

Hochschule für angewandte Wissenschaften München  
Fakultät 03 – Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Luftfahrttechnik

Wintersemester 2021/2022



Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades  
*Bachelor of Science (B.Sc)*

Bachelorarbeit zum Thema:

**Inbetriebnahme eines Messsystems zur Aufnahme von Betriebsparametern bei  
Siebträger Espressomaschinen mit und ohne E61 Brühgruppe**



---

Name, Vorname: **Viebke, Patricia**

E-Mail: pviebke@hm.edu

Matrikelnummer: 06433718

Studiengang: Maschinenbau Bachelor

Studiengruppe: MBB7

Unter Betreuung von: Armin Rohnen

**Abgabedatum: 24.02.2022**

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet verfügbaren Werken entnommen sind, habe ich durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder ganz noch in Teilen als Prüfungsleistung vorgelegt oder veröffentlicht.

701ng, 20.02.22  
Ort, Datum

P. Müller  
Unterschrift

## Abstract

Die vorliegende Bachelorarbeit umfasst die Dokumentation einer Inbetriebnahme eines Messsystems für Siebträger Espressomaschinen mit und ohne E61 Brühgruppe. Das Ziel des Messsystems ist es, Temperaturen, Druck und Durchflussparameter an Siebträger Espressomaschinen zu erfassen. Im Ausgangszustand funktioniert das Messsystem nur für Espressomaschinen mit einer E61 Brühgruppe, jedoch nicht vollständig und zuverlässig. Die Kapazitäten des Raspberry Pi schränken die Datenweiterverarbeitung des Durchflusssensors erheblich ein. Eine korrekte Durchflussmessung konnte somit nicht durchgeführt werden. Neben der Durchflussmessung zeigt die Temperaturmessung eine Problematik auf, die es zu beheben gilt. Es wurde beim Messen mit einem NTC eine 50 Hz Störfrequenz identifiziert, die auf ein Masseproblem zurückzuführen ist. Durch die Erweiterung der Messelektronik mit HATs gelingt es die genannten Problemstellen zu beheben und das Messsystem funktionsfähig aufzubauen. Hierzu müssen die HATs mit Python Skripten konfiguriert und in die GUI integriert werden. Die Datenverarbeitung wird durch den Einsatz neuer Messelektronik ebenfalls geändert und muss durch eine neue Vorgehensweise in der GUI aktualisiert werden. Weiter muss das Messsystem für Espressomaschinen ohne E61 Brühgruppe kompatibel sein. Hierfür werden Adapterteile aus Kunststoff konstruiert und gedruckt. Bevor eine finale Überprüfung an Siebträger Espressomaschinen möglich ist, muss die Sensorik kalibriert werden. Innerhalb des Kalibrierprozesses werden Erkenntnisse zu den verwendeten Platinen gewonnen. Durch experimentelle Versuche gelang es die Fehlerquellen zu umgehen und die einsatzbereiten Komponenten zu überprüfen.

*This bachelor thesis comprises the documentation of a commissioning of a measuring system for portafilter espresso machines with and without E61 brew group. The aim of the measuring system is to record temperatures, pressure, and flow parameters on portafilter espresso machines. In its initial state, the measurement system only works for espresso machines with an E61 brew group, but not completely and reliable. The capacities of the Raspberry Pi significantly limit the data processing of the flow sensor. Thus, a correct flow measurement could not be performed. In addition to the flow measurement, the temperature measurement shows a problem that needs to be solved. A 50 Hz interference frequency was identified when measuring with a NTC, which was due to a ground problem. By extending the measurement electronics with HATs, it is possible to eliminate the problem areas and to set up the measurement system in a functional manner. For this purpose, the HATs must be configured with Python scripts and integrated into the GUI. The data processing is also changed using new measurement electronics and requires a new procedure, which is updated in the GUI. Furthermore, the measuring system must be compatible for espresso machines without E61 brewing group. For this purpose, adapter parts made of plastic will be designed and printed. Before a final check on portafilter espresso machines is possible, the sensor system must be calibrated. Within the calibration process, knowledge about the used circuit boards is gained. Experimental tests made it possible to circumvent the sources of error and to check the ready-to-use components.*

## Abkürzungen

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung</b>
GPIO	General Pin Input Output
GUI	Graphical User Interface/ Benutzeroberfläche
HAT	Hardware At the Top
MCC	Measurement Computing Corporation
E61	E61 Brühgruppe
nE61	Nicht E61 Brühgruppe
NTC	Negative Thermatic Coefficient Sensor
PA12	Polyamid 12 / Nylon
mL	Milliliter
S/s bzw. kS/s	Samples per Second bzw. Kilosamples per Second
TimerFcn	Timer Function

## Formelzeichen

<b>Formelzeichen</b>	<b>Einheit</b>	<b>Erklärung</b>
$F$	$N$	Druckkraft
$p$	$Bar$	Druck
$A$	$mm^2$	Fläche, auf die sich der Druck verteilt
$A_{Mantel}$	$mm^2$	Mantelfläche/Klebefläche
$h$	$mm$	Höhe des Drucksensors
$\tau_K$	$\frac{N}{mm^2}$	Scherspannung der Klebeverbindung
$\tau_{KB}$	$\frac{N}{mm^2}$	Scherspannung des Klebstoffs im ausgehärteten Zustand im Datenblatt

## Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>II</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>IV</b>
<b>Formelzeichen</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Überblick des Messsystems .....	1
1.2 Aufgabenstellung .....	2
<b>2 Erweiterung des Messsystems für nicht E61</b> .....	<b>3</b>
2.1 Brühgruppenadapter .....	3
2.1.1 Kunststoffeinsatz .....	4
2.1.2 Zweite Brühgruppe .....	6
2.1.3 Verbindung der Elemente .....	7
2.2 Integration der Sensorik für nicht E61 .....	7
2.2.1 Temperatursensor .....	8
2.2.2 Drucksensor .....	8
2.3 Nachbearbeitung der Kunststoffteile .....	10
<b>3 Verwendung neuer Messelektronik</b> .....	<b>11</b>
3.1 Physikalische Erweiterung der Messelektronik .....	11
3.2 Anschlussplan an die MCC Channels .....	12
<b>4 Konfiguration neuer Messprozesse</b> .....	<b>13</b>
4.1 CUSTOM Messung .....	13
4.1.1 MATLAB® GUI .....	13
4.1.2 Python Skript der CUSTOM Messung .....	14
4.2 SHOT Messung .....	16
4.2.1 MATLAB® GUI .....	16
4.2.2 Python Skript der SHOT Messung .....	17
<b>5 Kalibrierung der Sensoren</b> .....	<b>21</b>
5.1 NTC Sensoren .....	21
5.1.1 Vorgehensweise .....	22
5.1.2 Ergebnisse des Kalibrierprozesses .....	23
5.1.3 Lösung zur Aufnahme der Kalibrierkurve .....	25
5.2 Drucksensoren .....	27
5.2.1 Überprüfen der Funktionalität .....	27
5.2.2 Vorgehensweise .....	28
5.2.3 Auswertung der Kalibrierung .....	29
5.3 IR-Sensor .....	30
<b>6 Vorgehen zum Vermessen einer Espressomaschine</b> .....	<b>31</b>
<b>7 Finale Probemessungen</b> .....	<b>32</b>
7.1 Vorgehensweise .....	32
7.2 Auswertung der Messergebnisse .....	33
<b>8 Anforderungen an die Elektronik</b> .....	<b>35</b>
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>36</b>

---

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Anhangsverzeichnis.....</b>	<b>II</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>IV</b>

# 1 Einleitung

Für die technische Beurteilung eines Objekts gilt es anhand von geplanten Untersuchungen die relevanten Parameter aufzunehmen und diese zu bewerten. Für das Erfassen der Parameter ist ein geeignetes Messsystem notwendig, das die Aufnahme reproduzierbarer Ergebnisse ermöglicht. Um die Reproduzierbarkeit zu garantieren, muss das Messsystem, die zu erfassenden Größen und die damit verbundene Vorgehensweise der Messung klar definiert sein.

Die zu untersuchenden Objekte in dieser Abschlussarbeit stellen Siebträger Espressoemaschinen dar. Die relevanten Parameter, die zur Beurteilung des Objektverhaltens benötigt werden, sind physikalische Größen. Ziel ist es, Temperaturen, Druck und Durchflussraten dieser Espressoemaschinen aufzunehmen. Die physikalischen Größen werden durch die im Messsystem integrierten Sensoren erfasst.

Da das Messsystem auf unterschiedliche Espressoemaschinen angewendet werden soll, muss es eine hohe Kompatibilität und einfache Adaptionmöglichkeiten bieten. Für das Messsystem ist die Art der Brühgruppe entscheidend, deshalb muss hier zwischen Espressoemaschinen mit und ohne E61 Brühgruppe unterschieden werden. Eine detaillierte Gegenüberstellung einer E61 Brühgruppe zu einer nicht E61 Brühgruppe ist in [1] zu finden. Es wird anhand der Brühgruppenart unterschieden, da Parameter wie Druck und Temperatur unter anderem an der Brühgruppe abgenommen werden.

## 1.1 Überblick des Messsystems

Das Messsystem hat zur Aufgabe die physikalischen Größen an den klar definierten Messstellen aufzunehmen und für die Bewertung zur Verfügung zu stellen. Anhand von geeigneten Sensoren findet die Erfassung der Messwerte statt. Übersichtlichkeitshalber wird in Abbildung 1 der Ausgangszustand des Messsystems mit den Sensoren dargestellt. Der Zustand des Messsystems zum 01.10.2021 wird als Ausgangszustand definiert.

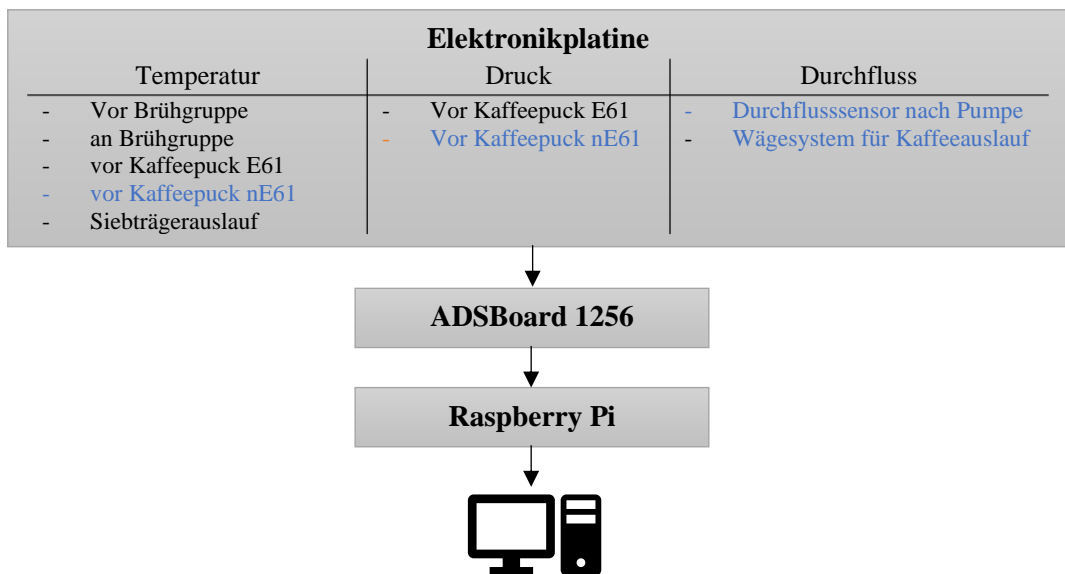


Abbildung 1: Überblick des Messsystems im Ausgangszustand

Abbildung 1 zeigt den systematischen Aufbau des Messsystems im Ausgangszustand. Das Messsystem basiert auf dem Raspberry Pi, welches über eine GUI gesteuert wird. Die Sensoren sind an der Platine angesteckt und das erfasste Signal wird an den AD-Wandler übertragen. Dort findet die Umwandlung vom Analogen ins Digitale statt. Anschließend werden die digitalen Daten über das Raspberry Pi an den PC übertragen. Hierbei sind die blau markierten Sensoren diejenigen, die zu dem Zeitpunkt nicht einwandfrei funktionieren bzw. noch nicht vollständig in das Messsystem integriert wurden. Die

übergebenen Messwerte sind am PC für den User verfügbar und können mit MATLAB® ausgewertet werden.

Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, ist die Sensorik des Messsystems in drei Arten gegliedert. Die erste Gruppe der Sensoren ist für die Aufnahme der Temperaturen zuständig. Die Temperaturen werden mithilfe von NTCs und einem IR-Sensor erfasst. Für die Beurteilung des Verhaltens der Espressomaschine ist es notwendig die Temperatur an verschiedenen Messstellen zu erfassen. Um dies zu ermöglichen, wurden die Messstellen vor der Brühgruppe, an der Brühgruppe, vor dem Kaffeepuck und am Siebträgerauslauf definiert. Da nur ein IR-Sensor verfügbar ist, muss abhängig vom Aufbau der Espressomaschine entschieden werden, wo dieser eingesetzt wird. Die vorgesehene Messstelle für den IR-Sensor ist die Temperatur an der Brühgruppe. Wird der IR-Sensor an der Brühgruppe eingesetzt, so muss die Temperatur vor der Brühgruppe mittels eines T-Adapters und einem NTC erfasst werden. Bislang wurde für die Probemessungen an der Lelit Mara X der IR-Sensor jedoch vor der Brühgruppe eingesetzt, da die Messung mittels eines NTCs an der Messstelle nicht umsetzbar war. Die zweite Art der Sensorik ist den Drucksensoren zugeschrieben. Zu dem Zeitpunkt ist der Drucksensor für Espressomaschinen mit E61 Brühgruppe im Messsystem integriert. Der Drucksensor für Espressomaschinen ohne E61 Brühgruppe ist geplant, aber noch nicht messbereit vorliegend. Die Messstelle des Drucksensors ist die gleiche wie die des NTCs vor dem Kaffeepuck. Das heißt, die Temperatur und der Druck an dieser Messstelle für E61 kann nicht parallel aufgenommen werden. Die dritte Gruppe der Sensorik befasst sich mit der Durchflussrate des Wassers bzw. mit der Ausflussmenge des Kaffees. Mittels eines eingebauten Durchflusssensors wird die Durchflussmenge und -geschwindigkeit ermittelt, die die Pumpe für den Bezug eines Kaffees fördert. Ein Wägesystem ist für die Messung der Ausflussmenge des Kaffees zuständig.

## 1.2 Aufgabenstellung

Das Messsystem hat zum Ziel, die Temperaturen, den Druck und die Durchflussraten von Siebträger Espressomaschinen mit und ohne E61 Brühgruppe aufzunehmen. Um dies zu realisieren, muss das aufgestellte Messsystem erweitert und angepasst werden. Das Messsystem weist zum Startzeitpunkt nur eine Kompatibilität für Espressomaschinen mit E61 Brühgruppe auf. Damit das Messsystem auch auf Espressomaschinen mit anderen Brühgruppen angewendet werden kann, muss es in der Mechanik und Elektronik um zwei weitere Sensoren erweitert werden. Die Sensoren für die Aufnahme der Temperatur und des Druckes vor dem Kaffeepuck müssen gefertigt und verkabelt werden. Da Espressomaschinen ohne E61 Brühgruppe nicht die Messstelle in Form einer Bohrung zur Brühgruppe vorweisen, muss hier ein Brühgruppenadapter konstruiert, gefertigt und eingesetzt werden. Die eben genannten zwei Sensoren werden ihre Messstellen im konstruierten Brühgruppenadapter haben.

Des Weiteren müssen die festgestellten Problematiken bei der Signalaufnahme und Weiterverarbeitung gelöst werden. Bei Probemessungen im vergangenen Semester wurden zwei große Problemstellen identifiziert, wie dem Dokument [2] zu entnehmen ist. Anhand eines NTCs wurde festgestellt, dass der Sensor kein eindeutiges Signal liefert. Das Signal ist mit einer Störfrequenz und einem Grundrauschen belegt, welche es zu eliminieren gilt. Ein weiteres Problem ist die unzuverlässige Generierung der Zeitstempel. Die Zeitstempel werden auf Basis des Signals vom Durchflusssensor erzeugt, um eine präzise Durchflussratenberechnung zu erzeugen. Da das Raspberry Pi nicht die Kapazitäten hat die Zeitstempel zuverlässig zu erzeugen, muss eine neue Lösung ausarbeitet werden.

Abschließend sind die Veränderungen am Messsystem an einer Siebträger Espressomaschine zu überprüfen.



## 2 Erweiterung des Messsystems für nicht E61

Wie unter 1.1 beschrieben, ist das Messsystem zu Beginn der Abschlussarbeit nur mit Espressomaschinen kompatibel, die mit einer E61 Brühgruppe ausgestattet sind. Bei diesen Espressomaschinen ist die E61 Brühgruppe (1) an der Vorderseite montiert, wie im linken Bild von Abbildung 2 zu sehen. Die von außen sichtbare Brühgruppe ist mit einer Bohrung versehen. Die Bohrung führt zum Wasserkanal, in den das Wasser nach der Betätigung des Hebels für den Kaffeewasserbezug fließt. Durch die Bohrung gelingt es, die Temperatur und den Druck des Wassers aufzunehmen, das zu dem Kaffeepuck geleitet wird. Zur Veranschaulichung wird die Position der Messstelle in Abbildung 2 dargestellt.

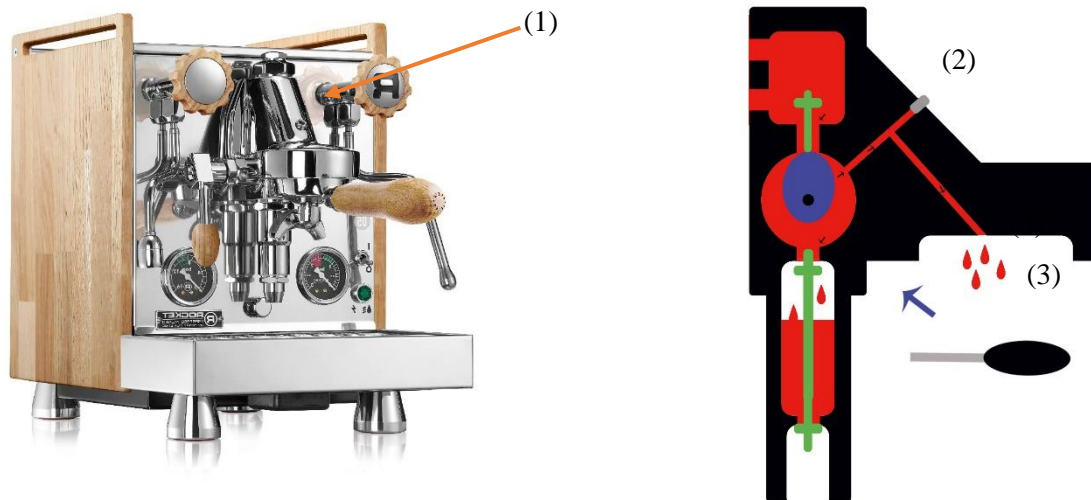


Abbildung 2: links: Espressomaschine mit E61 Brühgruppe - rechts: E61 im Querschnitt während Kaffeebezug

Abbildung 2 zeigt eine E61 Espressomaschine in zwei Ansichten. Die rechte Graphik stellt den Querschnitt der Brühgruppe in der Seitenansicht während des Kaffeebezugs dar. Die rote Farbe kennzeichnet hierbei das erhitzte Wasser, das zum Kaffeepuck (3) geführt wird. Die angedachte Bohrung für die Messung von Temperatur und Druck während des Kaffeebezugs, befindet sich bei (2). Die Bohrung ist, wie auch hier durch den grauen Stöpsel dargestellt, druckdicht verschlossen.

