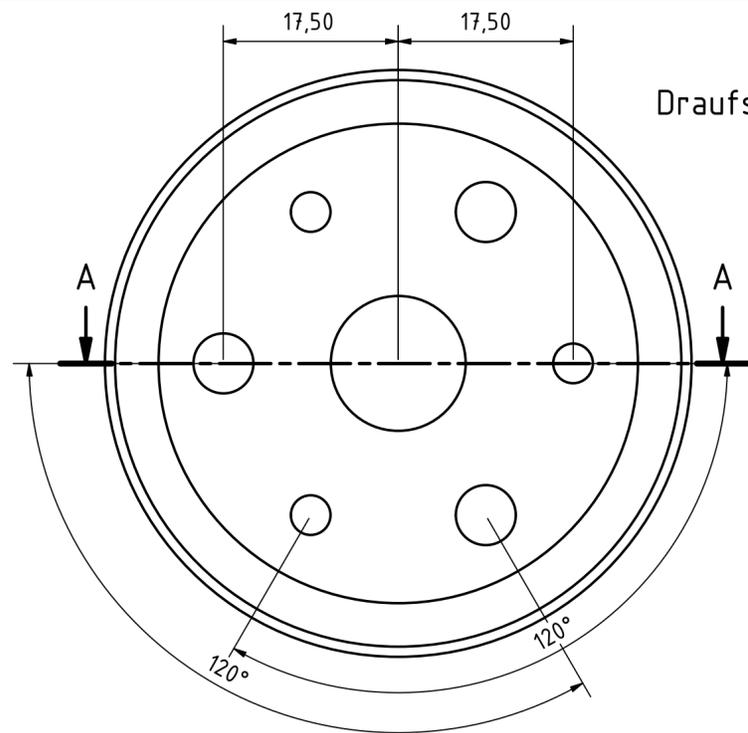
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

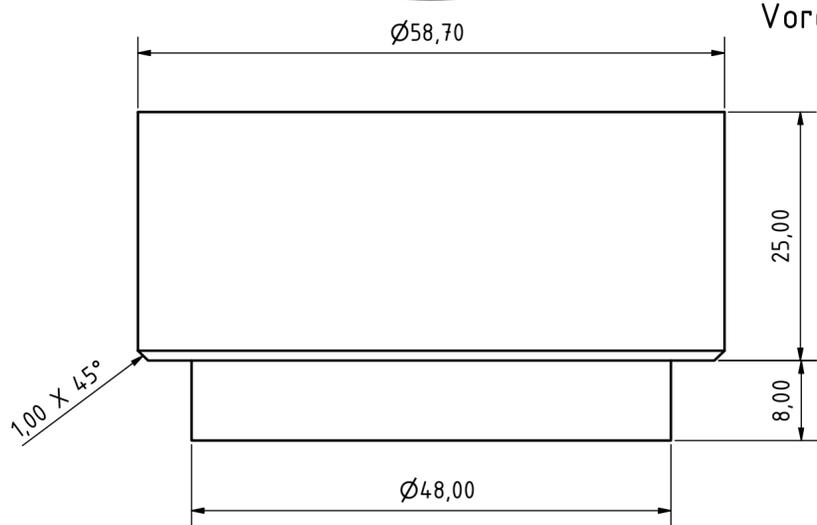
A



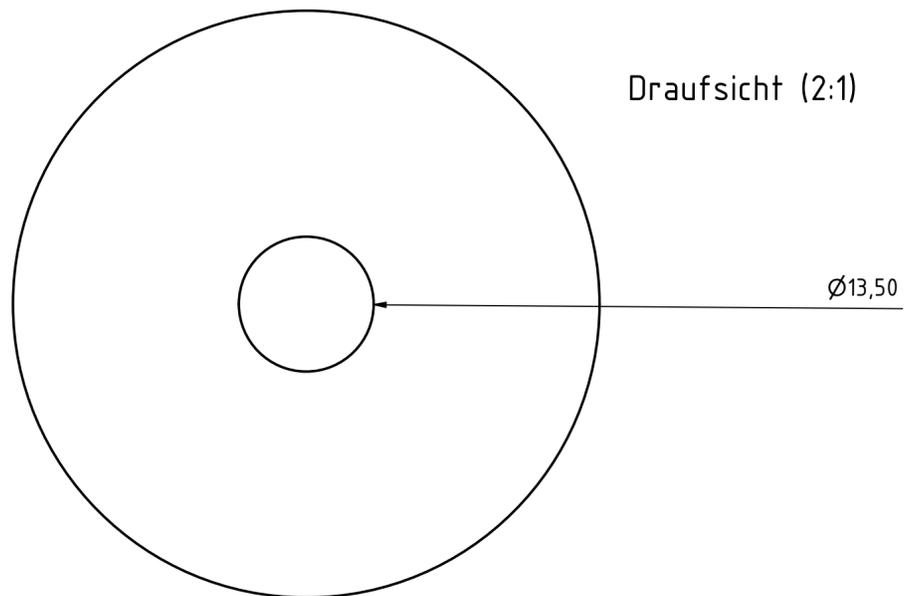
| | | | | |
|-------------------------------------|------------|---|---------------------|--|
| Allgemein-toleranzen ISO 2768-mK | | Tol. ISO 14405 ISO 8015 ISO 4017 | Maßstab: 1:5 | Material/Rohrteil: AISI 316/304 |
| Größe Schraubkopf/Sechskantlänge | 05.12.2020 | Datum | Name | Druckmessadapter |
| | | Bear. | 23.02.2021 SCZERNIN | |
| Status | Änderungen | Datum | Name | Blatt 1/1 DIN A3 |
| | | | | Betr.: Herr Rohnen Sem./Gruppe: WiSe2021 |