Für Espressomaschinen mit Brühgruppe aus Abbildung 2 ist der Temperatur- und Drucksensor für das Messsystem bereits vorhanden. Die Messstelle ist sowohl für den Druck- als auch für den Temperatursensor definiert. Da die Sensoren nicht gleichzeitig in die Bohrung eingesetzt werden können, ist eine parallele Aufnahme der Parameter Druck und Temperatur vor dem Kaffeepuck nicht möglich.

Nicht E61 Espressomaschinen haben keine Brühgruppe an der Vorderseite montiert und somit steht auch keine Messstelle für die Druck- und Temperaturnahme zur Verfügung. Daher ist hier ein Adapter notwendig. Es wird ein Brühgruppenadapter konstruiert, der die Temperatur- und Druckaufnahme bei Espressomaschinen ohne E61 Brühgruppe ermöglicht. Der Brühgruppenadapter wird so gestaltet, dass der Nachteil der Bohrung umgangen wird. Durch die Eigenkonstruktion des Adapters bekommt der Druck- und der Temperatursensor jeweils eine eigene Messstelle, womit die gleichzeitige Erfassung der physikalischen Größen realisiert wird.

### 2.1 Brühgruppenadapter

Der Brühgruppenadapter besteht insgesamt aus zwei Teilen, dem Kunststoffadapter und der zweiten Brühgruppe. Für beide Bauteile ist die Grundidee der Umsetzung vorhanden und ist [1] zu entnehmen. Da die Konstruktionsteile zu Beginn des Projekts nur als STEP-Datei zur Verfügung standen, mussten

diese für Anpassungen neu nachkonstruiert werden. Beim Nachkonstruieren wurden Veränderungen vorgenommen, um die Bauteile zu optimieren. In Abbildung 3 wird der Aufbau des adaptierten Brühgruppenadapters dargestellt, wie es für das Messen der Parameter bei nicht E61 Espressomaschinen geplant ist.

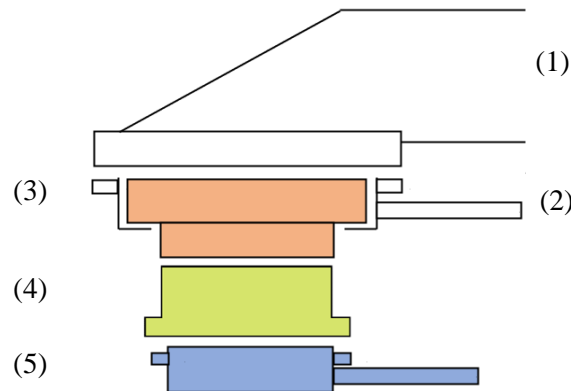


Abbildung 3: Skizze des zusammengesetzten Brühgruppenadapters [1]

Die Espressomaschine ohne E61 Brühgruppe (1) hat ihren bodenlosen Siebträger (2) in der Siebträgeraufnahme. In den bodenlosen Siebträger wird ein 14 g Sieb eingesetzt. Das Sieb muss mit einer Aussparung mit einem Durchmesser von 48 mm bearbeitet werden. In das Sieb des bodenlosen Siebträgers wird der Kunststoffeinsatz (3) eingelegt. Durch drei Schraubverbindungen wird die zweite Brühgruppe an den Kunststoffeinsatz adaptiert. Die zweite Brühgruppe (4) stellt jeweils eine Messstelle für die Temperatur und den Drucksensor zur Verfügung. Für die realitätsgetreue Druckmessung muss in die Siebträgeraufnahme der zweiten Brühgruppe ein Siebträger mit einem 14 g Sieb eingesetzt werden.

### 2.1.1 Kunststoffeinsatz

Wie in Abbildung 3 dargestellt, wird der Kunststoffeinsatz für die Adaption der zweiten Brühgruppe an die nE61 Espressomaschine benötigt. Die Größe und Form des Kunststoffeinsatzes sind abhängig von dem Siebträger der nE61 Espressomaschine. Neben der Siebträgermaschine *Gaggia TE* im Labor konnte durch Rücksprache festgestellt werden, welche weiteren Espressomaschinen einer Vergleichsmessung unterzogen werden sollen [3]. Für die aufgelisteten Siebträgermaschinen muss abgeklärt werden, ob diese E61 kompatibel sind. Zeigen sie keine Kompatibilität mit E61 Siebträgern auf, so muss weiter überprüft werden, welche Maße der nE61 Siebträger hat. Von den sieben aufgelisteten Espressomaschinen zeigt nur das Modell *Mina* der Firma *DALLA CORTE S.R.L* keine E61 Kompatibilität auf. Aus dem Grund müssen Kunststoffeinsätze für die Gaggia TE und die Dalla Corte Mina konstruiert und gefertigt werden.

### Adapter für Gaggia TE

Wie schon erwähnt, ist die Grundidee der Konstruktion bereits vorhanden. Das Bauteil ist aus PA12 und wird mit dem MultiJet Fusion 3D-Druck hergestellt. Beim Drucken wird PA12 auf Puderbasis verwendet und es entstehen Fertigungstoleranzen von  $\pm 0,3$  mm, welche bei der Nachkonstruktion mitberücksichtigt werden müssen.



Abbildung 4: Kunststoffeinsetz für die Gaggia TE

Abbildung 4 zeigt den Einsatz für die Gaggia TE. Dieser passt in alle Siebe eines Siebträgers, die zylindrisch ausgeführt sind und einen Durchmesser von 58,7 mm vorweisen. Durch die Bohrung in der Mitte des Kunststoffteils fließt das Wasser der Espressomaschine. Die Ringnut an der Unterseite ist für einen O-Ring vorgesehen. Hier wird ein O-Ring mit einem Innendurchmesser von 20 mm und einer Schnurbreite von 1,5 mm verwendet [Anhang 1], der als Dichtung fungiert. Die Bohrungen am Boden des Adapters sind für Stift- und Schraubverbindungen vorgesehen. Auf die Verbindungen wird in 2.1.3 genauer eingegangen.

#### Adapter für Dalla Corte Mina

Die Dalla Corte Mina ist eine nE61 Espressomaschine, die einen kleineren Siebträger verwendet als die Gaggia TE. Hierfür wurde ein Siebträger mit einem Sieb von DVG bestellt.



Abbildung 5: Siebträger für Dalla Corte Mina mit Sieb

Laut Herstellerangaben von DVG passen die Bauteile zusammen und sind mit der Dalla Corte Mina kompatibel. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, passt das Sieb nicht in den Siebträger. Es muss ein neuer Siebträger bzw. ein passendes Sieb bestellt werden. Die Höhe des Kunststoffeinsetzes ist beim Bestellen des Siebes zu beachten. Es sollte ein Sieb für einen doppelten Kaffee bestellt werden.

Der Kunststoffadapter ist prinzipiell gleich konstruiert worden wie der Adapter für die Gaggia TE. Die beiden Einsätze unterscheiden sich allein im Außendurchmesser und in der Höhe. Abbildung 6 zeigt den Einsatz für die Dalla Corte Mina in verschiedenen Perspektiven und Ansichten.

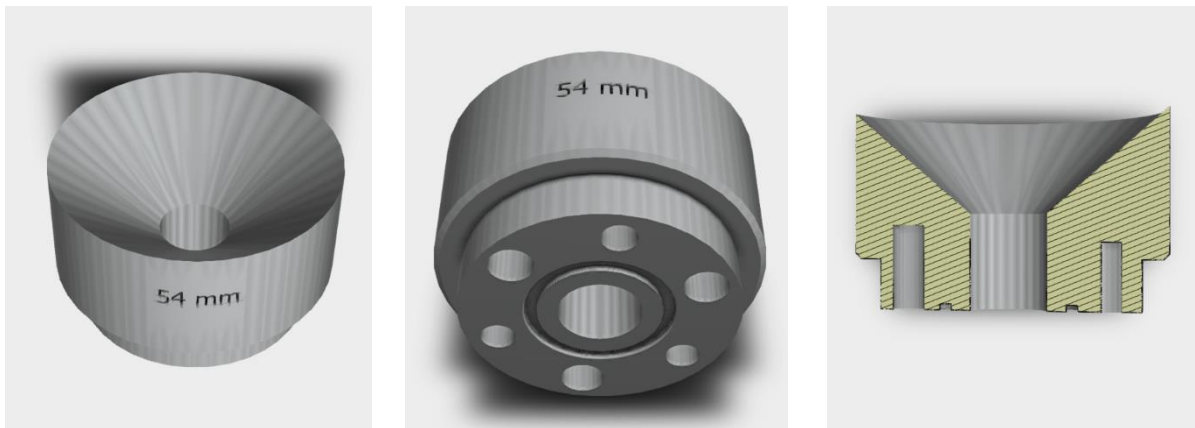


Abbildung 6: Kunststoffeinsatz für die Dalla Corte Mina

Es wird in ein zylindrisches Sieb eines Siebträgers eingesetzt, welches 14 g bzw. Kaffee für zwei Tassen aufnehmen kann. Das Sieb, das für die Dalla Corte Mina gebraucht wird, misst einen Durchmesser von 54 mm und eine Höhe von 26 mm. Sowohl für die Bohrungen am Boden des Einsatzes als auch für der O-Ring werden die gleichen Elemente wie bei dem vorherigen Kunststoffeinsatz verwendet. Der Einsatz wird ebenfalls auf PA12 mit dem 3D-Druckverfahren gefertigt.

### 2.1.2 Zweite Brühgruppe

Für die zweite Brühgruppe ist ebenfalls eine Konstruktion vorhanden und ist [1] zu entnehmen. Da auch hier das Konstruktionsteil nur als STEP-Datei zu Verfügung steht, musste dieses nachkonstruiert werden. Bei der Nachkonstruktion wurden Veränderungen vorgenommen. Die zweite Brühgruppe fungiert als Messadapter, um die Temperatur sowie den Druck vor dem Kaffeepuck erfassen zu können. Die Messstellen erfordern Zugang zum Wasserkanal, um die Parameter messen zu können.

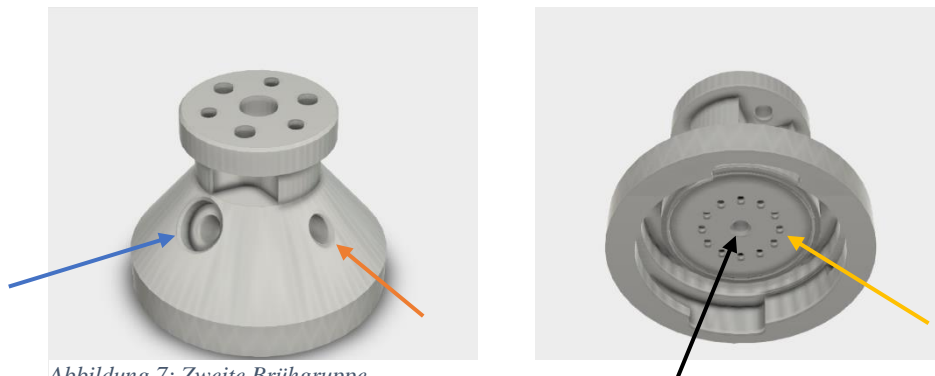


Abbildung 7: Zweite Brühgruppe

In Abbildung 7 wird die zweite Brühgruppe aus verschiedenen Perspektiven dargestellt. Im linken Bild sind die zwei Messstellen der Sensoren zu sehen. Der blaue Pfeil markiert hierbei die Stelle, an der der Drucksensor eingeklebt wird. Die mit dem orangefenem Pfeil markierte Bohrung ist für den Temperatursensor in seinem Messadapter vorgesehen, welche um 90° versetzt zur Druck-Messstelle liegt. Das zweite Bild zeigt die Unterseite der zweiten Brühgruppe. Es sind die Bohrungen zu erkennen, durch die der Kaffee läuft (gelber Pfeil). Auf die Fläche mit den Bohrungen wird eine Dusche angebracht und mithilfe einer M5 Schraube in der Mitte verschraubt.

Für das Messen der Temperatur und des Druckes vor dem Kaffeepuck ist es erforderlich, dass die Sensoren direkt am Wasserkanal andocken. In Abbildung 7 sind die Messstellen nur von außen dargestellt. In der folgenden Abbildung ist die zweite Brühgruppe in zwei Schnittansichten dargestellt – jeweils durch den Mittelpunkt der Messstelle der Sensoren.

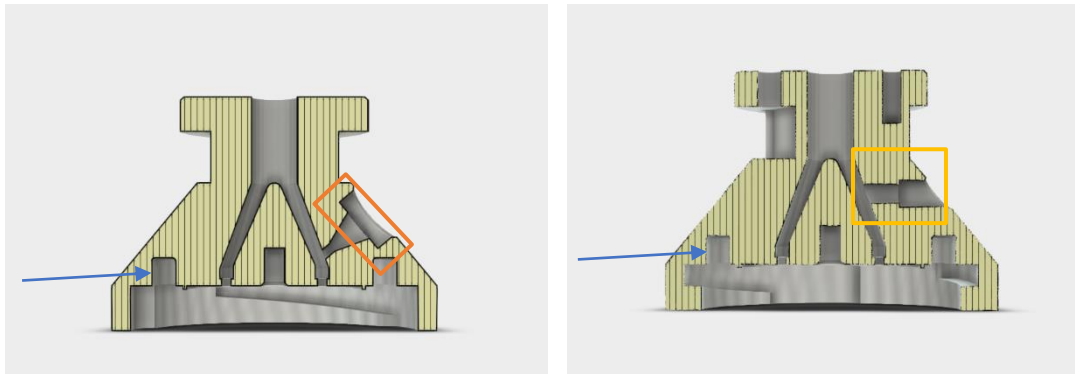


Abbildung 8: Schnittdarstellung für Integration der Sensoren - links: Drucksensor - rechts: Temperatursensor

Die linke Darstellung zeigt den Querschnitt der zweiten Brühgruppe durch die Messstelle des Drucksensors. Der Sensor wird hier ohne Adapter direkt in die orange markierte Stelle eingeklebt. Ursprünglich sollte der Drucksensor in einen Messadapter eingeklebt werden, welcher in die zweite Brühgruppe montiert wird [1]. Durch den Einsatz eines Messadapters muss das Bauteil höher konstruiert werden. Ziel ist es, das Bauteil so kompakt wie möglich zu gestalten, so dass unter die Brühgruppenerweiterung noch ein Wägesystem Platz hat, das den Kaffeeausfluss misst. Abhängig von der Konstruktion des Wägesystems und der zweiten Brühgruppe kann im Optimalfall eine gleichzeitige Erfassung des Druckes, der Temperatur und des Ausflusses gewährleistet werden. Aus Optimierungsgründen wurde die Idee des Messadapters für den Drucksensor verworfen und die Höhe der zweiten Brühgruppe konnte bei der Neukonstruktion um 50 mm verringert werden. Die rechte Graphik von Abbildung 7 zeigt die Messstelle des Temperatursensors vor dem Kaffeepuck. Die Fertigung des Temperatursensors wird detaillierter in 2.2.1 beschrieben. Der Messadapter des Temperatursensors wird mit dem NTC in die gelb markierte Bohrung eingesetzt. In das schmale Stück der Bohrung, das zum Wasserkanal führt, wird ein M5 Gewindeeinsatz von Kerb Konus verwendet [Anhang 2].

Weiter ist in beiden Schnittansichten die blau markierte Nut für die E61 Brühgruppendichtung zu erkennen. Am unteren Ende der zweiten Brühgruppe wird ein E61 Siebträger in die Siebträgeraufnahme eingesetzt. Hier wird ein Siebträger verwendet, der ein NTC integriert hat, um die Temperatur des Kaffeeausflusses zu erfassen [2].

### 2.1.3 Verbindung der Elemente

Zur Befestigung der zweiten Brühgruppe an dem Kunststoffeinsatz bedarf es an Verbindungselementen zwischen den Bauteilen. Für die Verbindung der 3D-Druckteile sind Schraub- und Stiftverbindungen vorgesehen. Die zweite Brühgruppe wird mit drei Schraubverbindungen an den Kunststoffeinsatz geschraubt, der im nE61 Siebträger liegt. Hierfür werden drei M6x20 Außensechskantschrauben verwendet.

Beim Einsetzen des E61 Siebträgers an der Unterseite der zweiten Brühgruppe entsteht Torsion, die in Form von Querkräften auf die Schrauben übertragen wird. Schraubverbindungen sind nicht für die Aufnahme von Querkräften geeignet. Daher wurden Stiftverbindungen ausgelegt, die die Aufnahme der Querkräfte übernehmen. In einer Auslegungsrechnung für drei Zylinderstifte 06x24 wurde gezeigt, dass diese ausreichend für die auftretenden Querbelastungen sind. Aus Gründen der Verfügbarkeit werden drei Zylinderstifte 06x30 verwendet [4].

## 2.2 Integration der Sensorik für nicht E61

Die Erweiterung des Messsystems ist nicht nur auf Konstruktionsebene durchzuführen, sondern auch in der Sensorik. Es bedarf die Integration zwei weiterer Sensoren, die für die Messstellen an Espressomaschinen ohne E61 Brühgruppe definiert sind. Hierzu benötigt es die Fertigung bzw.

Vorbereitung eines Temperatursensors und eines Drucksensors. Die Vorgehensweise der Fertigung bzw. der Integration in das Messsystem wird in diesem Abschnitt beschrieben.

### 2.2.1 Temperatursensor

Für die Erfassung der Temperatur an der Messstelle vor dem Kaffeepuck, muss ein Temperatursensor mit einem Messadapter in die zweite Brühgruppe eingesetzt werden. Als Sensor wird ein NTC verwendet.

Um den NTC in die zweite Brühgruppe einsetzen zu können, benötigt dieser etwas Vorbereitung. Der NTC ist ein sehr empfindlicher Sensor, der aus zwei Drähten und dem Sensorkopf besteht. Da der Sensor in dem Zustand nicht verbaut werden kann, muss dieser mit einem Messadapter geschützt werden. In Abbildung 9 ist der Messadapter im finalen Konstruktionsstand zu sehen.

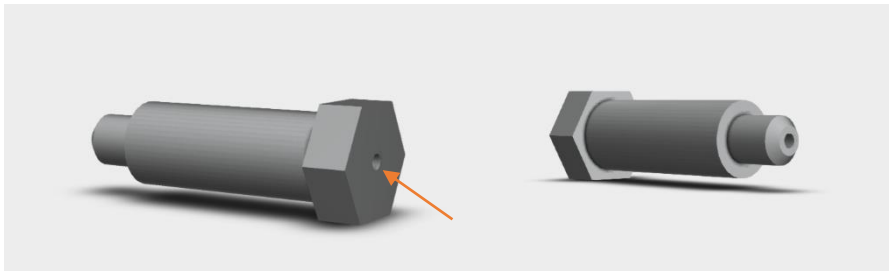


Abbildung 9: Messadapter für NTC vor Kaffeepuck (nE61)

Der Messadapter aus Aluminium [Anhang 3] wurde in der Werkstatt der Hochschule München gefertigt. Nach Fertigung des Messadapters ist aufgefallen, dass die Bohrung an der Stirnseite (orange markiert) eine Senkung benötigt, um darin die Drähte des NTCs aufzuwickeln und zu verstecken. Die Vorgehensweise für die Fertigung des Sensors ist [2] zu entnehmen.

Nach dem Verbinden des NTCs mit den Messingrohren und des Messadapters musste sichergestellt werden, dass der Sensor funktioniert. Es ist bekannt, dass der NTC mit einem Nennwiderstand von 10 k $\Omega$  misst. Beim Überprüfen der Funktionalität mit einem Multimeter müssen folglich auch etwa 10 k $\Omega$  nachgewiesen werden. Die Klemmen des Multimeters wurden an jeweils einen Pin des Steckers gehalten und es erschien der Wert zur Bestätigung der Funktionalität des Sensors. Der Sensor ist somit messbereit und für die ausstehende Kalibrierung vorbereitet.

### 2.2.2 Drucksensor

Für das Erfassen des Drucks vor dem Kaffeepuck für nE61 Espressomaschinen wird ein Drucksensor der Firma B+B Sensors verwendet. Bei dem Sensor handelt es sich um den Gleichen wie der für das Messen des Drucks bei E61 Espressomaschinen.

Wie in 2.1.2 erwähnt, wird der Drucksensor für nE61 Sensorik direkt in die zweite Brühgruppe verklebt und bedarf somit keinen Messadapter wie der Drucksensor für E61 Espressomaschinen. Bevor geklebt werden kann, muss mit einer Rechnung überprüft werden, ob die Klebeverbindung zwischen dem Drucksensor und der zweiten Brühgruppe den maximal auftretenden Druck von 20 bar aushält. Anhand der Abbildung 10 werden die Bedingungen der Klebeverbindungen erläutert.



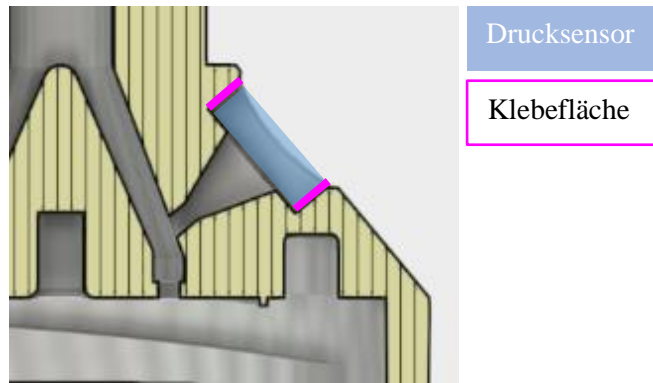


Abbildung 10: Darstellung Klebefläche

Für die Berechnung muss mit dem maximal auftretenden Druck von 20 bar gerechnet werden. Die Kraft  $F$ , die dann auf die gesamte Fläche  $A$  des Drucksensors wirkt, errechnet sich mit (1).

$$F = p \cdot A = 508,9 \text{ N}$$

$$p = 20 \text{ bar} = 0,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d_A^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (18 \text{ mm})^2$$

Der Druck von 20 bar verrichtet auf die gesamte Fläche des Drucksensors eine Kraft von knapp 509 Newton. Wie der Skizze in Abbildung 10 zu entnehmen ist, ist die Klebefläche die äußere Mantelfläche des Sensors.

$$\tau_K = \frac{F}{A_{\text{Mantel}}} = 1,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A_{\text{Mantel}} = \pi \cdot d_A \cdot h$$

$$h = 6,35 \text{ mm}$$

Mit dem Zusammenhang (2) ergibt sich die Scherspannung  $\tau_K$  innerhalb der Klebeverbindung, die bei einem maximalen Druck von 20 bar entsteht. Mithilfe dieser Größe wird ein passender Klebstoff ausgesucht. Der im Labor verfügbare Klebstoff *Loctite EA 9466* hat laut Datenblatt ein  $\tau_{KB} = 1,6 \text{ N/mm}^2$  für PA6. Da keine spezifischen Informationen für PA12 im Datenblatt stehen, wird der Wert für PA6 als Vergleichswert hergenommen [Anhang 5].

$$\tau_{KB_{\text{Loctite}}} = 1,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad \tau_K = 1,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Rightarrow \tau_{KB_{\text{Loctite}}} > \tau_K$$

Die durch den Druck im Klebstoff verursachte Scherspannung ist kleiner als die im Datenblatt maximale Scherspannung des Klebstoffs im ausgehärteten Zustand für PA6. Aus (3) ist zu sehen, dass die im Datenblatt maximal angegebene Scherspannung des Klebstoffes nur knapp größer ist als die auftretende Scherspannung bei einem Druck von 20 bar. Der maximale Druck tritt direkt an der Berührstelle des Drucksensors auf. Aus Abbildung 8 ist zu erkennen, dass der im Wasserkanal auftretende Druck nicht direkt auf die Mantelfläche wirkt, sondern vorerst auf die nicht verklebte freie Fläche des Drucksensors trifft. Bis der Druck zur Mantelfläche des Sensors verteilt ist, liegen dort keine 20 bar, sondern etwa 9 bis 12 bar an. Die Rechnung mit 20 bar ist der absolute Grenzfall und die eigentlich auftretende

Scherspannung in der Klebeverbindung ist geringer als das errechnete  $\tau_K$ . Anhand dieser Feststellung wird der Klebstoff Loctite EA 9466 für das Einkleben des Drucksensors verwendet.

### **2.3 Nachbearbeitung der Kunststoffteile**

Die Kunststoffeinsätze und die zweite Brühgruppe sind mit dem 3D-Druckverfahren gefertigt worden. Durch das Herstellungsverfahren entstehen Maßabweichungen mit einer Toleranz von  $\pm 0,3$  mm. Nach Ankunft der Bauteile ist aufgefallen, dass bei den Bohrungen eine höhere Maßabweichung vorliegt. Es müssen sowohl in die Kunststoffeinsätze als auch in die zweite Brühgruppe Gewindeeinsätze eingeschraubt werden. Dies ist aufgrund zu kleiner Bohrungen nicht möglich. Die Bohrungen für M6 Gewindeeinsätze und für die Stifte müssen aufgebohrt werden.

Weiter ist der Hohlraum der zweiten Brühgruppe mit dem Pulver des Multi FusionJets gefüllt. Durch das Pulver sind die Ausflussbohrungen, die zur Dusche führen, verstopft und es kann kein Wasser durchfließen. Hier müssen die Bohrungen auf der Unterseite befreit werden, damit das Wasser problemlos durchlaufen kann.

Das Einkleben bzw. das Einsetzen der Sensoren in die zweite Brühgruppe ist nicht möglich, da die Bohrungen zu klein ausgefallen sind. Die angegebene Toleranz wurde um mehr als  $-0,3$  mm überschritten und die Sensoren passen dadurch nicht mehr hinein. Die Bohrung für den Drucksensor liegt auf einer schiefen Ebene. Für das Nachbearbeiten dieser Bohrung ist ein Fräser notwendig, welcher aufgrund des Umzugs der Fakultätswerkstatt nicht zur Verfügung steht.



### 3 Verwendung neuer Messelektronik

Um die Vorgehensweise der Problemlösung nachvollziehbar zu dokumentieren, wird zunächst der Ausgangszustand mit seinen Problemstellen erläutert. Der Aufbau der Messelektronik zum Startzeitpunkt der Abschlussarbeit ist in Abbildung 11 dargestellt.

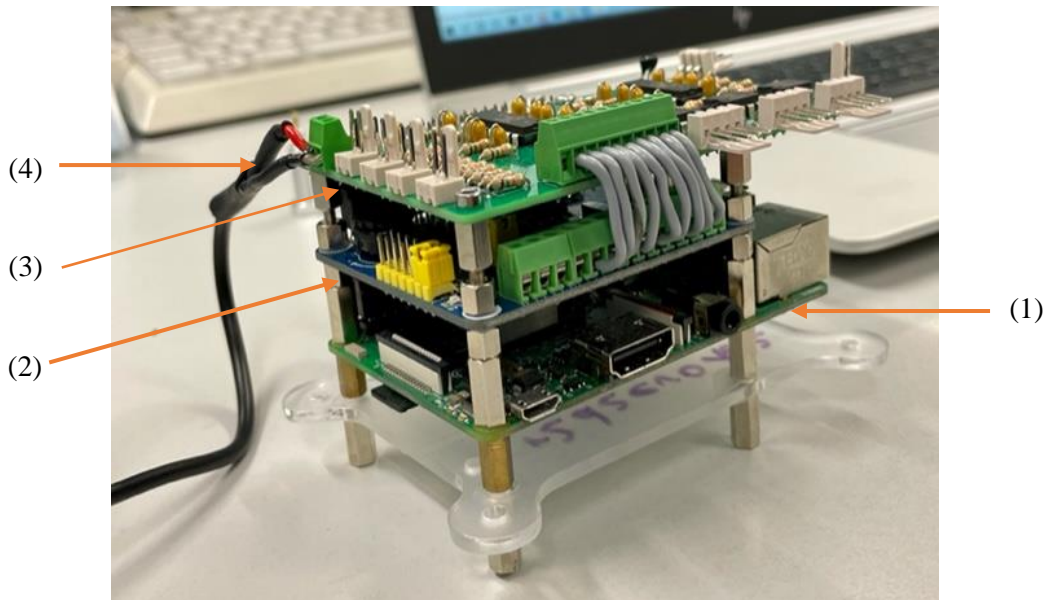


Abbildung 11: Ausgangszustand der Messelektronik

Wie der Abbildung 11 zu entnehmen ist, basiert das Messsystem auf dem Raspberry Pi (1). Dieses wurde mit einem ADS Board (2) über den 40-Pin GPIO verbunden. Das ADS Board ist über den 40-Pin GPIO mit einer Elektronikplatine verbunden, welche die Anbindung zu den einzelnen Sensoren in Form von Steckeranschlüssen ermöglicht. Da im Messsystem unter anderem analoge Sensoren eingesetzt werden, muss ein A/D Wandler integriert sein. Der A/D Wandler hat die Aufgabe, die analogen Messsignale der Sensoren in digitales Signal umzuwandeln. Im Messsystem wird zur Umwandlung von analog zu digital das ADSBoard 1256 eingesetzt. Durch die grauen Kabel wird das analog gemessene Signal von den Sensoren an das ADSBoard weitergeleitet und in digital konvertiert. Anschließend kann das digitale Signal auf dem Raspberry Pi bzw. auf dem PC weiterverarbeitet werden. Das Kabel, das an der Elektronikplatine angeschlossen ist (4), versorgt das dargestellte System mit Strom.

Durch Probemessungen konnte festgestellt werden, dass beim Messen der Temperatur mit einem NTC Sensor eine Störfrequenz von 50 Hz in Form eines Sinussignals auftritt. Mit einer Fouriertransformation konnte das Signal analysiert werden und auf ein Masseproblem im Messsystem zurückgeführt werden. Weiter ist die Erzeugung von Zeitstempeln beim Signal des Durchflusssensors durch die eingeschränkten Kapazitäten des Raspberry Pis gescheitert [2]. Zur Behebung der Problemstellen wurde beschlossen eine Lösung unter Verwendung von HATs zu erarbeiten.

#### 3.1 Physikalische Erweiterung der Messelektronik

Für die Lösung werden drei HATs mit der Bezeichnung MCC 128 von Measuring Computing verwendet [Anhang 4]. Ein MCC 128 ist eine Platine mit maximal vier Differential Kanälen und einer Abtastrate von maximal 100 kS/s. Da die 50 Hz Störfrequenz durch ein Masseproblem begründet ist, wurde entschieden über DIFF statt Single End zu messen. Im Messsystem sind insgesamt neun Sensoren inklusive dem Wägesystem geplant, weshalb beschlossen wurde drei MCC 128 zu verwenden. Da beim Messen einer Siebträger Espressomaschine jeweils eine E61 bzw. eine nE61 Brühgruppe vorliegt, reduziert sich die Anzahl gleichzeitig verwendeter Sensoren von neun auf sieben.

Für die Verwendung der HATs muss das ADSBoard 1256 und die Elektronikplatine vom Raspberry Pi entfernt werden. Anschließend werden die drei HATs nacheinander auf dem Raspberry Pi gestapelt und sind jeweils über den 40-Pin GPIO miteinander verbunden. Für das Messen mit den HATs wird kein zusätzlicher A/D Wandler benötigt, da die Umwandlung vom Analogen ins Digitale innerhalb eines HAT stattfindet. Für die Unterscheidung der HATs im Programmcode müssen diese mit Hilfe von Jumpern adressiert werden.

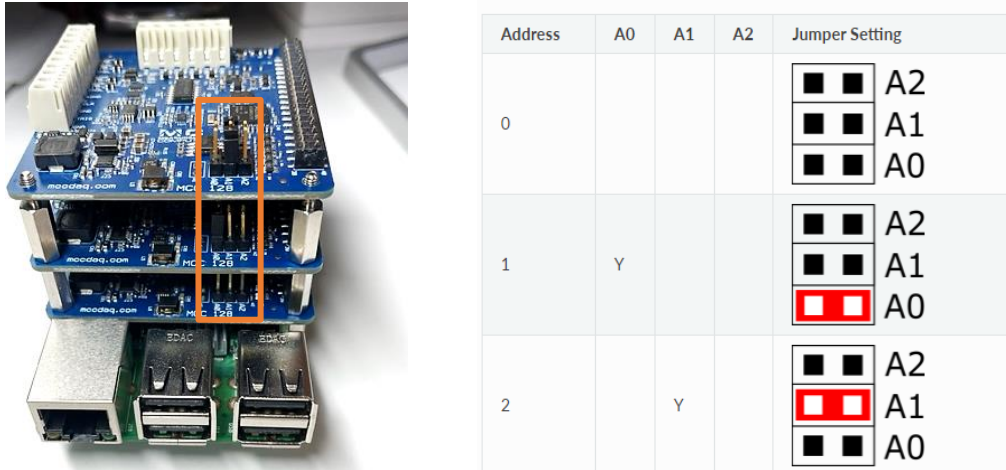


Abbildung 12: Adressierung der HATs mit Jumper

Jedes HAT besitzt drei Stecker mit den Bezeichnungen „A0, A1, A2“, womit maximal acht HATs adressiert werden können ( $2^3 = 8$ ). Das unterste MCC 128 hat die Adresse 0 und besitzt somit keinen Jumper. Dem nächsten HAT wird die Adresse 1 zugeschrieben und es wird ein Jumper auf die zwei Pins für „A0“ gesetzt. Analog das Aufsetzen des Jumpers für das oberste HAT mit der Adresse 2. Durch die Adressierung ergeben sich die selbstgewählten Bezeichnungen MCC\_0, MCC\_1, und MCC\_2. Die Adressierung wird auch in der GUI verwendet, um die Kanäle zu identifizieren. Jedes HAT besitzt beim Messen über DIFF vier Kanäle: CH0, CH1, CH2, CH3. Für die Unterscheidung wird die Adressierung der MCCs vorne angefügt, also CH02 für den Channel 2 auf dem HAT mit der Adresse 0.

Wird die Anzahl der HATs verändert, so muss im Terminal über SSH mit dem Raspberry Pi verbunden werden und anschließend `sudo daqhats_read_eeproms` eingegeben werden, damit die Anzahl aktualisiert wird. Mit `daqhats_list_boards` werden die aktiven HATs mit der dazugehörigen Adresse angezeigt.

### 3.2 Anschlussplan an die MCC Channels

Die Sensoren werden an einer Platine angesteckt. Jeder Sensor hat auf der Platine zwei Ausgänge, die mit den Kanälen der jeweiligen HATs verbunden werden. Da über DIFF gemessen wird, muss ein Kabel des Ausgangs mit CHxH und das andere mit CHxL verbunden werden mit  $x = 0,1,2,3$  pro HAT. Die Weiterverarbeitung der Messdaten ist abhängig von der physikalischen Größe, in die sie umgewandelt werden. Aus dem Grund wird ein fester Anschlussplan der Sensoren mit den HATs definiert.

	$T_{anBG}$ (IR Sensor)	$T_{vBG}$ (NTC)	$T_{vKP}$ (NTC)	$T_{Austauf}$ (NTC)	$p_{vKP}$	Waage	Flowmeter
HAT	0				1		2
Kanal	0	1	2	3	0	1	0
Bezeichnung	CH00	CH01	CH02	CH03	CH10	CH11	CH20

Tabelle 1: Zuweisung Sensoren an HAT Kanäle

In Tabelle 1 ist der Anschlussplan für die Sensoren zu sehen. Die Zeile MCC enthält die Adressen der HATs, während die zweite Zeile die einzelnen Kanäle zeigt. Mit der bereits erklärten Nomenklatur wird sieben Sensoren ein fester Platz an den HATs zugewiesen. Es ist zu erkennen, dass in der Tabelle nicht unterschieden wird zwischen E61 und nE61 Sensoren. Dies betrifft den Sensor für die Temperatur vor dem Kaffeepuck und Druck vor dem Kaffeepuck. Die Sensoren für E61 bzw. nE61 sind vom gleichen Typ. Bei dem zu messenden Prüfobjekt liegt entweder eine E61 Brühgruppe vor oder eine Brühgruppe anderer Art. Die Sensoren sind nie gleichzeitig im Einsatz, daher ist das Teilen eines Kanals möglich.

## 4 Konfiguration neuer Messprozesse

Durch die Verwendung neuer Messelektronik hat sich die Vorgehensweise bei der Messdatenerfassung und Messdatenweiterverarbeitung geändert. Die Prozesse der SHOT und CUSTOM Messung müssen auf die Verwendung der MCCs angepasst werden. Die Prozesse umfassen aktualisierte MATLAB® GUI Strukturen als auch neue Python Skripte auf dem Raspberry Pi, die für die Aufnahme von Messwerten zuständig sind.