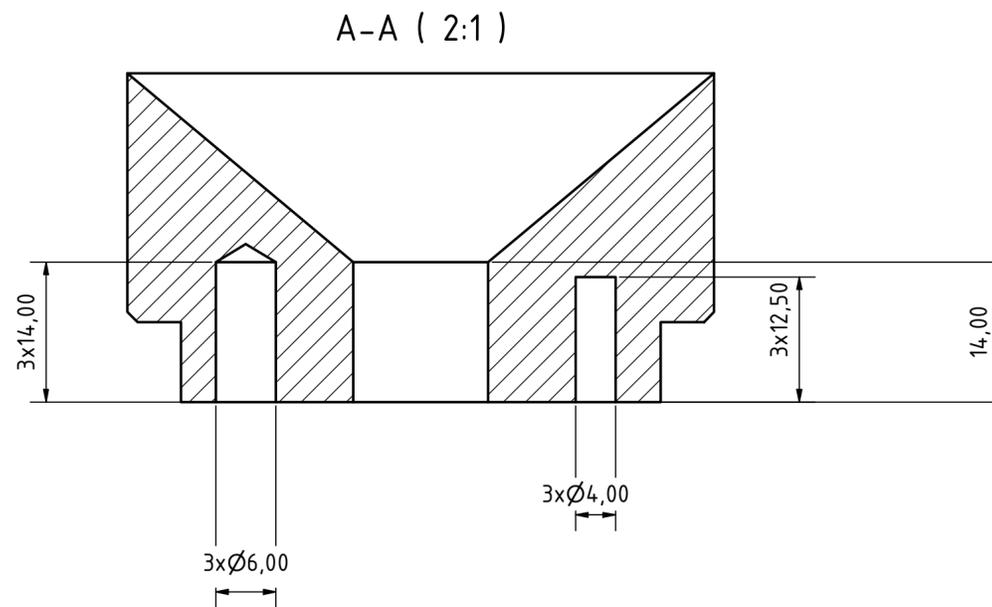
Draufsicht (2:1)



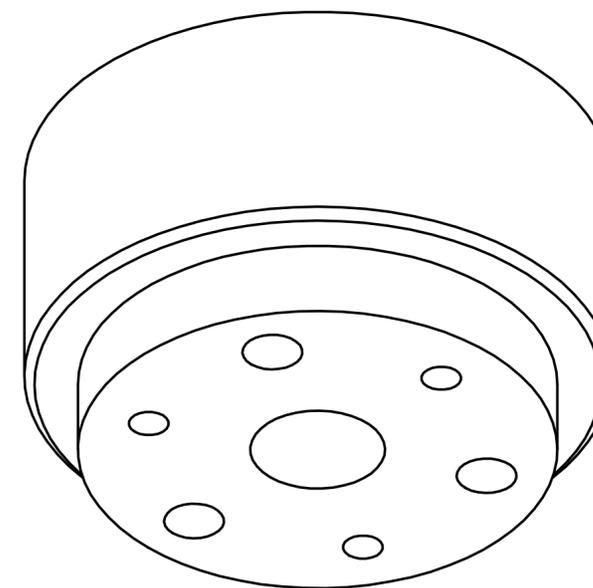
Vorderansicht (2:1)



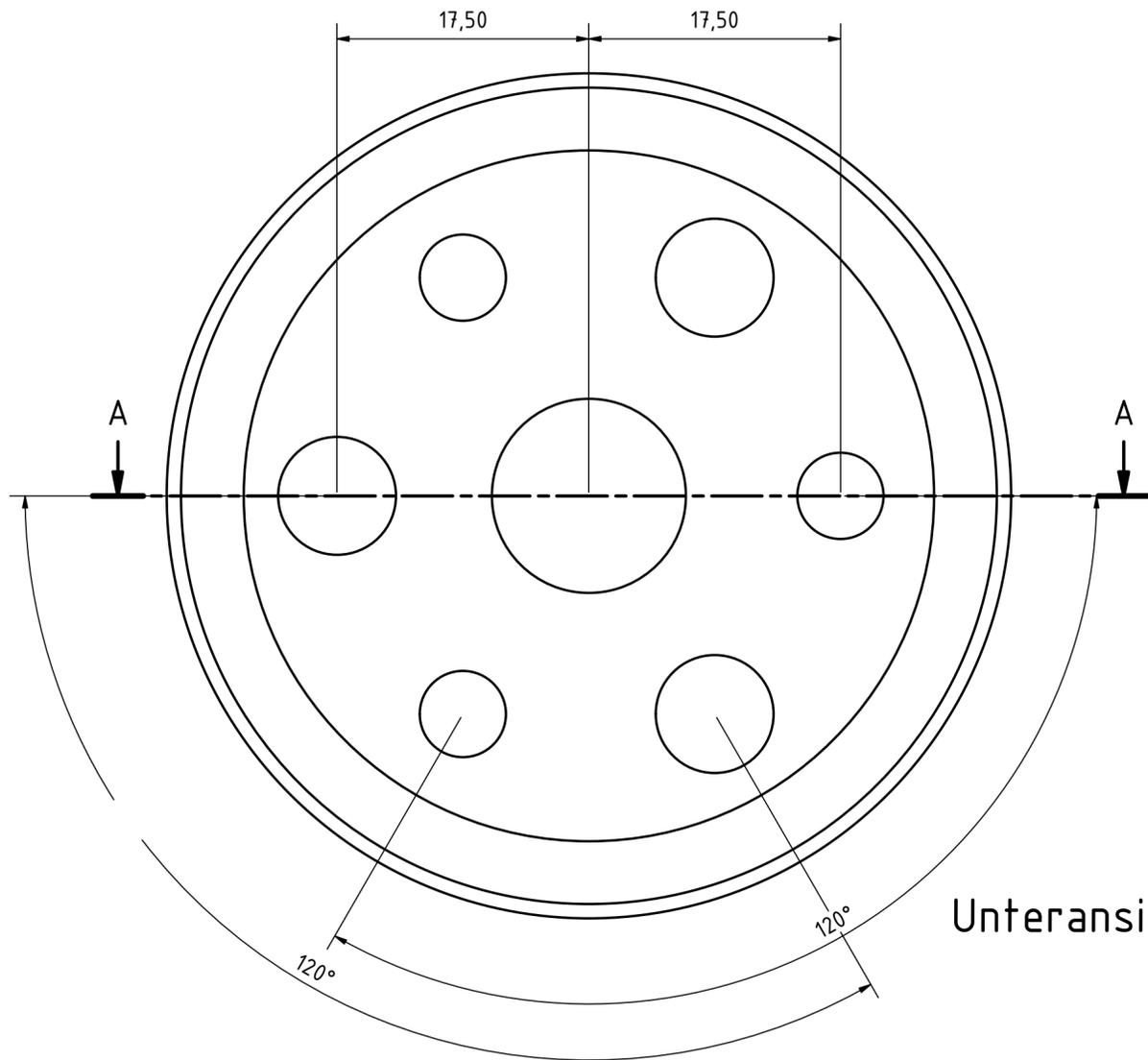
Draufsicht (2:1)