Die HATs sind über Python Skripte konfiguriert, welche in MATLAB® aufgerufen werden. Aufgrund unterschiedlicher Messvorgehen, muss für die SHOT und die CUSTOM Messung jeweils ein Skript geschrieben werden. Bei der SHOT Messung besteht die Möglichkeit, die Durchflussrate zu erfassen, während die CUSTOM Messung ohne Durchflusssensor definiert ist. Für das Flowmeter muss ein Zeitsignal aufgenommen und anschließend nach Beenden der Messung weiterverarbeitet werden. Die Weiterverarbeitung für die Durchflussrate kann erst stattfinden, wenn das vollständige Signal an MATLAB® übertragen wurde. Aus dem Grund unterscheidet sich die SHOT Messung von der CUSTOM dahingehend, dass die Daten als ganzer Block nach Beenden der Messung an MATLAB® überliefert werden. Die CUSTOM Messung hingegen importiert die Messwerte direkt nach dem Erfassen.

Im folgenden Abschnitt wird zuerst auf den Ablaufprozess in der GUI eingegangen für die jeweilige Messart, um einen Überblick zu verschaffen. Anschließend wird der in der GUI aufgerufene Python Code schematisch erläutert mit Flowcharts. In den Flowcharts stehen die orangenen Felder für eine Funktion, die aufgerufen wird, gelbe Felder für den Start bzw. das Ende einer Funktion und blaue Felder für Bedingungen.

### 4.1 CUSTOM Messung

Die CUSTOM Messung wird zum Erfassen des Aufheizprozesses genutzt. Mit der Messung sollen die Temperaturen an unterschiedlichen Stellen und der Druck der Espressomaschine beobachtet werden. Da die Aufheizzeit bei den Espressomaschinen variiert, muss die Messung manuell gestartet und beendet werden. Der User entscheidet, in welchem Zeitabstand die Messwerte aufgenommen werden. Es bietet sich hier an einen größeren Zeitabstand herzunehmen, da das Aufheizen teilweise von langer Dauer ist.

#### 4.1.1 MATLAB® GUI

Die CUSTOM Messung arbeitet mit der Timer-Function. Der Zeitabstand der Messwerte regelt die Häufigkeit des Ausführens der TimerFcn. Die TimerFcn wird so lange ausgeführt, bis die Messung manuell gestoppt wird.

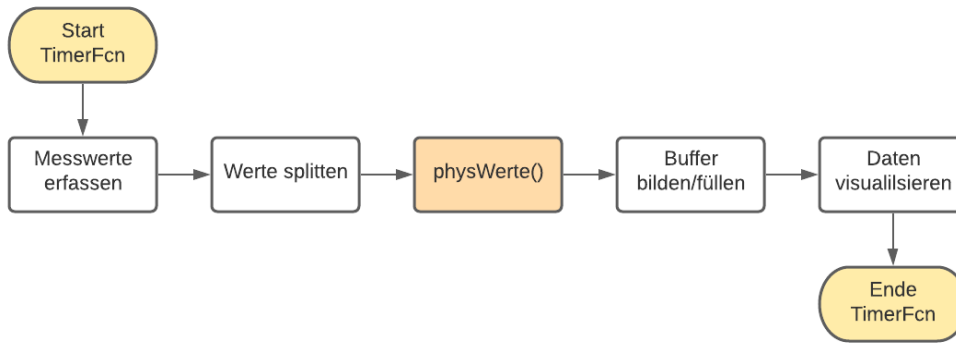


Abbildung 13: Schematischer Ablauf der TimerFcn

Beim Durchlaufen der TimerFcn werden die Messwerte von den HATs geholt. Beim Aufrufen des Skriptes wird die Anzahl der Messwerte pro Kanal angegeben.

```
data = system(app.rpi, '/home/pi/daqhats/examples/python/mcc128/multi_custom.py 10');
```

Mit der Zahl am Ende des Aufrufes bestimmt die Variable im Python Skript *samples\_to\_read*. Auf das Verhalten der Variable wird bei der Erläuterung des Python Skriptes eingegangen. Die Messwerte werden im Skript gemittelt und in folgender Form an MATLAB® übergeben.

```
"timestamp; ch00; ch01; ch02; ch03; ch10; ch11;"
```

Es liegt ein String vor, der aufgesplittet und in Zahlen umformatiert werden muss. Aus einem String entsteht eine Variable *messdaten* mit einer Zeile und 7 Spalten. Die Variable wird an die Funktion *physWerte* übertragen. Dort findet eine Umwandlung der Spannungswerte in die physikalischen Größen anhand von Kalibrierkurven statt. Die Funktion gibt eine neue Variable *wert* aus, ebenfalls bestehend aus einer Zeile mit 7 Spalten. Die umgewandelten Werte werden einem Buffer hinzugefügt und die Messdauer wird anhand des Zeitstempels errechnet. Die im Buffer gespeicherten Daten werden für die graphische Darstellung benötigt.

Nach manuellem Stoppen der Messung können die Messdaten abgespeichert werden. Hierzu werden die Werte aus dem Buffer in einem MATLAB® struct mit der Bezeichnung *messung* gespeichert. Die gespeicherten Daten sind im aktiven Ordner unter dem generierten Dateinamen zu finden.

#### 4.1.2 Python Skript der CUSTOM Messung

Für die CUSTOM Messung wurde ein Python Skript *multi\_custom.py* geschrieben, dass auf der Vorgehensweise des Beispielskriptes *multi\_hat\_synchronous\_scan.py* basiert. Beide Skripte sind im Raspberry Verzeichnis */home/pi/daqhats/examples/python/mcc128/* zu finden.

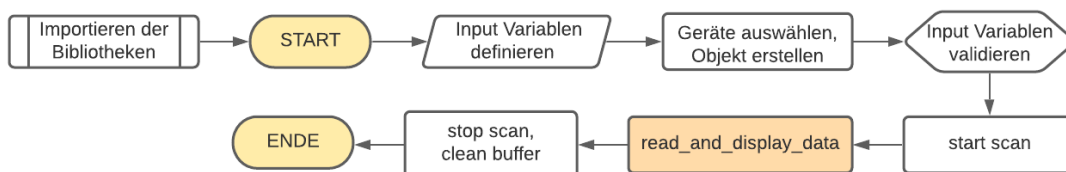


Abbildung 14: Aufbau Programmcode für CUSTOM Messung

In dem Python Skript *multi\_custom.py* werden zunächst neben den Imports der *daqhats* Bibliothek, *sys* und *time* importiert. Der Import von *sys* ermöglicht es, einer Variablen einen Wert beim Aufrufen des Skriptes zuzuweisen. Die Bibliothek *time* wird für die Erzeugung von Zeitstempeln benötigt. Anschließend wird die main-Funktion gestartet, in der zunächst Input Variablen definiert werden

müssen. Für die CUSTOM Messung wird das Flowmeter nicht benötigt, das MCC\_2 bleibt allerdings trotzdem angeschlossen. Bei häufigem Auf- und Absetzen steigt das Risiko ein HAT bzw. den 40 Pin-Stecker zu beschädigen. Aus dem Grund muss der *DEVICE\_COUNT* im Skript gleich drei gesetzt werden, wenn das HAT angesteckt bleibt. Andernfalls muss das Skript auf zwei HATs angepasst werden und der Befehl *daqhats\_read\_eeproms* ausgeführt werden. Im nächsten Schritt werden *input\_modes*, *input\_ranges*, *chans*, *options* und die Abtastrate definiert. Die Input Variablen müssen jeweils für die drei HATs definiert werden ausschließlich der Abtastrate. Da der Scan synchronisiert abläuft, bezieht sich die *sample\_rate* auf alle HATs, ebenso wie die Buffergröße pro Kanal *samples\_per\_channel*. Die maximale Buffergröße pro Kanal kann 100.000 Samples aufnehmen. Weiter wird ein Messobjekt *hats* erstellt, das die einzelnen MCCs erkennt und der Variable zuweist. Vor dem Messstart müssen die eingegebenen Input Parameter mit dem Messobjekt validiert werden. Nun wird die Messung gestartet. Die Messung ist ein Hintergrundprozess, der die erfassten Daten in einem internen Buffer speichert. Mit der Funktion *read\_and\_display\_data* werden die Daten aus dem Buffer gelesen.

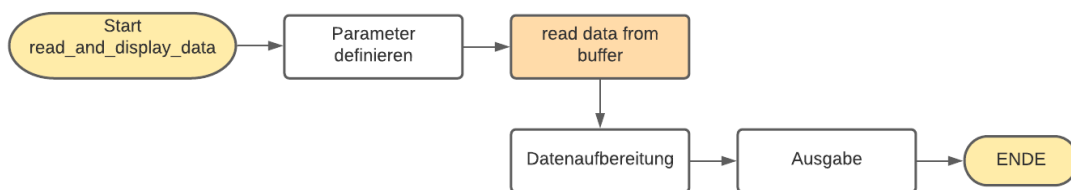


Abbildung 15: Schematischer Ablauf Funktion *read\_and\_display\_data*

In Abbildung 15 ist die Funktion zum Lesen und Ausgeben der Messdaten gezeigt. Zu Beginn der Funktion müssen Parameter definiert werden. Der relevanteste Parameter ist *samples\_to\_read*. Dieser gibt an, wie viele Werte pro Kanal aus dem Buffer gelesen werden sollen. Der Wert wird beim Aufruf des Skriptes vom User mitgegeben und kann variieren. Da eine Messung mit einer Messunsicherheit behaftet ist, macht es Sinn, mehrere Werte pro Kanal auszulesen und diese später zu mitteln. Nachdem die Parameter definiert wurden, werden die Messwerte der Kanäle der einzelnen HATs gelesen. Die Messdaten liegen in folgender Form vor für *samples\_to\_read = 2*.

$$data = [[ch00, ch01, ch02, ch03, ch00, ch01, ch02, ch03], \\ [ch10, ch11, ch10, ch11], \\ [ch20, ch20]]$$

Um die Datenverarbeitung zu erleichtern, wird diese noch im Python Skript durchgeführt. In jeder Liste von *data* alternieren die Messwerte der aktiven Messkanäle, bis die Anzahl der zu lesenden Samples pro Kanal erreicht wird. Für die Aufbereitung werden for-Schleifen eingesetzt, die innerhalb einer Liste die Messwerte der Kanäle sortieren. In der ersten Liste befinden sich in dem Fall 8 Elemente und jedes 4. Element ist der Messwert vom Kanal 0 auf dem MCC\_0. Für die anderen Kanäle wird analog vorgegangen. Anschließend werden die Messwerte pro Kanal gemittelt, um die Messunsicherheit zu verringern. Abschließend wird ein Zeitstempel erzeugt und mit den aufbereiteten Daten zusammen ausgegeben. Die Ausgabe erscheint in folgender Form.

`"timestamp; ch00; ch01; ch02; ch03; ch10; ch11; "`

Die Werte des Kanals auf dem MCC\_2 werden nicht aufbereitet und an MATLAB® weitergegeben, da diese für die CUSTOM Messung irrelevant sind. Die Funktion ist nach der Ausgabe der Daten beendet.

Nach dem Durchlaufen der *read\_and\_display\_data* Funktion wird der Hintergrundscan gestoppt auf den drei HATs und die Buffer der Kanäle werden geleert. Das Skript ist hiermit vollständig durchlaufen. Der Ablauf wiederholt sich so lange, bis die Messung manuell vom User beendet wird.



## 4.2 SHOT Messung

Die SHOT Messung wird für das Erfassen von Parametern während eines Kaffeebezugs benutzt. Das Beziehen eines Espressos dauert etwa 25 Sekunden. Bei der SHOT Messung wird die Messdauer vom User manuell in der GUI eingegeben. Im Vergleich zu der CUSTOM Messung, kann bei der SHOT Messung die Durchflussrate berechnet werden. In der GUI wird die SHOT Messung über eine Funktion *shotmessung* definiert. Bei dieser Funktion werden Messdaten erst nach Beenden der Messdauer an MATLAB® übertragen und anschließend weiterverarbeitet.

### 4.2.1 MATLAB® GUI

Für die SHOT Messung sind alle drei HATs notwendig. Mit dem untersten HAT werden die Temperaturen erfasst, das zweite MCC ist für das Erfassen von Druck und Ausfluss zuständig und das dritte MCC ist mit dem Durchflusssensor verbunden. Für das Starten einer SHOT Messung muss in der GUI die Messdauer eingegeben werden. Beim Drücken des START Knopfes in der GUI wird folgender Code einmal durchlaufen.

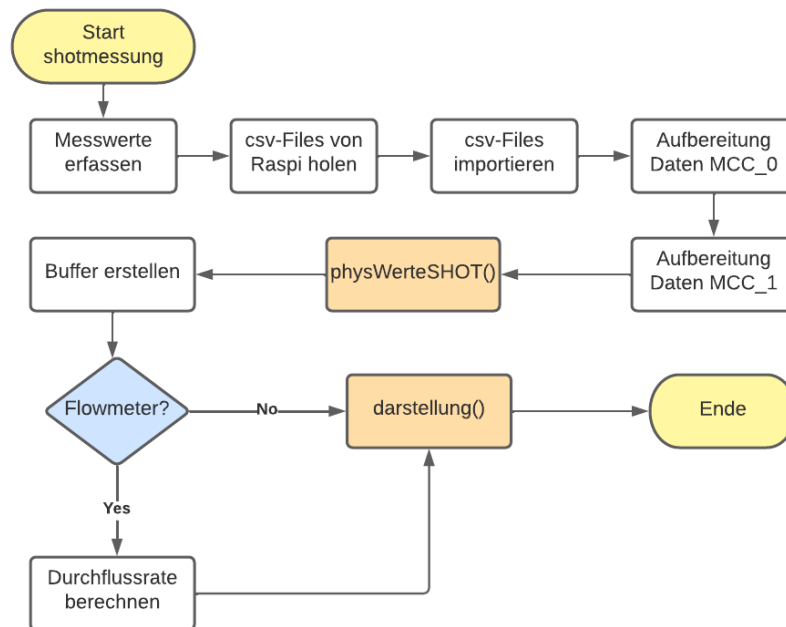


Abbildung 16: Ablaufdiagramm zur Shot Messung in der GUI

Zu Beginn der Funktion *shotmessung* wird das Python Skript *multi\_shot.py* aufgerufen, um Messwerte zu erfassen.

```
z = system(app.rpi, '/home/pi/daqhats/examples/python/mcc128/multi_shot.py 10' app.dauer);
```

Die Zahl nach dem Skriptnamen ist für das Python Skript relevant. Sie wird der Variable *samples\_to\_read* zugewiesen. Die vom User eingegebene Dauer wird als zweite Zahl beim Skriptaufwurf benötigt. Die GUI bleibt so lange an der Stelle stehen, bis die Messdauer erreicht wurde. Das Python Skript übergibt den Startzeitstempel, die Messdauer und die Flowmeter Abtastrate direkt an die Variable *z*.

Im Python Skript werden die Messdaten eines HATs jeweils in einer csv-Datei gespeichert. Nach Erreichen der Messdauer müssen die csv-Dateien vom Raspberry Pi mit der *getFile* Anweisung an den PC übertragen werden. Anschließend werden die csv-Dateien vom Raspberry Pi gelöscht. Die Dateien sind auf dem PC vorhanden, jedoch noch nicht in MATLAB®. Um die drei csv-Dateien in MATLAB®

zu importieren, wurden drei *opts* konfiguriert, die den Import definieren. Die Daten der csv-Dateien stehen nach Import als Variablen zur Verfügung. Die Nomenklatur ist an die Adressierung der HATs orientiert. Die Daten des MCC\_0 werden als *csvmcc0* abgespeichert, analog für die anderen csv-Dateien.

Anschließend müssen die Daten aufbereitet werden. Auf dem ersten HAT (MCC\_0) sind vier Messkanäle aktiv. Pro Messkanal werden in dem Fall 10 Werte erfasst. Die Messdaten liegen in alternierender Reihenfolge vor und müssen sortiert werden. Die sortierten Messwerte der Kanäle des MCC\_0 werden in einer neuen Variable *messwerte0* gespeichert. Zusätzlich wird ein Zeitvektor generiert, der ebenfalls der genannten Variablen als erste Spalte hinzugefügt wird.

$$messdaten0 = [time, CH00, CH01, CH02, CH03]$$

Da mit dem MCC\_0 Spannungswerte der Temperaturen erfasst werden, muss eine Einschränkung bei den Spannungswerten vorgenommen werden. Auf dem Kanal CH00 werden Spannungswerte des IR-Sensors gemessen, von daher muss dort keine Einschränkung beachtet werden. Die restlichen drei Kanäle sind NTC Sensoren, welche eine obere Spannungsgrenze von 4,096 V haben müssen. Ist der gemessene Spannungswert höher als 4096 mV, so kann der Wert in der Kalibrierkurve nicht in °C umgewandelt werden.

Die Daten des MCC\_0 sind fertig aufbereitet und die Datenaufbereitung des MCC\_1 beginnt. Hier müssen ebenfalls die Messdaten nach Kanal sortiert werden. Die sortierten Daten werden in der Variable *messwerte1* gespeichert. Hier wird kein Zeitvektor erzeugt, da die Daten vom MCC\_0 und MCC\_1 mit der gleichen Abtastrate erfasst werden.

Die aufbereiteten Messdaten der beiden HATs werden zusammengefügt in eine Variable *messdaten*.

$$messdaten = [time, CH00, CH01, CH02, CH03, CH10, CH11]$$

Die Messdaten liegen noch in Spannungswerten vor und müssen mit der Funktion *physWerteSHOT* in physikalische Werte umgewandelt werden. Die umgewandelten Werte werden in einem Buffer gespeichert.

Ausstehend ist noch die Datenaufbereitung der Messwerte des MCC\_2. Hier sind die Messdaten des Durchflusssensors im *csvmcc2* gespeichert. Die Berechnung der Durchflussrate findet nur statt, wenn der Durchflusssensor auf der Startseite in der GUI ausgewählt wurde. Wird der Durchflusssensor nicht ausgewählt, wird der Schritt übersprungen und die aufbereiteten Daten werden in den passenden Diagrammen graphisch dargestellt.

#### 4.2.2 Python Skript der SHOT Messung

Für die SHOT Messung wurde ein Python Skript *multi\_shot.py* geschrieben und befindet sich im Verzeichnis */home/pi/daqhats/examples/python/mcc128/* auf dem Raspberry Pi. Mit einem Flowchart werden die relevanten Abschnitte des Skriptes erläutert.

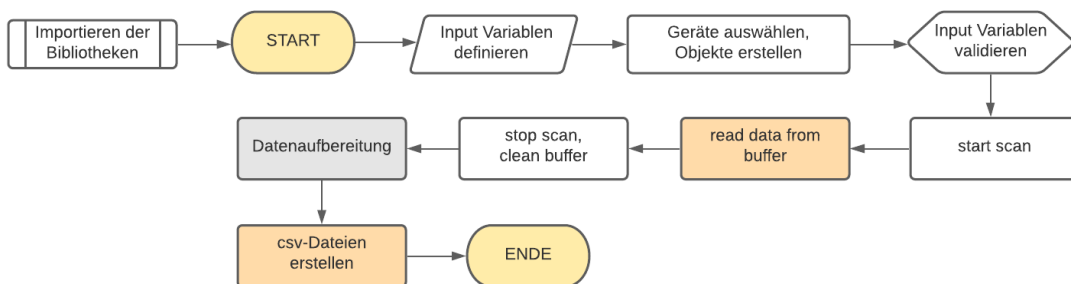


Abbildung 17: Aufbau Programmcode für SHOT Messung

Abbildung 17 zeigt den Grundaufbau des Programmcodes. Mit Start ist nicht das Starten des Programmcodes gemeint, sondern das Starten der main-Funktion, die am Ende des Skriptes aufgerufen wird. Bevor diese aufgerufen wird, müssen neben den Standardbibliotheken von *daqhats*, *sys* und *time* importiert werden.

Zu Beginn der main-Funktion müssen Input Variablen der HATs definiert werden. Hierzu gehören *input\_modes*, *input\_ranges*, *chans*, *options* und die Abtastraten. Die Abtastrate gilt pro HAT und bezieht sich auf alle Kanäle des HATs. Bei der SHOT Messung messen MCC\_0 und MCC\_1 mit den Default Optionen, während das MCC\_2 eine kontinuierliche Messung durchläuft. Grund für die Auswahl der kontinuierlichen Messung ist die hohe Abtastrate von 40.000 Samples pro Sekunde. Bei den Default Optionen wird der Buffer gefüllt und erst nach Ablauf der Messdauer gelesen und geleert. Bei einer Abtastrate von 40 kS/s wäre der Buffer nach etwa 2,5 s voll. Die kontinuierliche Messung hingegen bietet den Vorteil, dass die gemessenen Werte direkt aus dem Buffer ausgelesen werden.

Im nächsten Schritt werden zwei Messobjekte erstellt, unterteilt anhand der festgelegten Optionen der HATs. Das Messobjekt *hats* beinhaltet das MCC\_0 und MCC\_1 während *hat\_2* für das letzte HAT steht. Die erstellten Messobjekte müssen jeweils validiert und mit den Input Variablen initialisiert werden. Nun sind die Objekte messbereit und die Messung kann gestartet werden. Vor Messbeginn wird ein Zeitstempel erzeugt, der die Startzeit angibt. Anschließend wird der Messprozess gestartet und die Funktion *read\_data* wird ausgeführt.

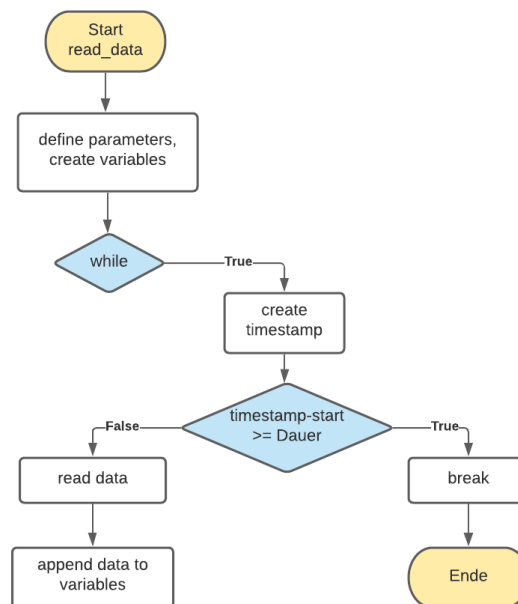


Abbildung 18: Schematische Darstellung von *read\_data*

In Abbildung 18 ist zu erkennen, dass die Funktion *read\_data* aus einer while Schleife besteht. An die Funktion werden die Messobjekte übergeben und der Zeitstempel der Startzeit, der vor dem Messbeginn generiert wurde. Zu Beginn werden Parameter definiert, die das Lesen der Messdaten beeinflussen. Hierzu gehören *read\_request\_size* und *samples\_to\_read*. Beide Parameter geben die Information weiter, wie viele Werte aus dem internen Buffer gelesen werden sollen pro Durchlaufen der while Schleife. Dabei bezieht sich der erste Parameter auf die kontinuierliche Messung, während der zweite das Messobjekt *hats* definiert. Weiter werden leere Variablen definiert, die im späteren Verlauf mit den erfassten Messdaten gefüllt werden.



Bevor die Daten aus dem Buffer gelesen werden, wird die bisherige Dauer mit der eingegebenen Messdauer überprüft. Die bisherige Messdauer wird aus der Differenz des aktuellen Zeitstempels und der Startzeit errechnet. Überschreitet die Differenz die eingegebene Dauer, so wird die Schleife abgebrochen und die Funktion `read_data` beendet. Andernfalls werden Werte aus dem Buffer gelesen. Hier muss ebenfalls unterschieden werden nach Messart. Der Parameter der kontinuierlichen Messung `read_request_size` ist mit `READ_ALL_AVAILABLE` definiert. Das bedeutet, dass alle Messdaten, die im Hintergrund gescannt werden, direkt ausgelesen werden. Pro einmaliges Durchlaufen der while schleife sind dies ungefähr 250 Werte pro Kanal. Für das Messobjekt *hats* wird die Anzahl der gelesenen Messwerte beim Aufruf des Python Skriptes angegeben. Angenommen der Wert für `samples_to_read` ist 10 für das MCC\_0, so werden 40 Werte pro Durchlaufen der while Schleife gelesen, da das MCC\_0 mit vier aktiven Kanälen misst. Die gelesenen Messdaten werden Variablen zugefügt. Jedes HAT erhält seine eigene Variable, da es die Weiterverarbeitung der Daten erleichtert. Für das HAT 0 bis 2 werden die Variablen `daten0`, `daten1` und `werte` mit Messdaten gefüllt. Nach Ablauf der Messdauer wird die Hintergrundmessung gestoppt und der Buffer geleert.

Bei einer Messung von 1 Sekunde wird die while Schleife etwa 50-mal durchlaufen. Mit dem Parameter `samples_to_read = 10` liegen die Daten für das MCC\_0 in folgender Form vor.

$$\text{daten0} = [[\text{ch00}_1, \text{ch01}_1, \text{ch02}_1, \text{ch03}_1, \dots, \text{ch00}_{10}, \text{ch01}_{10}, \text{ch02}_{10}, \text{ch03}_{10}]_1, \dots, [\text{ch00}_1, \text{ch01}_1, \text{ch02}_1, \text{ch03}_1, \dots, \text{ch00}_{10}, \text{ch01}_{10}, \text{ch02}_{10}, \text{ch03}_{10}]_{50}]$$

Pro Durchlaufen der while-Schleife wird ein Listenelement erstellt mit jeweils 10 Messwerte pro Kanal erfasst. Es wird dabei die Reihenfolge der Kanalnummern beachtet. In dem Fall wird für jeden Durchlauf eine Liste mit 40 Werten erstellt. Die einzelnen Listen werden in der Variable `daten0` gespeichert, bis die Messung beendet ist. Analog gilt der Aufbau für das MCC\_1. Hier sind jedoch statt vier Kanälen nur zwei definiert. Die Länge von `daten0` und `daten1` ist gleich, etwa 50 für eine 1-sekündige Messung.

Für die Messwerte vom Durchflusssensor auf dem MCC\_2 wird die Variable `werte` erzeugt. Der Aufbau ist ähnlich zu dem von `daten0` und `daten1`.

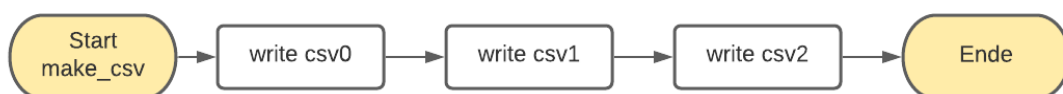
$$\text{werte} = [[\text{ch20}_1, \dots, \text{ch20}_n]_1, \dots, [\text{ch20}_1, \dots, \text{ch20}_n]_{50}]$$

Der Unterschied hierbei ist, dass kein konkreter Wert angegeben wird, der die Anzahl an gelesenen Werten festlegt. Pro Durchlaufen der while-Schleife werden also n Werte gelesen und in jeweils ein Listenelement gespeichert.

Für das Schreiben der csv-Files müssen die Daten vom MCC\_0 und MCC\_1 aufbereitet werden, dass je ein Listenvektor in eine csv Zeile geschrieben wird. Dafür müssen Klammern entfernt werden und Zeichen ersetzt werden.

$$\text{daten0} = [\text{ch00}_1 \text{ ch01}_1 \text{ ch02}_1 \text{ ch03}_1 \dots \text{ch00}_{10} \text{ ch01}_{10} \text{ ch02}_{10} \text{ ch03}_{10} \text{ ch00}_1 \text{ ch01}_1 \text{ ch02}_1 \text{ ch03}_1 \dots \text{ch00}_{10} \text{ ch01}_{10} \text{ ch02}_{10} \text{ ch03}_{10} \text{ ch00}_{50} \text{ ch01}_{50} \text{ ch02}_{50} \text{ ch03}_{50}]$$

Die Kommazeichen zwischen den Messwerten werden durch Leerzeichen ersetzt und zwischen den Listenelementen wird ein Komma eingefügt. Nach der Aufbereitung wird die Funktion `make_csv()` aufgerufen.



Die Funktion schreibt für jedes HAT eine eigene csv-Datei. Das csv-File csv0 besteht in dem Fall aus 50 Zeilen mit 40 Spalten. Analog das Vorgehen für die Daten des MCC\_1. Die Messwerte von dem Durchflusssensor werden zeilenweise angeordnet. Das heißt bei einer 1-sekündigen Messung wird ein csv-File erstellt mit einer Spalte und knapp 40.000 Zeilen.

Nachdem die csv-Files erstellt wurden, ist das Skript *multi\_shot.py* vollständig durchgelaufen. Direkt ausgegeben werden der Zeitstempel der Startzeit und die Messdauer. Dies wird benötigt für die Datenverarbeitung in MATLAB®.

## 5 Kalibrierung der Sensoren

Die bisher vorgenommenen Anpassungen des Messsystems erlauben das Starten einer Messung und die Erfassung von Messwerten mit den Sensoren. Die Temperatursensoren messen Spannungswerte, die in der GUI mittels einer Kalibrierkurve in Temperaturen konvertiert werden. Die bisher vorliegende Kurve entspricht einer fiktiven Kalibrierkurve, die nicht an die Sensoren angepasst ist. Die erfassten Spannungswerte der NTCs sind korrekt, während die Temperatur in °C nicht der in der Realität herrschenden Temperatur entspricht. Für die korrekte Umwandlung der Spannungswerte in die physikalischen Werte, muss eine Kalibrierkurve für den Sensor erzeugt werden. Der Sensor muss hierbei an dem vorgesehenen Anschluss an der Elektronik gesteckt sein.

Für Drucksensoren muss ebenfalls eine Kalibrierkurve erstellt werden, um die Spannungswerte in Druckwerte mit der Einheit bar umwandeln zu können. Da Druck- und Temperatursensoren unterschiedliche Arten von Sensoren sind, müssen auch unterschiedliche Vorgehensweisen in der Kalibrierung definiert werden. Für den IR-Sensor muss der Umrechnungsfaktor resultierend aus seinen Messbereichen mit seiner Nullpunktverschiebung bestätigt werden. Der Durchflusssensor bedarf keiner weiteren Kalibrierung und ist vollständig messbereit.

### 5.1 NTC Sensoren

Bei den im Messsystem vorhandenen Temperatursensoren handelt es sich um NTCs. Bei der Erfassung von Messwerten über das MCC handelt es sich um Spannungswerte. NTCs haben durch den negativen Koeffizienten die charakteristische Eigenschaft, dass bei zunehmender Temperatur der gemessene Spannungswert des Sensors abnimmt. Dadurch ergibt sich eine Kennlinie in folgender Form.

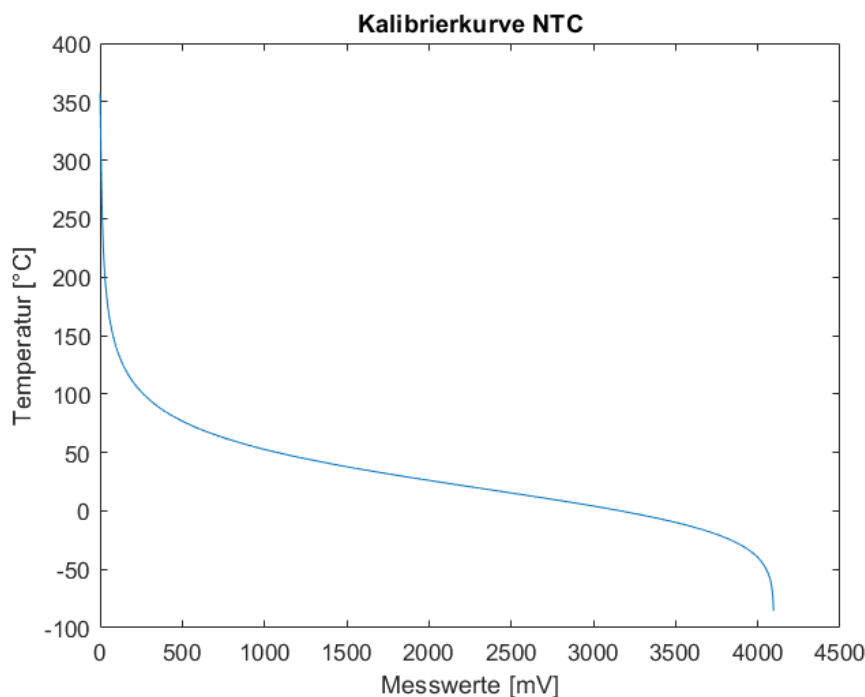


Abbildung 19: Kalibrierkurve NTC

In Abbildung 19 ist die bisher in der GUI integrierte Kalibrierkurve für die NTC Sensoren dargestellt. Die Kalibrierkurve ist optimiert und entspricht nicht der realen Umwandlung, wie an den falschen Werten festgestellt wurde. In der Abbildung ist jedoch der charakteristische Verlauf deutlich zu erkennen. Im Bereich bis 500 mV ist ein extremer Abfall der Temperatur zu erkennen. Weiter ist zu sehen, dass die Temperatur konstant abnimmt, während der mV-Wert steigt. Bei etwa 4000 mV ist ein weiterer plötzlicher Abfall der Temperatur zu erkennen.

### 5.1.1 Vorgehensweise

Die Kalibrierung der NTCs war ursprünglich mit dem Kalibrierprüfstand durchzuführen. Da die Inbetriebnahme des Prüfstandes noch nicht vollständig abgeschlossen ist, muss eine andere Vorgehensweise für die Kalibrierung definiert werden. Für die Erzeugung einer Kalibrierkurve, bedarf es an zwei Sensoren. Ein Sensor ist für die Erfassung der Spannungswerte verantwortlich, während mit einem zweiten, bereits kalibrierten Sensor, die Temperatur in °C aufgenommen wird. Stellt man die Werte gegenüber, so ergibt sich die charakteristische NTC Kalibrierkurve. Die Kurve muss anschließend in die GUI integriert werden, um die Messwerte in physikalische Größen umwandeln zu können.

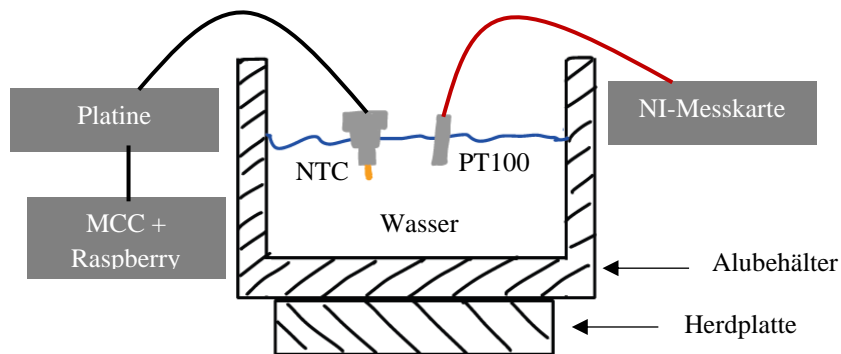


Abbildung 20: Aufbau des Kalibrierprozesses NTC

Für den Kalibrierprozess wird ein Aluminiumbehälter benutzt und mit destilliertem Wasser bis zur Hälfte gefüllt. Die Sensoren befinden sich mit ihren Sensorspitzen im Wasser. Der NTC ist für die Kalibrierung über die Platine mit dem Raspberry Pi und einem konfigurierten MCC 128 verbunden. Mit dem HAT findet die Erfassung der Spannungswerte statt. Auf der Platine ist jedem Sensor ein Stecker zugeordnet. Bei der Kalibrierung ist darauf zu achten, dass der Sensor an dem für ihn vorgesehenen Stecker angeschlossen ist.

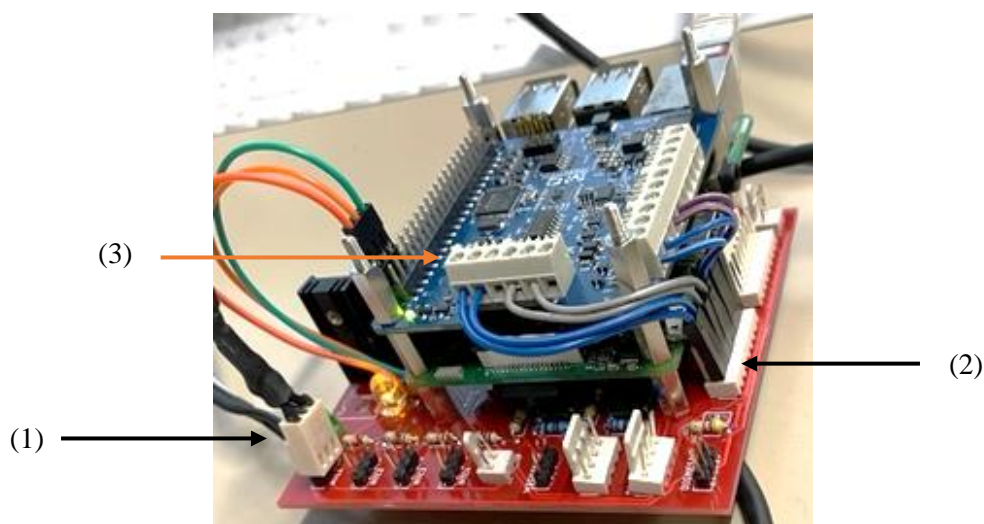


Abbildung 21: Messaufbau für die Kalibrierung eines NTCs

Abbildung 21 zeigt, wie die Platine mit den Steckeranschlüssen an das HAT angeschlossen wird. Für die Kalibrierung wurde der Temperatursensor vor der Brühgruppe verwendet. Diesem Sensor ist nach Tabelle 1 der Messkanal CH01 zugeschrieben. Der Sensor wird an der Platine angesteckt (1) und die

zwei zugehörigen Signalausgänge (2) des Sensors auf der Platine werden mit dem Kanal 1 (3) auf dem MCC\_0 verbunden.