A-A (2:1)

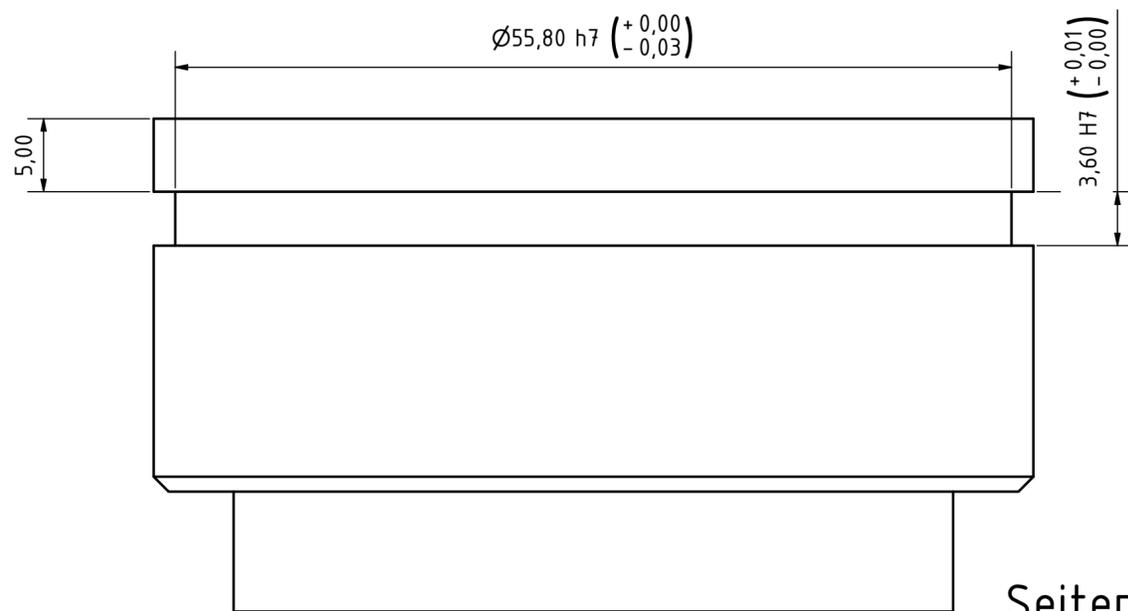
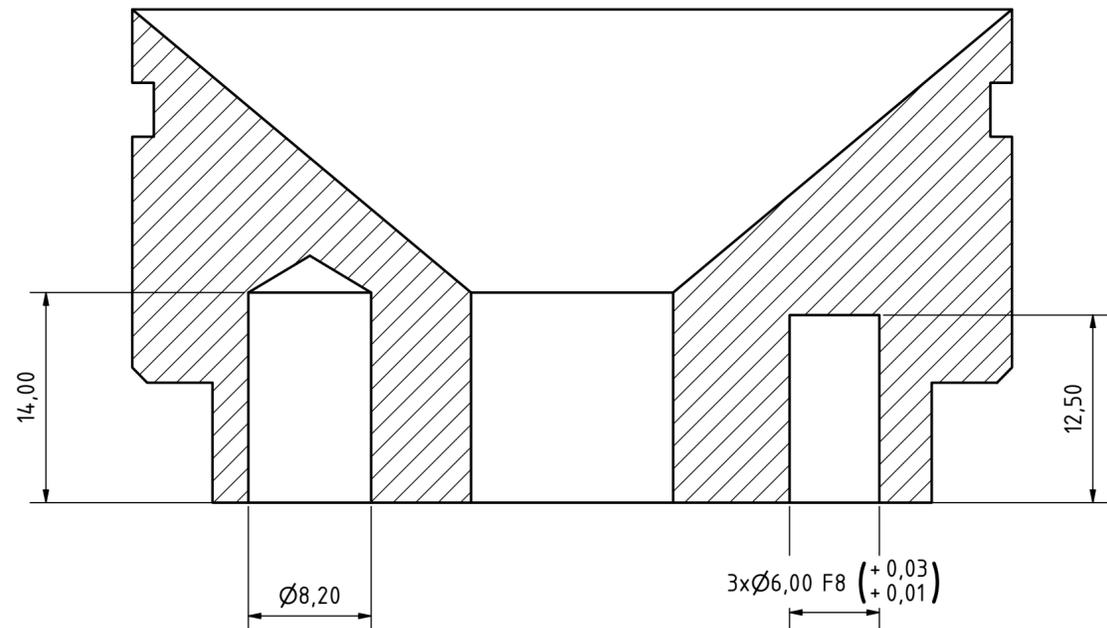


| | | | | |
|-------------------------------------|------------|---|-------------------------|---------------------------|
| Allgemein-toleranzen ISO 2768-mK | | Tol. ISO 14405 ISO 8015 ISO 4032 | Maßstab: 2:1 | Material/Rohteil: PA12 |
| Datum 08.02.2021 | | Name SCZERNIN | Kunststoffeinsatz 3D | |
| Status | Änderungen | Datum | Name | Betr.: Herr Rohnen |
| | | | | Sem./Gruppe: WiSe2021 |
| | | | | Blatt 1/1 DIN A3 |

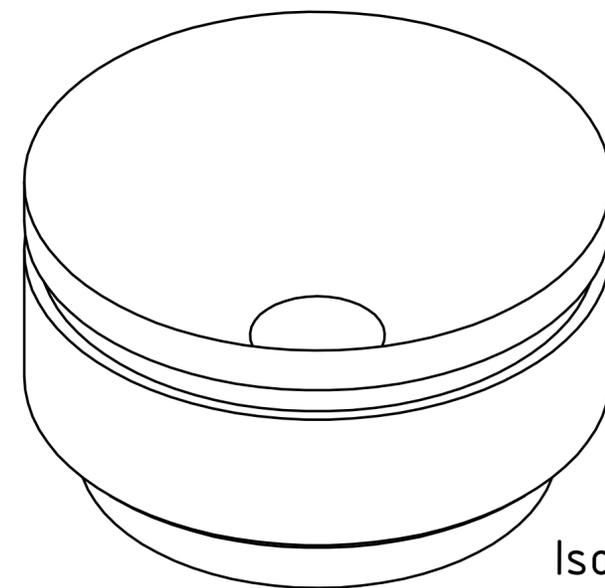


Unteransicht (3:1)

A-A (3 : 1)

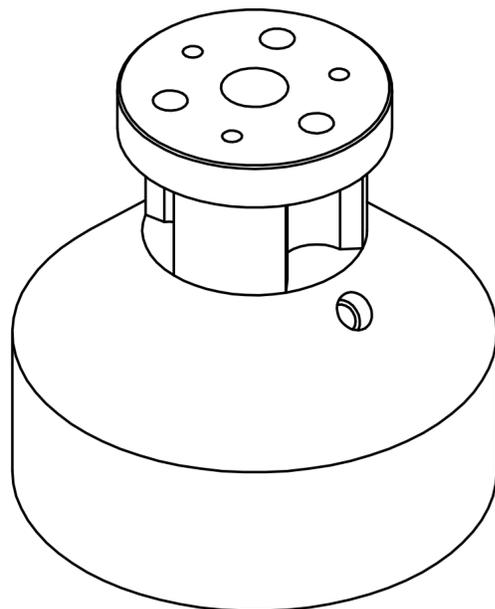
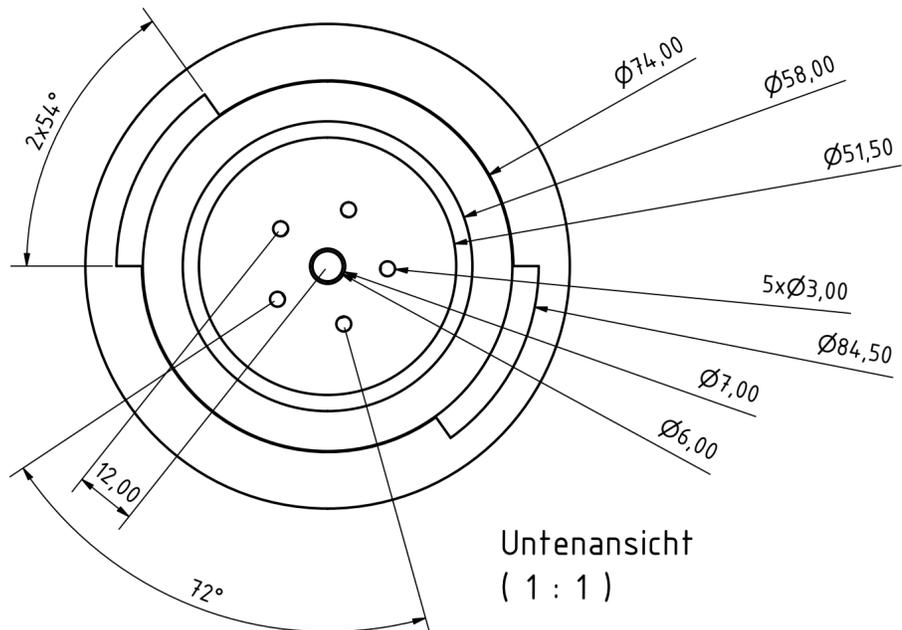
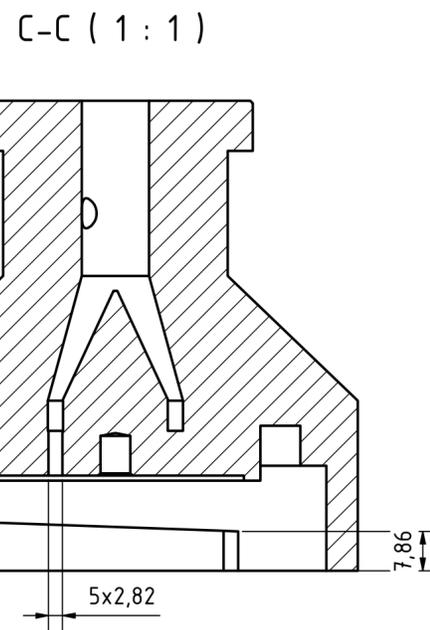