Für die Erfassung der Wassertemperatur in °C wird der PT100 eingesetzt. Dieser wird mit der NI Messkarte verbunden, welche an den PC angesteckt ist. Mit der DAQ Toolbox in MATLAB® wird die Messung mit dem PT100 und der NI Messkarte konfiguriert. Nach vollständiger Vorbereitung des Aufbaus wird die Kalibrierung gestartet. Dafür wird das MATLAB® Skript „Kalibrierung.m“ ausgeführt und die Herdplatte wird auf die erste Stufe geschaltet. Es ist darauf zu achten, dass das Wasser langsam erwärmt wird, damit eine maximale Anzahl an Messwerten erfasst werden kann. Die Heizleistung der Herdplatte wird in 6 Stufen langsam gesteigert. Mit einem IR-Sensor wird die Temperatur mitverfolgt. Bleibt die Temperatur des IR-Sensors konstant, so ist eine Stufe erreicht worden und es kann auf die nächste Stufe hochgeschaltet werden. Die auf dem IR-Sensor angezeigte Temperatur entspricht nicht der tatsächlichen Wassertemperatur, da der Alubehälter metallisch spiegelt und zur Verfälschung der Messwerte beiträgt. Der IR-Sensor wird lediglich zur qualitativen Temperaturmessung eingesetzt.

Das MATLAB® Skript wird ausgeführt, bis eine vom PT100 gemessene Temperatur von 95 °C erreicht wird. Die Temperatur kann aufgrund der Umgebungsbedingungen nicht erreicht werden. Der Aluminiumbehälter ist ein offener Behälter, das heißt es herrscht Umgebungsdruck. Mit dem Umgebungsdruck ist es nicht möglich eine Wassertemperatur von 100 °C zu erreichen. Das Wasser fängt das Sieden an und durch die entstehenden Luftblasen kann nicht mehr die tatsächliche Wassertemperatur aufgenommen werden. Zeigt der IR-Sensor einen konstanten Wert an bzw. einen Rücklauf der Temperatur, so wird die Messung manuell beendet.

### 5.1.2 Ergebnisse des Kalibrierprozesses

Nach dem Beenden des Kalibrierprozesses sind in MATLAB® die Variablen mit den Messwerten der beiden Sensoren gespeichert. Diese müssen graphisch gegenübergestellt werden, um den Verlauf zu beurteilen.

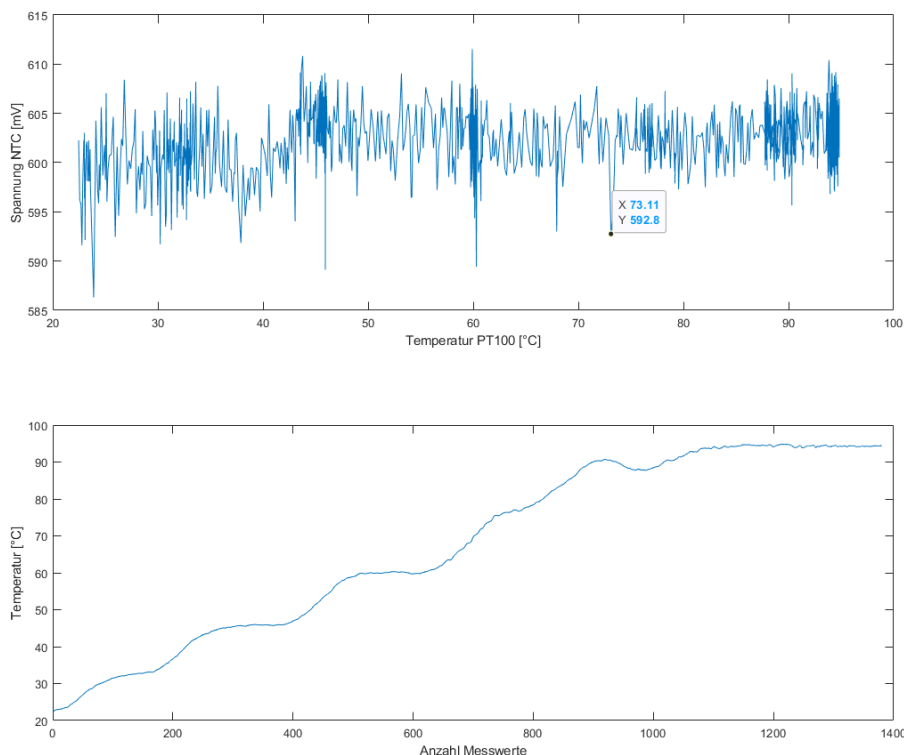


Abbildung 22: Auswertung der NTC Kalibrierung

In Abbildung 22 sind zwei Graphen dargestellt, die zur Beurteilung der Kalibrierung dienen. Die obere Graphik zeigt den Zusammenhang zwischen den Messwerten in °C und mV. Der charakteristische Verlauf der NTC Kalibrierkurve ist nicht erkennbar. Die mV-Werte befinden sich alle im Bereich um die 600 mV. Die Messwerte müssten sich über den Bereich von 0 bis 4096 mV erstrecken. Im unteren Plot wird die Anzahl der Messwerte überprüft. Es ist zu sehen, dass die Stufen langsam genug hochgeschaltet worden sind, was an den Plateaus zu erkennen ist.

Beim Betrachten der erzeugten Kalibrierkurve (obere Graphik) ist kein charakteristischer Zusammenhang zwischen mV-Wert und Temperatur festzustellen. Aufgrund des Ergebnisses wurde gefolgert, dass ein Fehler im Prozess aufgetreten ist, welcher gefunden und analysiert werden muss.

Für die Problemanalyse wurde zuerst die Funktionalität des NTCs in Frage gestellt. Hierfür wurde ein bereits kalibrierter NTC aus dem Labor verwendet mit gleichen Eigenschaften wie der hergestellte NTC. Mit diesem wurde der beschriebene Kalibrierprozess wiederholt. Das Plotten der Ergebnisse zeigt eine ähnliche Kurve wie die vorherige. Der Fehler liegt nicht am selbst gefertigtem NTC, daher wird die Fehlersuche fortgesetzt. Im nächsten Schritt wird das HAT untersucht. Um die Funktionalität des MCC 128 zu bestätigen, wird folgend vorgegangen.

Das HAT ist mit dem definierten Signalausgängen der Platine verbunden, wie in 3.2 erläutert. Die Verbindung zur Platine wird getrennt und an den Kanaleingängen des HATs wird eine Spannung angelegt. Mit einem Netzteil kann die gespeiste Spannung variiert werden. An die Klemmen des Netzgerätes wird ein Multimeter angeschlossen. Mit dem Multimeter wird überprüft, ob die eingestellte Spannung auch tatsächlich an das HAT übergeben wird. Mit einem MATLAB® Skript „MCC\_Test.m“ werden pro eingestellten Spannungswert jeweils 10 Messwerte 100-mal aufgenommen und anschließend gemittelt. Als Ergebnis enthält man 100 Mittelwerte, die in mit der Spannung auf dem Multimeter übereinstimmen müssen. Die Überprüfung wurde in einem Spannungsbereich von drei bis zehn Volt durchgeführt. Nach jedem Messdurchlauf werden die Messwerte des MCCs mit dem des Multimeters verglichen. Erst nachdem die Messwerte korrekt sind, wird um 1 V erhöht und der Prozess wiederholt. Durch die Vorgehensweise konnte die Funktionalität des MCC128 bestätigt werden. Das Problem liegt nicht am HAT. Zuletzt muss die Platine mit ihrer Schaltung überprüft werden. Hier wird mit einem Oszilloskop das Signal an dem Anschluss für den NTC betrachtet. Es fällt auf, dass ohne Sensor ein Signalausschlag vorliegt, obwohl hier kein Signal herrschen sollte. Das Messen verschiedener Spannungswerte auf der Platine lässt Rückschlüsse auf einen systematischen Fehler in der Schaltung zu.

### 5.1.3 Lösung zur Aufnahme der Kalibrierkurve

Nachdem die Ursache des Problems festgestellt wurde, muss mit einer vorläufigen Lösung die Kalibrierkurve aufgenommen werden. Da die Platine als Ursache für die fehlerhafte Kalibrierung gilt, muss die Verwendung dieser umgangen werden. Mit einem Steckbrett, einer NTC-Platine [Anhang 6] und neuen Verkabelungen ist das Erstellen einer vorläufigen Kalibrierkurve möglich.

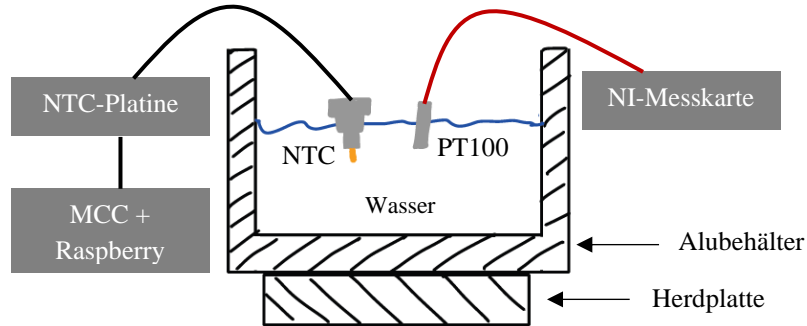


Abbildung 23: Aufbau NTC Kalibrierung mit NTC-Platine

Der Grundaufbau bleibt vorhanden. Der Spannungswerte des NTCs werden über ein HAT erfasst, während die Werte des PT100 über die NI Messkarte in °C erfasst werden. Der Unterschied zum vorherigen Aufbau ist, dass die Platine durch eine NTC-Platine [Anhang 6] ersetzt wird. Die NTC-Platine wird auf einem Steckbrett verschaltet und ermöglicht eine provisorische Lösung zum Erfassen der Messdaten. Es wurde erneut das Skript „Kalibrierung.m“ aufgerufen und durchgeführt. Nach Beenden der Messwertaufnahme muss die Kurve bewertet werden.

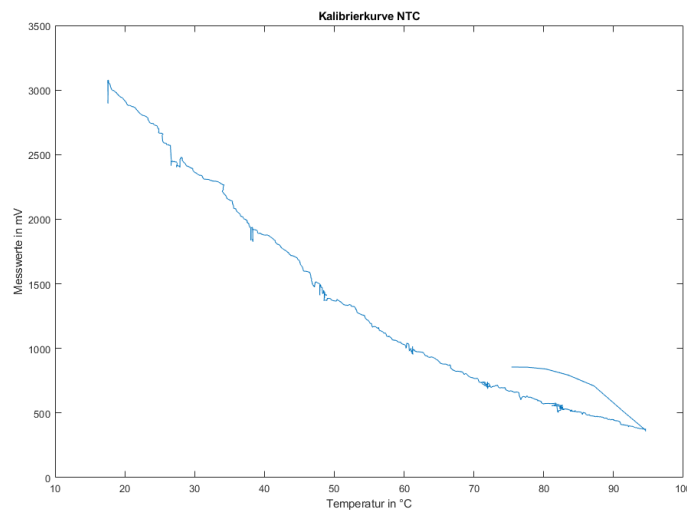


Abbildung 24: Kalibrierkurve NTC - Rohdaten

Nach Gegenüberstellen der Messwerte ist zu erkennen, dass mit zunehmender gemessener Spannung die Temperatur abnimmt. Weiter ist zu sehen, dass eine maximale Temperatur von etwa 94 °C erreicht wurde. Nach Erreichen des maximalen Temperaturwertes ist ein Rückgang zu erkennen. Der Rückgang ist auf den Siedevorgang zurückzuführen. Hier wird nicht mehr die tatsächliche Wassertemperatur gemessen, sondern auch die Temperatur der Luftblasen. Die sechs Stufen der Herdplatte sind ebenfalls zu erkennen in Form von Wertansammlungen entlang der Kurve. Der charakteristische Verlauf ist zu erkennen.



Damit die Kurve für die Umwandlung der Spannungswerte in Temperaturen funktioniert, muss sichergestellt werden, dass jeder x-Wert nur einen y-Wert vorweist. In Abbildung 24 ist beim Rückgang der Temperatur deutlich zu erkennen, dass einer Temperatur mehrere Spannungswerte zugeschrieben sind. Auch an den einzelnen Stufen der Herdplatte ist die Kurve nicht eineindeutig.

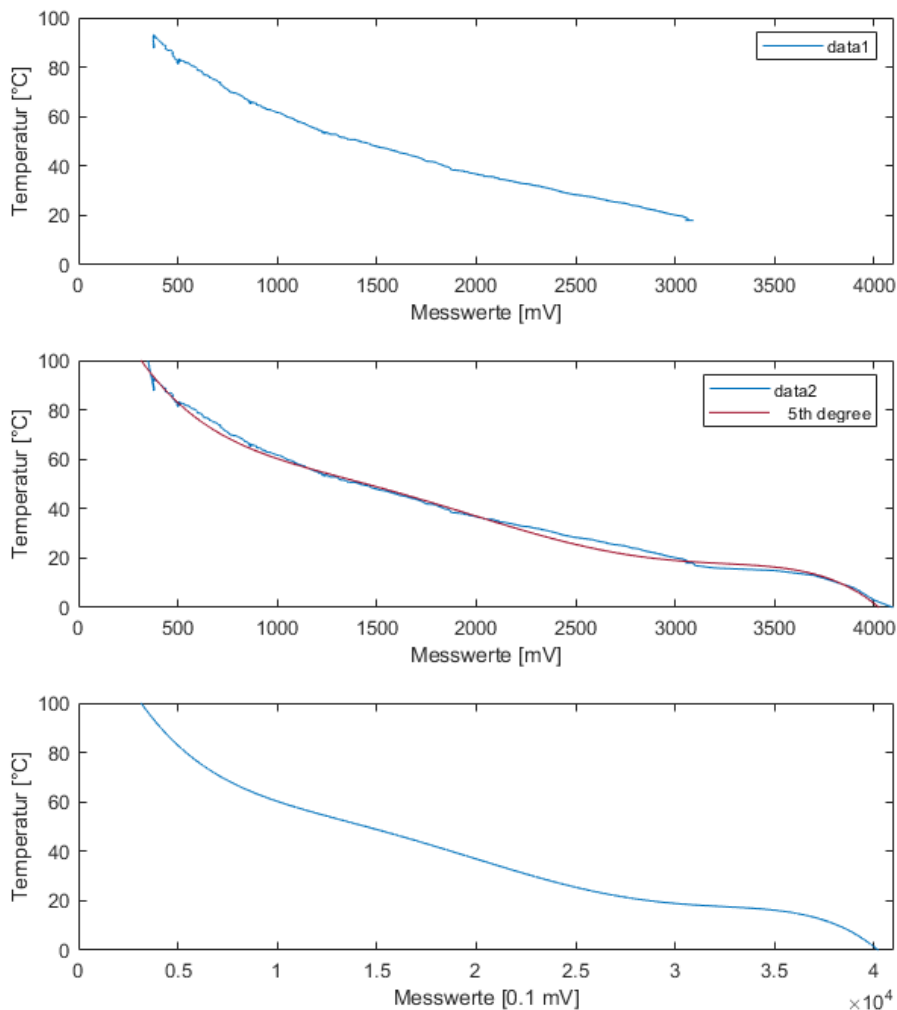


Abbildung 25: Aufbereitung der NTC Kurve

Im ersten Schritt der Aufbereitung wurden die Spannungswerte gelöscht, die nach Erreichen der maximalen Temperatur gemessen wurden. Im ersten Plot der Abbildung 25 ist zu erkennen, dass sich die Spannungswerte nicht von 0 mV bis 4096 mV erstrecken. Die Kalibrierung hatte etwa 22 °C als anfängliche Temperatur und 95 °C als Endtemperatur. Somit wird nicht das gesamte Temperaturspektrum für die Erfassung einer vollständigen Kalibrierkurve vertreten. Im nächsten Schritt wurden die Werte der Kurve durch Hinzufügen von passenden Werten manuell erweitert. Dieser Schritt war notwendig, um eine präzisere Anpassung zu erzielen. Der charakteristische Verlauf der Kurve ist bekannt und konnte somit nachgebildet werden. Anschließend wurde durch Ausprobieren ein passendes Polynom gewählt. Im mittleren Plot ist zu sehen, dass das erzeugte Polynom 5ten Grades am besten geeignet ist. In einem MATLAB® Skript „Kalikurve.m“ sind die Koeffizienten und die Gleichung des verwendeten Polynoms zu finden. Für die finale Kalibrierkurve wurde die Auflösung von 1 mV auf 0.1 mV erhöht. Mit den 40960 Werten findet die Umwandlung von Spannungswerten zu °C Werten statt.



## 5.2 Drucksensoren

Für die Drucksensoren muss eine Kalibrierkurve erstellt werden, damit die vom MCC erfassten Spannungswerte in Druck in bar angegeben werden können. Hierfür war ursprünglich geplant, die Kalibrierung mit dem Pumpenprüfstand durchzuführen. Da dieser noch nicht einsatzbereit ist, muss mit einer Alternative eine erste Kalibrierkurve erzeugt werden.

Der Drucksensor für E61 Espressomaschinen ist in einen Messadapter geklebt. Der Messadapter besitzt ein Gewinde, um ihn an der Messstelle vor dem Kaffeepuck einsetzen zu können. Der Drucksensor für nE61 Espressomaschinen hat keinen Messadapter, sondern wird direkt in die zweite Brühgruppe eingeklebt. Die Erstellung der Kalibrierkurve ist mit einer Vorrichtung geplant, bei der nur der E61 Drucksensor verwendet werden kann aufgrund seiner Adaptionmöglichkeit über das Gewinde. Der nE61 Drucksensor muss mit dem Kalibrierprüfstand vermessen werden.

### 5.2.1 Überprüfen der Funktionalität

Bevor der Drucksensor kalibriert wird, steht eine Überprüfung der Funktionalität des Sensors an. Dafür wurde der Drucksensor mit der NI-Messkarte 9219 verbunden und eine Messung von 45 s gestartet. Der Sensor ist in eine Vorrichtung geschraubt worden, in der Druck aufgebaut wird mittels einer Handpumpe. Während der Messung wurde auf 20 bar aufgepumpt, der Zustand etwa 5 s gehalten und anschließend der Druck abgelassen. Es wird eine qualitative Änderung der Messwerte erwartet.