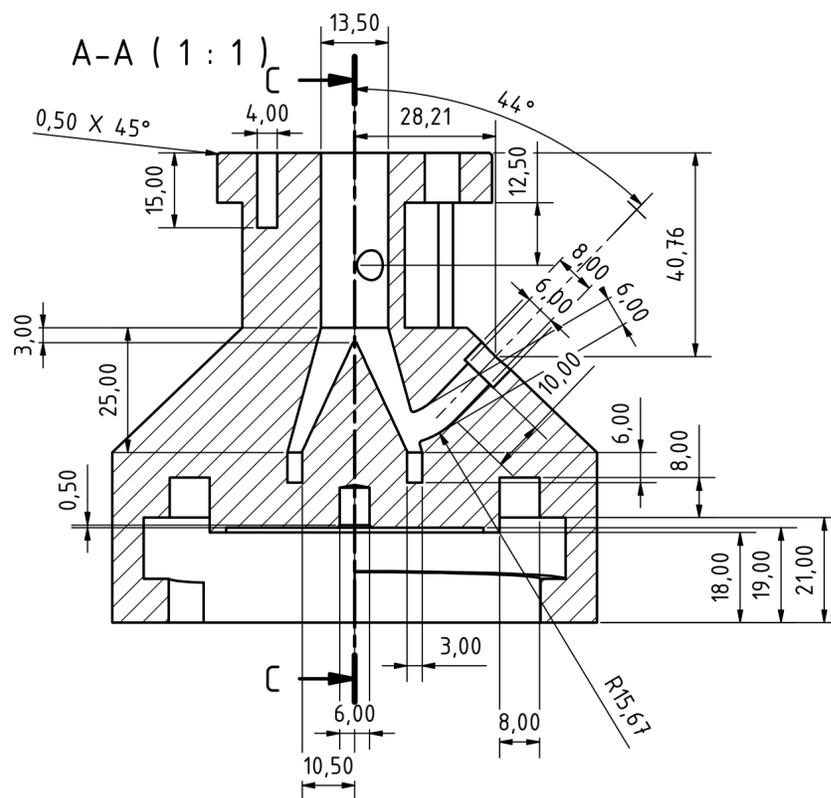
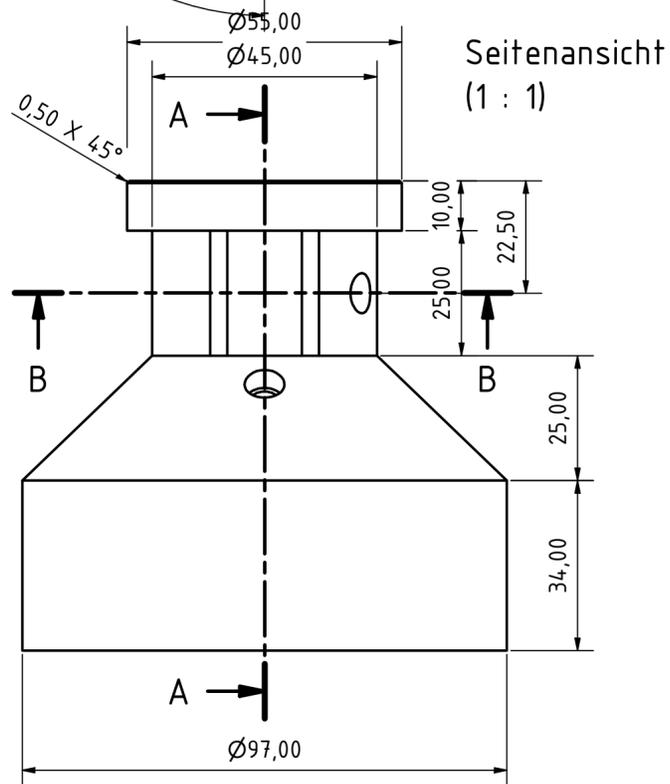
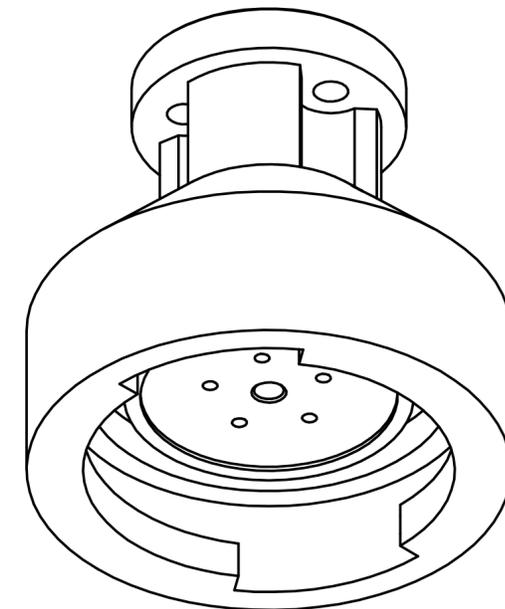
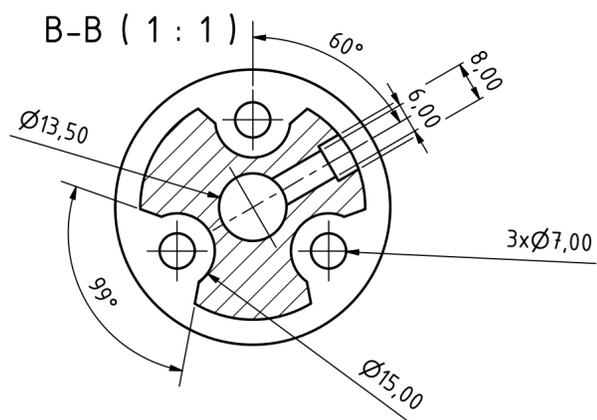
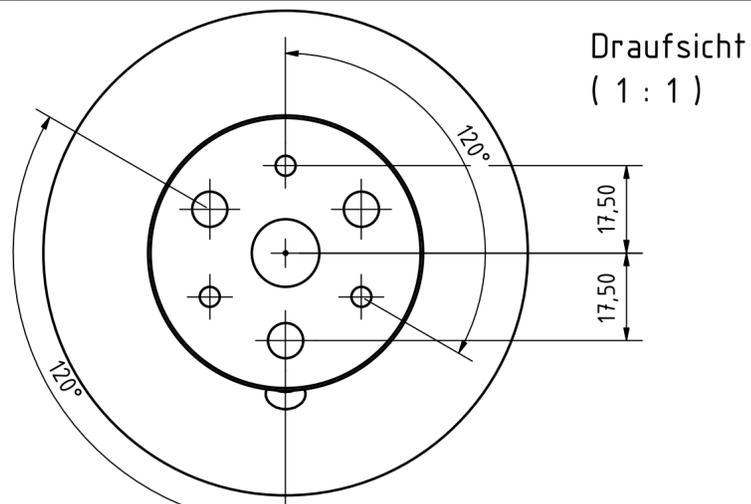


Seitenansicht (3:1)

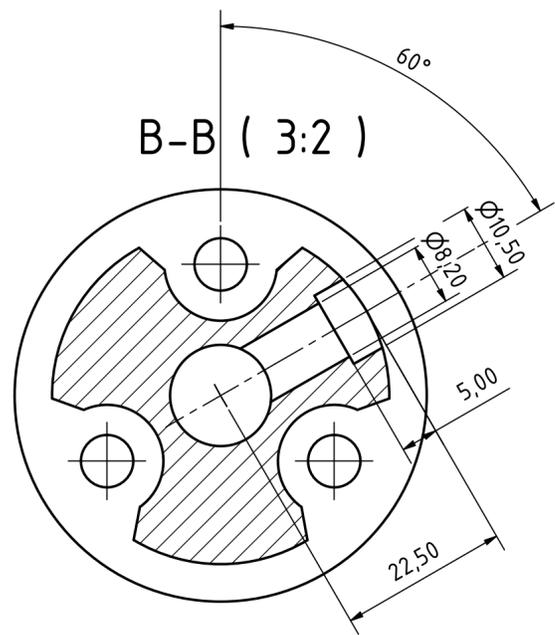


Isometrische Ansicht (2:1)

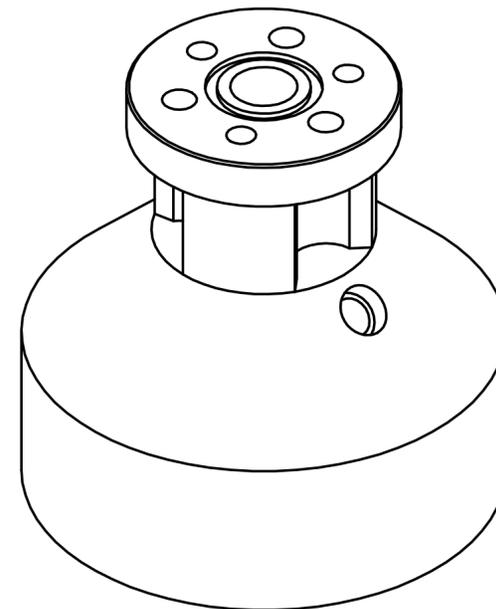
| | | | | |
|-------------------------------------|------------|---|--------------------------------------|----------------------------|
| Allgemein-toleranzen ISO 2768-mK | | Tol. ISO 14405 ISO 8015 ISO 4032 | Maßstab: 3:1 | Material/Rohrteil: PA12 |
| Datum 08.02.2021 | | Name SCZERNIN | Kunststoffeinsatz Nachbearbeitung | |
| Status | Änderungen | Datum | Name | Blatt 1/1 DIN A3 |
| Betr.: Herr Rohnen | | | Sem./Gruppe: WiSe2021 | |



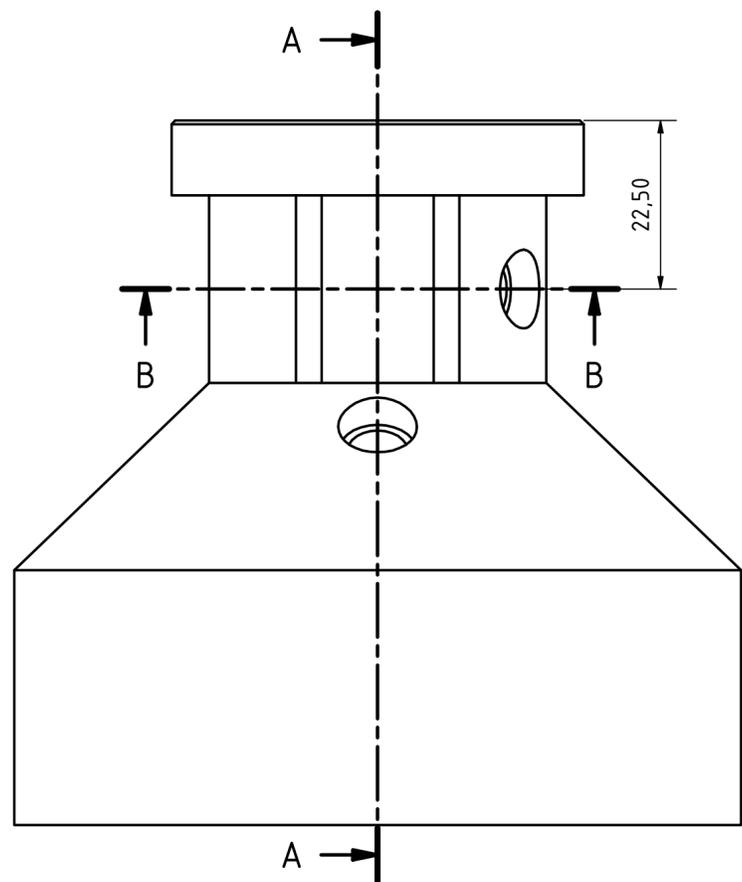
| | | | | |
|------------------------------------|------------|---|-----------------------|----------------------------|
| Allgemeintoleranzen ISO 2768-mK | | Tol. ISO 14405 ISO 8015 ISO 4032 | Maßstab: 2:1 | Material/Rohrteil: PA12 |
| Datum 08.02.2021 | | Name SCZERNIN | Brühgruppe 3D | |
| Status | Änderungen | Datum | Name | Blatt 1/1 DIN A3 |
| Betr.: Herr Rohnen | | | Sem./Gruppe: WiSe2021 | |