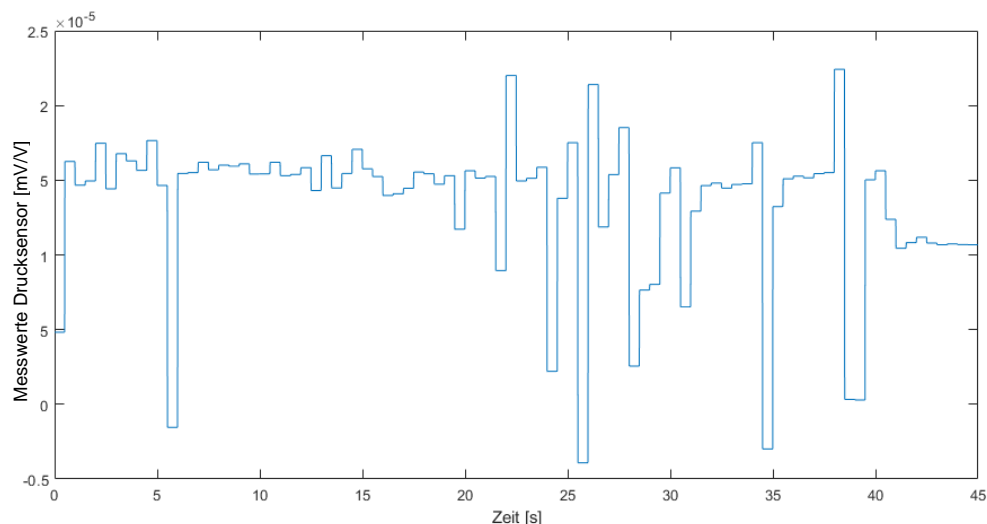


Abbildung 26: Messergebnis des Drucksensors über die NI Messkarte 9219

Abbildung 26 zeigt weder ein Anstieg noch ein Abfall der Messwerte des Drucksensors in mV/V. Das Signal deutet auf einen Defekt im Messaufbau hin. Die Funktionalität des Sensors wird mit einem Multimeter überprüft. Die Klemmen des Multimeters werden an die Signalausgänge des Drucksensors gelegt. Da der Sensor einen Nennwiderstand von 10 k $\Omega$  hat, muss an den Signalausgängen der Nennwiderstand mit einer Abweichungstoleranz von maximal 10 % nachgewiesen werden. Das Ergebnis lässt auf einen defekten Sensor bzw. auf eine defekte Kabelverbindung schließen, da kein Widerstand gemessen werden konnte.



Abbildung 27: Verstärkung der Kontaktstelle

Nach weiteren Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass ein Kabelbruch an der in Abbildung 27 markierten Stelle am Sensor vorliegt. Die Kontaktstelle zwischen Kabel und Sensor reagiert sehr empfindlich auf Zugbeanspruchung, sodass es leicht zu einem Kabelbruch kommt. Für die Kalibrierung wird ein Drucksensor aus einem Boiler (rechts) mit den gleichen technischen Eigenschaften verwendet. Zur Vermeidung eines weiteren Kabelbruches, wird die Klebeverbindung am Sensor aus dem Boiler zwischen Kabel und Sensor mit X60 Klebstoff verstärkt. Nachdem der Kleber ausgetrocknet ist, wurde erneut mit dem Multimeter die Funktionalität überprüft. Diesmal war der Nennwiderstand von 10 k $\Omega$  nachzuweisen. Die Funktionalität des Sensors kann somit bestätigt werden.

### 5.2.2 Vorgehensweise

Für das Erstellen der Kalibrierkurve wird ein HAT und die NI-Messkarte 9219 verwendet. Es wird der Drucksensor aus dem Boiler verwendet.

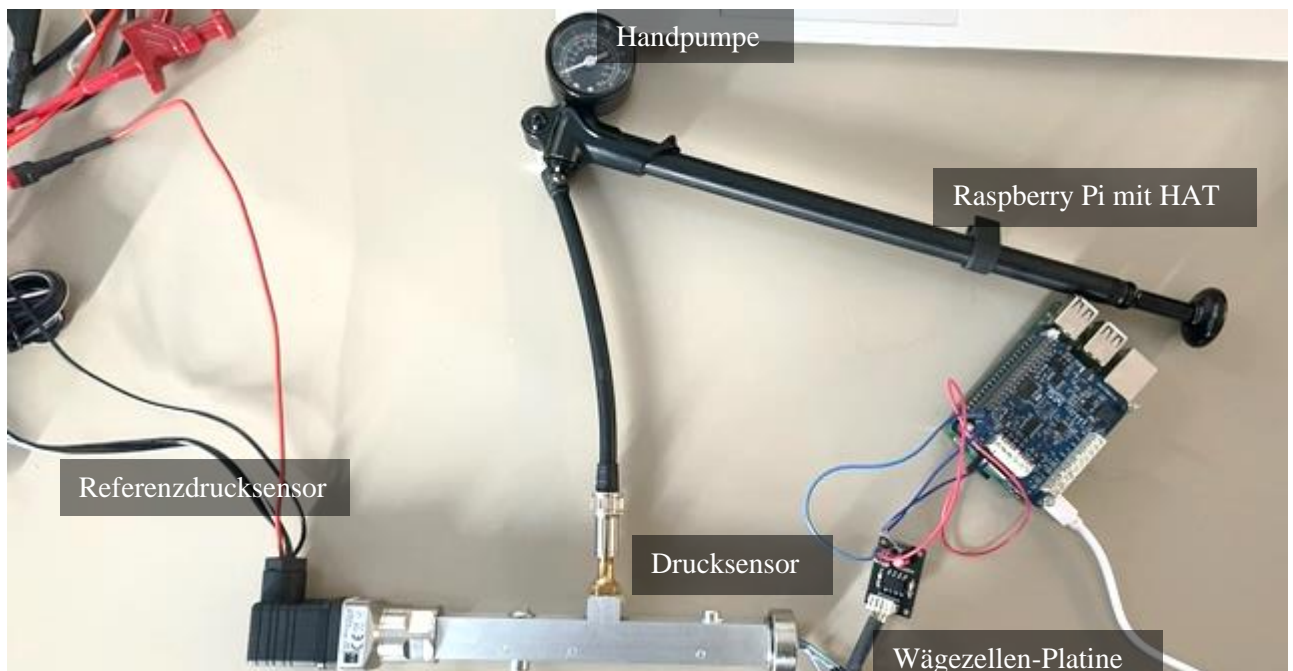


Abbildung 28: Messaufbau zu dem Erstellen einer Kalibrierkurve für die Drucksensoren

Es wird eine Vorrichtung verwendet, welche mit einem Referenzdrucksensor [Anhang 8] ausgestattet ist. Das Gewinde des Messadapters des Drucksensors wird mit Teflonband beschichtet und anschließend in die passende Bohrung der Vorrichtung eingeschraubt. Zuletzt muss die Handpumpe an die Vorrichtung angeschlossen werden und die restlichen Bohrungen druckdicht verschraubt werden.

Der Referenzdrucksensor wird an die Stromversorgung und an die NI-Messkarte angesteckt, während der Drucksensor mit der Wägezellen-Platine verbunden wird. Ein HAT ist mit der Wägezellen-Platine verbunden und misst die Spannungswerte des Drucksensors in Volt.

Elektrischer Messbereich	Physikalischer Messbereich	Umrechnungsfaktor	Messwert NI [bar]
0 bis 10 Volt	0 bis 40 bar	$\frac{40 \text{ bar}}{10 \text{ V}} \Leftrightarrow 4 \frac{\text{bar}}{\text{V}}$	Messwert MCC [V]

Tabella 2: Umrechnungsfaktor Referenzdrucksensor

Über die NI Karte werden die Spannungswerte des Referenzdrucksensors in Volt gemessen. Durch seinen elektrischen und physikalischen Messbereich ergibt sich ein Umrechnungsfaktor, wie in Tabelle 2 dargestellt. Die erfassten Werte des Referenzdrucksensors werden anschließend mit dem Faktor 4 multipliziert, um den Druck in bar zu erhalten. Mit den Messwerten des Drucksensors über das MCC in Volt resultiert eine Kalibrierkurve mit den Spannungswerten auf der Abszisse und den bar-Werten auf der Ordinate.

Um die Kalibrierung zu starten, muss ein MATLAB® Skript ausgeführt werden. In dem Skript „KaliDruck.m“ werden die Messobjekte für das Raspberry Pi und die NI Messkarte erstellt und konfiguriert. Anschließend wird eine while-Schleife gestartet, die so lange misst, bis ein Wert von 22 bar erreicht wird. Während das MATLAB® Skript läuft, muss mit der Handpumpe manuell auf mindestens 20 bar aufgepumpt werden. Beim Erreichen des NI-Messwertes von 22 bar wird die Messung beendet.

### 5.2.3 Auswertung der Kalibrierung

Nach Beenden der Messung werden die Werte des Referenzdrucksensors und des Drucksensors gegenübergestellt und es ergibt sich eine Kalibrierkurve. Durch das händische Aufpumpen konnten nicht genug Messpunkte erzeugt werden, was durch Knicke im Verlauf erkennbar ist.

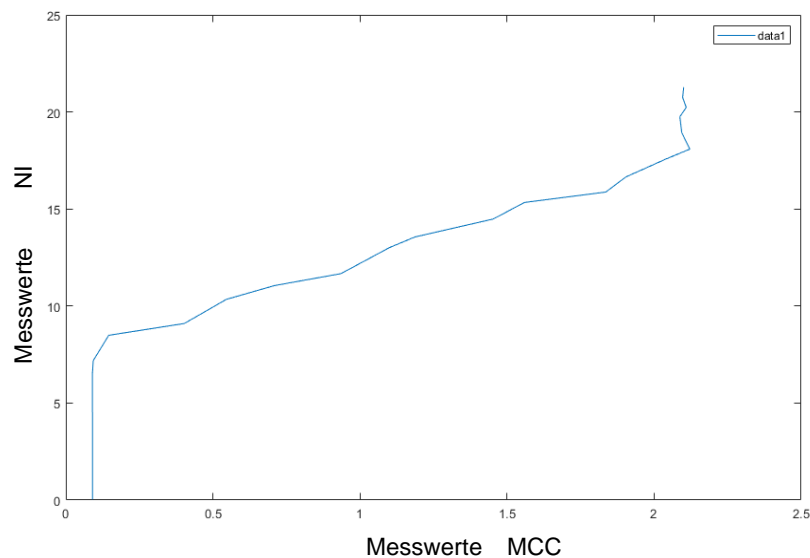


Abbildung 29: erster Versuch Kalibrierkurve für Drucksensor

In Abbildung 29 ist zu erkennen, dass der erfasste Graph eine Verschiebung in y-Richtung (= Offset) zeigt. Der Graph fängt erst bei etwa 8 bar an zu steigen. Im Optimalfall sollte der Graph im Nullpunkt starten. Nach Betrachten des Schaltplans der Wägezellen-Platine wird beschlossen, den fünften Pin des Instrumentenverstärkers INA128PA mit dem GND Pin am RPI Stecker zu verlöten. Es wird ein geringerer Offset erwartet.

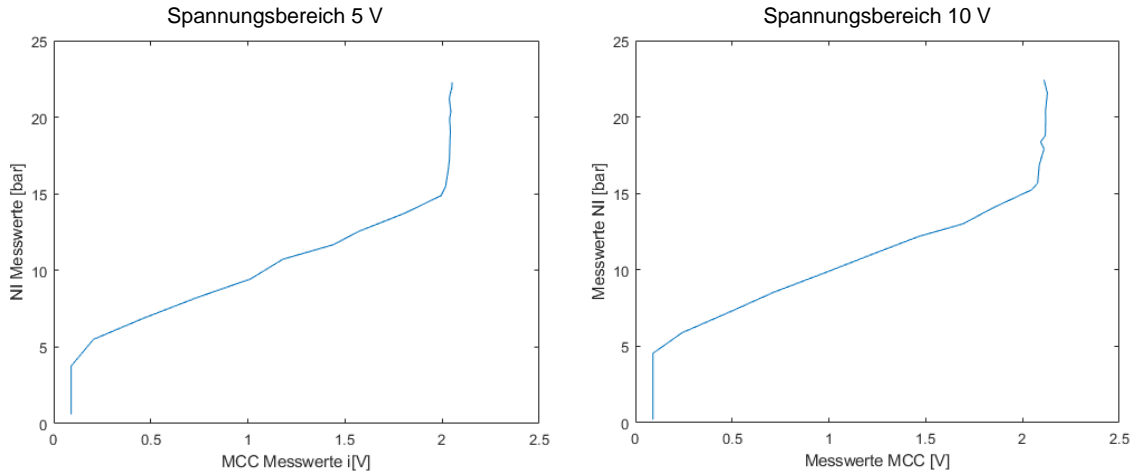


Abbildung 30: Druckkurven mit Spannungsbereich 5V und 10 V

Die Messung wurde nach 5.2.2 wiederholt durchgeführt. Der linke Plot aus Abbildung 30 zeigt einen verringerten Offset an. Die Verschiebung in y-Richtung ist von 8 bar auf knapp 4 bar gesunken. Weiter ist der obere Bereich des Plots ab 15 bar zu hinterfragen. Der Graph konvergiert ungefähr gegen 2 V. Da das MCC keinen höheren Spannungswert als 2 V messen kann, wird der Spannungsbereich des Messkanals auf dem MCC überprüft. Dieser ist auf 5 V eingestellt und somit korrekt. Bei einer weiteren Messung wird zum Vergleichen der Spannungsbereich des Messkanals des MCCs auf 10 V eingestellt. Es ist kein Unterschied bei den Messungen in dem 5 V Bereich und 10 V Bereich zu erkennen. Mit den Erkenntnissen wird vermutet, dass ein Fehler auf der Wägezellen-Platine vorliegt. Die 2 V stellen knapp die Hälfte des maximalen Spannungswertes von 4.096 V dar. Die Wägezellen-Platine muss analysiert und die richtige Verstärkung muss eingestellt werden. Erst nachdem die Platine das Sensorsignal richtig aufbereitet, kann ein erneuter Versuch zur Aufnahme einer Kalibrierkurve gestartet werden.

### 5.3 IR-Sensor

Der IR-Sensor ist ein digitaler Sensor, der Spannungswerte erfasst. Die Messwerte müssen in die Einheit °C umgerechnet werden. Durch den physikalischen und elektrischen Messbereich errechnet sich ein Faktor, der die Umrechnung ermöglicht. Die Messbereiche sind dem Datenblatt des Sensors zu entnehmen [2].

Erfasster Messwert	Physikalischer Messbereich	Umrechnungsfaktor	Temperatur in °C
1 V	-50 bis 600 °C	$\frac{650 \text{ °C}}{10 \text{ V}} + x$	65 °C
	Elektrischer Messbereich		
	0 bis 10 V		

Tabelle 3: Umrechnungsfaktor IR-Sensor

Der IR-Sensor hat eine Elektronikbox, welche die tatsächliche Temperatur in °C anzeigt. Durch das Vergleichen der Temperaturen auf der Anzeige und in MATLAB® stellt sich heraus, dass eine Nullpunktverschiebung berücksichtigt werden muss. Die Nullpunktverschiebung x muss ermittelt werden, nachdem der Sensor an der richtigen Stelle an der Platine angeschlossen wurde.

## 6 Vorgehen zum Vermessen einer Espressomaschine

Im Optimalfall ist es mit dem Messsystem möglich, eine E61 und eine nE61 Siebträger Espressomaschine vollständig zu vermessen. Für die Vermessung steht die Lelit Mara X und die Gaggia TE im Labor zur Verfügung. Während die Lelit Mara X eine E61 darstellt, handelt es sich bei der Gaggia TE um eine nE61 Kaffeemaschine. Es müssen folgende Schritte beachtet werden, um eine Messung erfolgreich durchzuführen.

- Art der Espressomaschine ermitteln
- Ggf. Brühgruppenadapter anbringen
- Art der Messung definieren
- Sensoren anbringen
- Raspberry Pi mit Strom und LAN versorgen
- MATLAB® GUI öffnen
- Messung starten

Zunächst muss die Art der Brühgruppe in der vorliegenden Siebträger Espressomaschine bestimmt werden. Handelt es sich hierbei um eine nE61 Brühgruppe, so muss der Brühgruppenadapter angebracht werden. Hier muss der Durchmesser des nE61 Siebträgers ermittelt werden, um einen passenden Kunststoffeinsatz auszuwählen. Anschließend muss definiert werden, welche Art der Messung durchgeführt wird. Beim Untersuchen des Aufheizverhaltens, sind das Flowmeter und die Waage nicht zu berücksichtigen, andernfalls müssen diese an den Messstellen und auf der Platine angeschlossen werden. Weiter müssen die Sensoren vor dem Kaffeepuck, abhängig von der Brühgruppe, an die Platine angesteckt werden. Bei einer E61 Kaffeemaschine muss entschieden werden, ob der Druck oder die Temperatur vor dem Kaffeepuck gemessen wird. Die Sensoren haben die gleiche Messstelle und können daher nicht parallel im Einsatz sein. Für die Temperatur vor der Brühgruppe muss entschieden werden, ob die Integration des NTCs mit einem T-Stück Adapter möglich ist oder ob der IR-Sensor die Messstelle übernimmt. Für die Lelit Mara X ist die Integration des T-Stück Adapters vor der Brühgruppe nicht möglich, daher wird der IR-Sensor benutzt. Das bedeutet, dass in einem Durchlauf nicht die Temperatur vor und an der Brühgruppe gleichzeitig erfasst werden können. Daher muss entschieden werden, welche Messstelle für die jeweilige Untersuchung von höherer Relevanz ist. Sind alle Sensoren an den zu untersuchenden Messstellen in der Kaffeemaschine angebracht und am Messsystem angesteckt, muss das Raspberry Pi mit dem LAN-Kabel verbunden werden. Weiter muss die Stromversorgung des Messsystems angeschaltet werden.

Im nächsten Schritt muss MATLAB® gestartet werden und die GUI mit der Bezeichnung *GUI\_Messsystem.mlapp* geöffnet werden. Dort müssen auf der Startseite alle Felder ausgefüllt und die passenden Einstellungen ausgewählt werden. Somit sind alle Vorbereitungen getroffen und eine Messung kann gestartet werden. Für das Messen des Aufheizverhaltens ist es wichtig, dass zuerst die CUSTOM Messung in der GUI gestartet wird und anschließend die Kaffeemaschine angeschaltet wird. Das Aufheizverhalten wird so lange gemessen, bis die LEDs der Lelit Mara X aufhören zu blinken.

Nach Beenden der CUSTOM Messung wird die Messung abgespeichert. Sie befindet sich in dem Ordner, der in MATLAB® aktuell geöffnet ist.