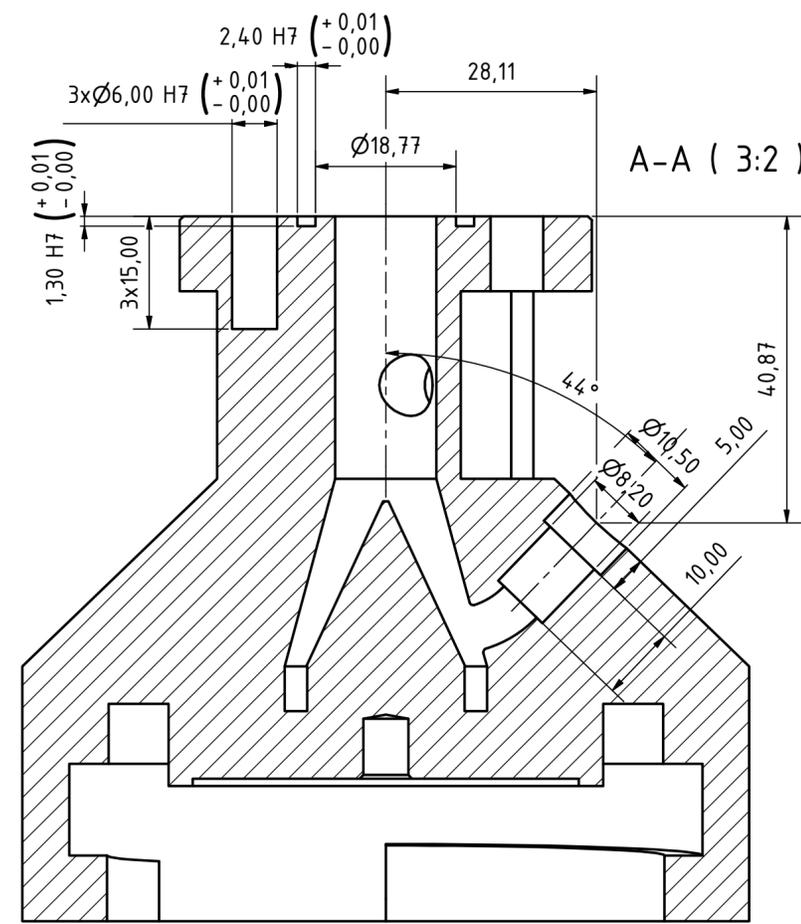
B-B (3:2)



Isometrische Ansicht (3:2)

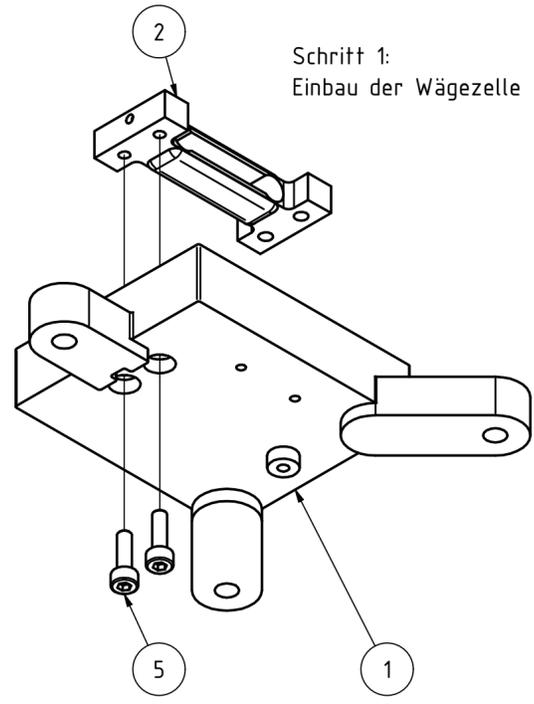


Seitenansicht (3:2)

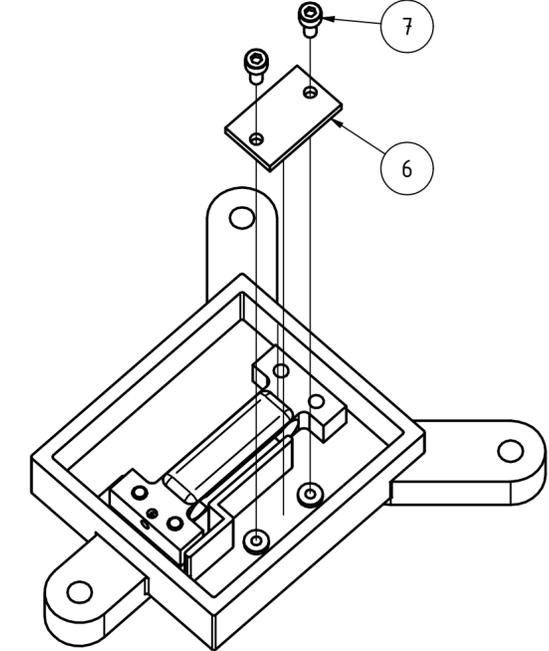


A-A (3:2)

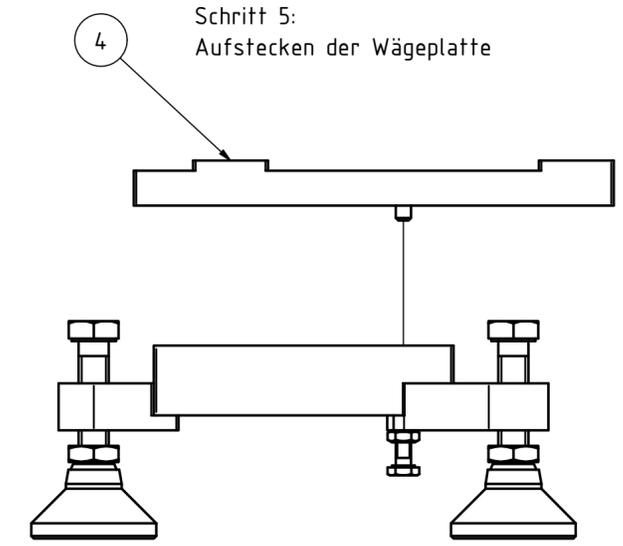
| | | | | |
|-------------------------------------|------------|---|-------------------------------|----------------------------|
| Allgemein-toleranzen ISO 2768-mK | | Tol. ISO 14405 ISO 8015 ISO 4032 | Maßstab: 3:2 | Material/Rohrteil: PA12 |
| Datum 08.02.2021 | | Name SCZERNIN | Brühgruppe Nachbearbeitung | |
| Status | Änderungen | Datum | Name | Blatt 1/1 DIN A3 |
| Betr.: Herr Rohnen | | | Sem./Gruppe: WiSe2021 | |



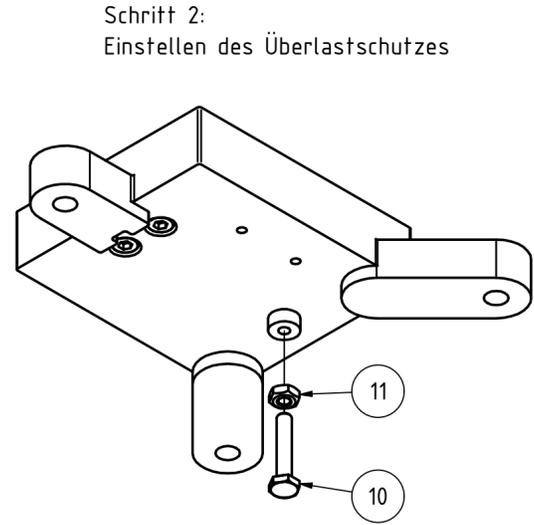
Schritt 1:
Einbau der Wägezelle



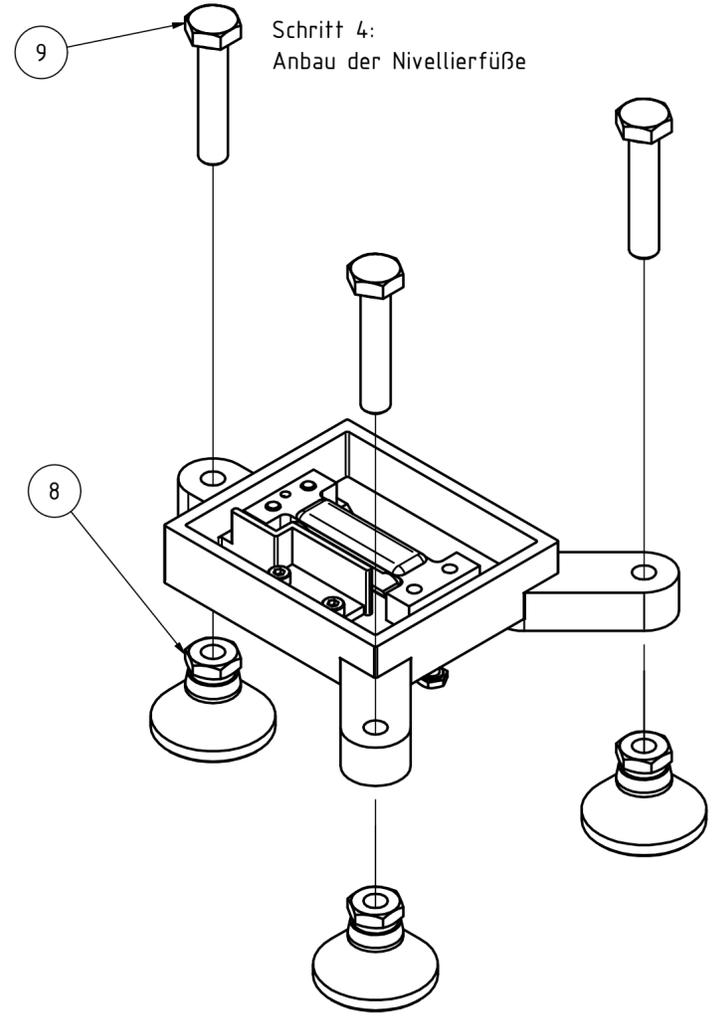
Schritt 3:
Einbau der Anschlussplatine
(und Anschluss der Leitungen)



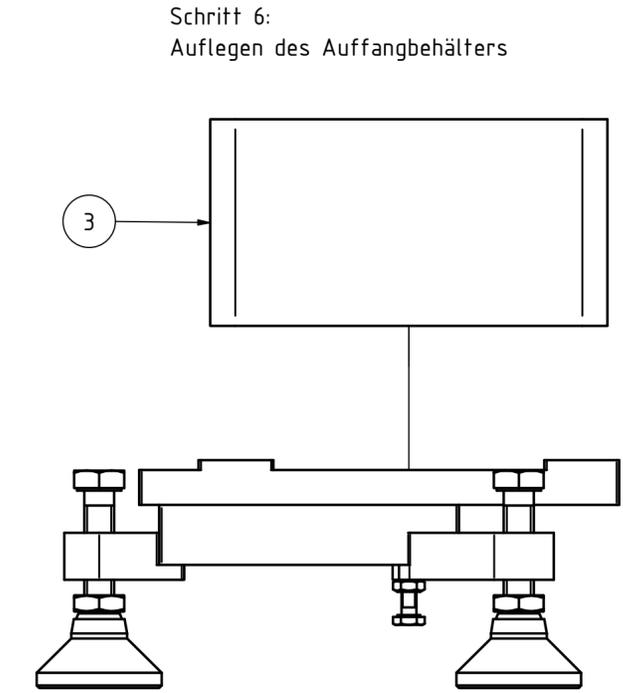
Schritt 5:
Aufstecken der Wägeplatte



Schritt 2:
Einstellen des Überlastschutzes



Schritt 4:
Anbau der Nivellierfüße



Schritt 6:
Auflegen des Auffangbehälters

| BAUTEILLISTE | | | |
|--------------|--------|--------------------------------|------------------------|
| OBJEKT | ANZAHL | BAUTEILNUMMER | BESCHREIBUNG |
| 1 | 1 | Gehäuse | |
| 2 | 1 | Zemic FAB-47-300 | |
| 3 | 1 | Auffangbehälter | |
| 4 | 1 | Wägeplattform | |
| 5 | 2 | ISO 4762 - M3 x 10 | Innensechskantschraube |
| 6 | 1 | Platine für Anschlussleitungen | |
| 7 | 2 | ISO 4762 - M2,5 x 6 | Innensechskantschraube |
| 8 | 3 | Gelenkteller | |
| 9 | 3 | ISO 4017 - M6 x 30 | Sechskantschraube |
| 10 | 1 | ISO 4017 - M3 x 16 | Sechskantschraube |
| 11 | 1 | ISO 4032 - M3 | Sechskantmutter |

| | | | | | | | |
|--------|--|------------|--|------------|--|--------------|-----------------------|
| Status | | Änderungen | | Datum | | Name | |
| | | | | | | | |
| | | | | Datum | | Name | |
| | | | | 23.02.2021 | | Jonas Pytlík | |
| | | | | Kontroll | | | |
| | | | | Norm | | | |
| | | | | | | | Explosionsdarstellung |
| | | | | | | | 1 |
| | | | | | | | A2 |