Die Kaffeemaschine ist nun aufgeheizt und es kann Kaffee bezogen werden. Der Durchflusssensor wird an das Messsystem angesteckt und eine SHOT Messung gestartet werden. Auch hier müssen zwei Messungen durchgeführt werden, da der IR-Sensor für die Messstelle vor und an der Brühgruppe eingesetzt wird und die Messstelle vor dem Kaffeepuck von zwei Sensoren geteilt wird.

## 7 Finale Probemessungen

Bisher wurden einzelnen Komponenten bereits mit einfachen Mitteln wie einem Multimeter überprüft. Da das Messsystem aus mehreren Komponenten besteht, ist es wichtig diese im Zusammenwirken zu überprüfen. Einige Komponenten befinden sich noch nicht im einsatzbereiten Zustand. Diese können somit nicht vollständig integriert und im Messsystem getestet werden.

Über die GUI wird eine CUSTOM und eine SHOT Messung gestartet, um die Python Skripte, das Importieren der Messdaten an MATLAB® und die Weiterverarbeitung der Daten zu testen. Bei der CUSTOM Messung wird primär darauf geachtet, dass die Temperaturen der NTCs und des IR-Sensors anhand der Kalibrierkurve und des Umrechnungsfaktors korrekt umgewandelt werden. Bei der SHOT Messung steht der Algorithmus zur Durchflussratenberechnung im Fokus.

### 7.1 Vorgehensweise

Die Platine mit den Signalverarbeitungen der Sensoren weist einen systematischen Fehler auf und kann nicht bei der Probemessung eingesetzt werden. Die Signale der NTCs, des IR-Sensors und des Flowmeters müssen über einen anderen Weg erzeugt bzw. aufbereitet werden.

#### Temperatursensoren

Im Messsystem sind drei NTC Sensoren vorhanden (siehe 3.2). Um die Funktionalität der einzelnen NTCs zu überprüfen, wird mit einem Multimeter jeweils der Nennwiderstand von 10 kΩ gemessen. So wird ein defekter Sensor ausgeschlossen und kann anschließend an die NTC-Platine angeschlossen werden. Die drei NTCs werden an die Eingänge der NTC-Platine angesteckt, während der Platinenausgang auf das Steckbrett gesteckt wird.

Die drei von vier belegten Ausgänge der NTC-Platine werden mit den Kanälen des MCC\_0 verbunden. Zusätzlich benötigen die Kanäle des HATs jeweils eine Masse, da über DIFF gemessen wird. Es werden drei Masseverbindungen vom Steckbrett zum HAT gelegt. Der IR-Sensor wird über seine Ausgänge direkt an einen Messkanal des HATs angeschlossen.

Bevor ein Funktionstest der Sensoren an der Espressomaschine durchgeführt wird, findet eine Überprüfung mit dem vorprogrammierten Python Skript „continuous\_scan.py“ überprüft. Es werden die Spannungswerte der Sensoren im Terminal gemessen. Durch Berühren der Sensoren ist ein Abfallen der Spannungswerte zu erwarten.

Anschließend wird eine CUSTOM Messung für die Erfassung des Aufheizverhaltens gestartet. Nach vollständigem Aufheizen auf Betriebstemperatur wird ein Kaffeebezug gemessen. Beide Messungen werden an der E61 Espressomaschine Lelit Mara X durchgeführt.

#### Durchflussratenberechnung

Für die Verwendung des Flowmeters fehlt die Platine zur Signalaufbereitung. Zum Überprüfen des Algorithmus zur Berechnung der Durchflussrate wird lediglich ein Rechtecksignal benötigt. Das Rechtecksignal wird mit einem Funktionsgenerator erzeugt. An dem Funktionsgenerator wird ein Oszilloskop angeschlossen, um das eingestellte Signal zu beobachten. Die Masse und das Signal des Funktionsgenerators werden mit dem Kanal CH20 verbunden. So misst das MCC\_2 die Spannungswerte des erzeugten Signals des Funktionsgenerators.

Es wird eine 30-sekündige Messung über das MATLAB® Skript „SHOT\_Test.m“ gestartet, die einen Kaffeebezug simuliert. Mit dem MATLAB® Skript wird die Messwerterfassung des MCC\_2 gestartet und anschließend an MATLAB® übertragen. Die im Python Skript erzeugte csv Datei, wird über *opts* in MATLAB® importiert. Anschließend wird die Durchflussrate berechnet. Während der Messung wird über ein Rad am Funktionsgenerator die Frequenz des Rechtecksignals variiert.



## 7.2 Auswertung der Messergebnisse

Beim Überprüfen der NTC Sensoren über das Terminal ist aufgefallen, dass sich die Spannungswerte nicht ändern. Die Werte schwanken um die 5 V. Bei Raumtemperatur sollten die Spannungswerte laut Kalibrierkurve zwischen 2,5 V bis 3 V liegen. Durch diese Erkenntnis wird vermutet, dass die NTC-Platine defekt ist. Zur Bestätigung der Vermutung wird ein Spannungsteiler für den NTC Sensor auf dem Steckbrett nachgebaut. Die Ausgänge des Spannungsteilers werden am MCC angesteckt. Durch Wärmezufuhr ist eine Veränderung in den Spannungswerten zu erkennen.

Da die NTC-Platine an der Lelit Mara X nicht verwendet werden kann, wird neben dem IR-Sensor nur mit einem NTC über den Spannungsteiler auf dem Steckbrett gemessen. Der NTC vor dem Kaffeepuck wird die Messstelle geschraubt, während der IR-Sensor für das Aufheizverhalten auf das Messingrohr vor der Brühgruppe gehalten wird.

### CUSTOM Messung – Aufheizverhalten

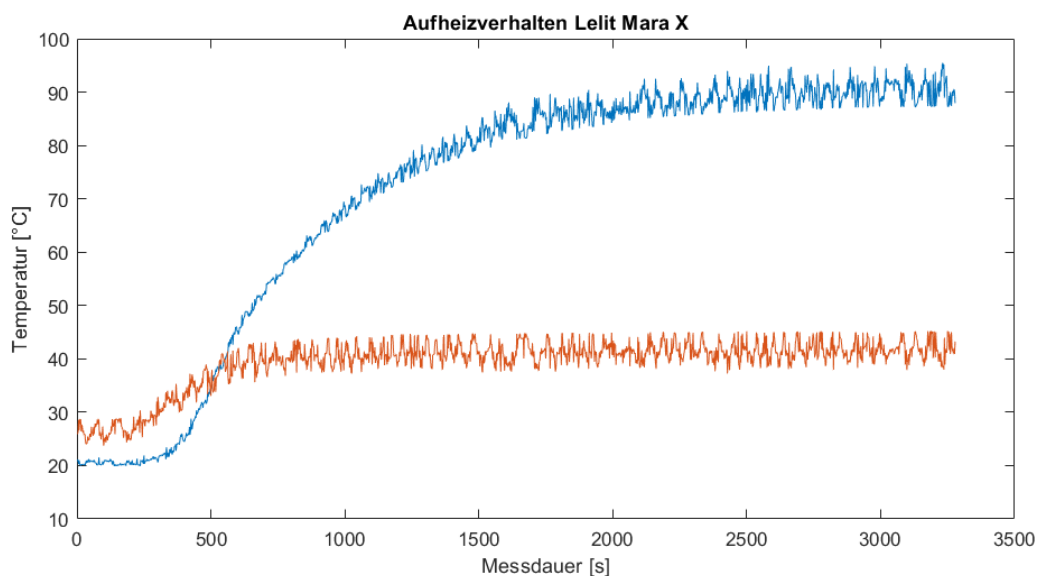


Abbildung 31: Aufheizverhalten Lelit Mara X

In Abbildung 31 ist das Aufheizverhalten der Lelit Mara X grafisch dargestellt, wobei die blaue Farbe für die Messwerte der Temperatur vor dem Kaffeepuck stehen und orange für die Messwerte des IR-Sensors. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Messwerte bei beiden Sensoren stark schwanken. Die Messung an sich funktioniert jedoch. Die Spannungswerte des NTCs wurden mit der Kalibrierkurve in

Temperaturwerte umgewandelt. Die Kalibrierkurve liefert nicht die exakten Temperaturen, jedoch ist die qualitative Temperaturveränderung deutlich zu erkennen.

### SHOT Messung – Kaffeebezug

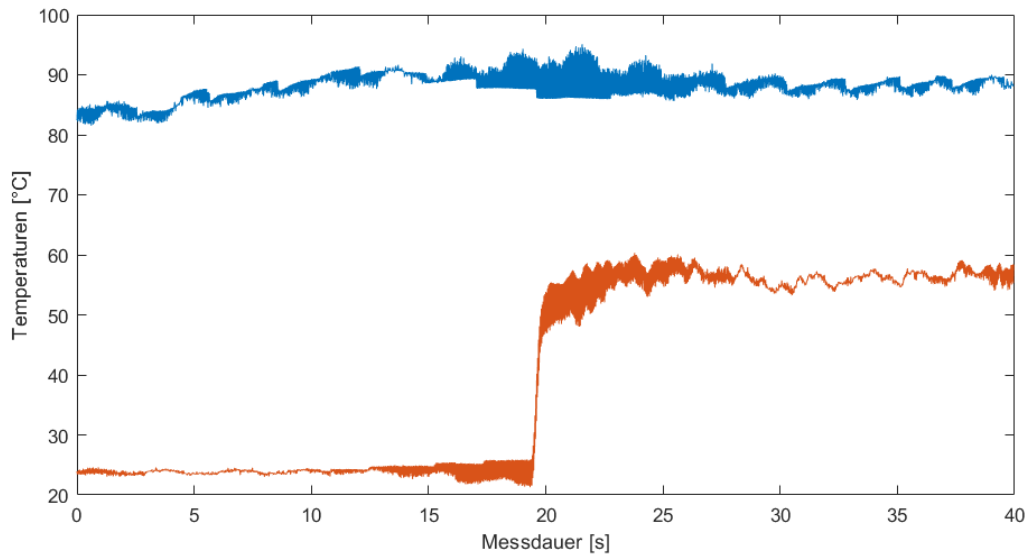


Abbildung 32: Auswertung eines Kaffeebezugs an der Lelit Mara X

Bei der graphischen Darstellung der Messergebnisse eines Kaffeebezugs ist das gleiche Problem wie beim Aufheizverhalten zu erkennen. Die Werte schwanken und es werden alternierende Werte geliefert. Bei der SHOT Messung stehen die blauen Werte erneut für den NTC vor dem Kaffeepuck und die orangenen Werte für den IR-Sensor. Der IR-Sensor ist diesmal nicht auf das Messingrohr gerichtet, sondern auf die Tasse, in welche der Kaffee läuft. Es ist zu erkennen, dass etwa erst nach 20 s Kaffee in die Tasse fließt. Der Siebträger ist hier mit einer einfachen Portion Kaffee gefüllt.

### Durchflussratenberechnung

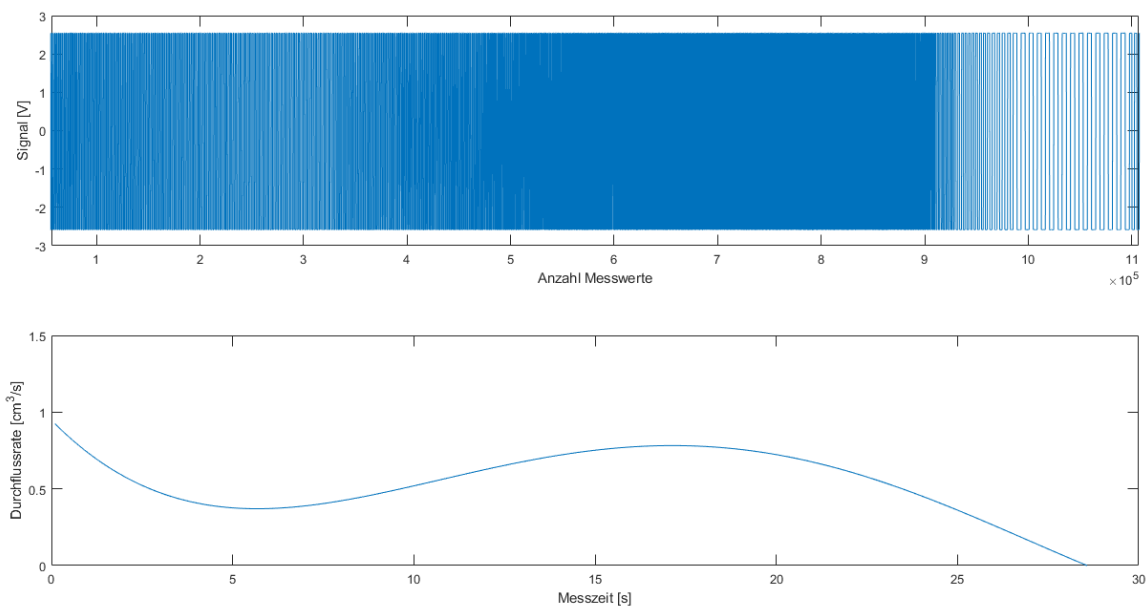


Abbildung 33: Auswertung der Funktionalität der Durchflussratenberechnung



In Abbildung 33 sind zwei Plots dargestellt zur Überprüfung der Durchflussratenberechnung. Der obere Plot zeigt das Rechtecksignal. Die Frequenz wurde absichtlich stark variiert, um das Verhalten bei Veränderung deutlich zu erkennen. In den helleren Bereichen des Rechtecksignals ist eine geringere Frequenz eingestellt worden als in den dunklen Bereichen. Vergleicht man den unteren Plot mit dem Muster des Rechtecksignals, so erkennt man das Verhalten der Frequenzveränderung wieder. Bei geringerer Frequenz sinkt die Durchflussrate, während in den dunkleren Bereichen die Durchflussrate ansteigt. Je geringer die Frequenz eingestellt war, desto steiler sinkt die Durchflussrate.

Die Frequenzveränderung ist hier übertrieben dargestellt und dient ausschließlich der Überprüfung des Algorithmus. Während eines Kaffeebezuges sind so starke Abweichungen nicht zu erwarten.

## 8 Anforderungen an die Elektronik

Für die vollständige Inbetriebnahme des Messsystems muss eine Elektronikplatine erstellt werden. Im Laufe der Weiterentwicklung des Messsystems konnten einige Erkenntnisse gewonnen werden, um die Platine entsprechend aufbauen zu können.

Es ist geplant, dass die Elektronikplatine unter dem Raspberry Pi mit seinen HATS angeschlossen wird. Über die Platine soll das Messsystem mit Strom versorgt werden, weswegen sie einen Anschluss an das Stromnetz bieten muss. Das Messsystem wird mit einem Spannungsgerät über 5 V betrieben.

An der Platine werden die Sensoren angeschlossen in Form von Steckern. Die Sensoren sind nicht alle vom gleichen Typ. Die Drucksensoren sind Brückenschaltungen mit vier Ausgängen, während die NTCs drei Ausgänge vorweisen. Die Pin-Anzahl muss bei den Steckern berücksichtigt werden.

	$T_{anBG}$	$T_{vBG}$	$T_{vKP}$	$T_{Austauf}$	$p_{vKP}$	Waage	Flowmeter
Sensorart	IR (digital)	NTC	NTC	NTC	Brücke	Brücke	Brücke
Pin-Anzahl	3	3	3	3	4	4	3

Tabelle 4: Steckeranschlüsse der Sensoren an Platine

Über die Platine müssen die Signale der Sensoren aufbereitet werden, bevor sie an MATLAB® übertragen werden. Für die NTCs gilt die gleiche Aufbereitung des Signals, die bei der NTC-Platine integriert wurde. Hier ist die NTC-Platine selbst nachzuprüfen, ob sie einwandfrei funktioniert.

Die beiden Drucksensoren und die Wägezelle sind Sensoren mit einer Brückenschaltung. Bisher wurde die Wägezellen-Platine verwendet, welche jedoch fehlerhaft ist. Die Verstärkung muss hier neu ausgelegt werden, so dass ein höheres Signal als 2 V an MATLAB® übergeben werden kann.

Die aufbereiteten Signale werden als Spannungswerte an die MCCs weitergegeben. Jeder Sensor wird über DIFF gemessen, das heißt es wird pro Sensor ein Signalausgang und ein Masseausgang benötigt. Die Ausgänge werden nach 3.2 mit den MCCs verbunden.

Durch das Erfassen des Aufheizverhaltens und von Kaffeebezügen ist aufgefallen, dass die Messwerte stark schwanken. Die Ursache des Schwankens bei der SHOT und CUSTOM Messung ist zu untersuchen und bei Erstellung der Elektronik zu beachten.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der technischen Probleme im Ausgangszustand des Messsystems, mussten neue Messprozesse definiert werden. Das ADSBoard 1256 und die Elektronikplatine wurden vom Raspberry Pi entfernt und das Raspberry Pi wurde mit drei MCC 128 erweitert. Durch den Einsatz der HATs war es möglich, die 50 Hz Störfrequenz in Form eines Sinussignals beim Erfassen der Messwerte mit einem NTC zu eliminieren. Für die Durchflussmessung wurde dem Flowmeter ein einzelnes HAT zugewiesen, um die Messdaten mit optimaler Abtastrate zu erfassen. Durch diese Entscheidung ist es gelungen ausreichend Flowmeter Daten zu erfassen, die anschließend zur Berechnung der Durchflussrate benötigt werden.

Mit der Erweiterung der Messelektronik mussten neue Messprozesse programmiert werden. Die Messdatenerfassung findet über die drei MCCs statt, die über Python Skripte konfiguriert werden. Da zwischen zwei Messarten unterschieden wird, muss jeweils ein Python Skript für die CUSTOM Messung und für die SHOT Messung geschrieben werden. In der GUI musste aufgrund neuer Vorgehensweisen in den Python Skripten die Datenverarbeitung der übergebenen Messdaten aktualisiert werden.

Das Messsystem war ursprünglich nur für E61 Espressomaschinen ausgelegt. Es wurden 3D-Druckteile konstruiert und gefertigt für den Einsatz an nE61 Espressomaschinen. Es wurde neben der zweiten Brühgruppe ein Kunststoffeinsatz für Standard nE61 Siebträger und ein Kunststoffeinsatz für die Dalla Corte Mina gefertigt. Die Druckteile sind noch nicht einsatzbereit, da eine Nachbearbeitung aussteht, die nicht durchgeführt werden konnte aufgrund des Umzugs der Fakultätswerkstatt. Es müssen Bohrungen aufgebohrt und Gewindeeinsätze eingeschraubt werden. Außerdem muss der Hohlraum in der zweiten Brühgruppe vom Druckpulver befreit werden. Die Ringnut an der Unterseite der zweiten Brühgruppe ist zu klein und muss auf die Maße der E61 Brühgruppendichtung angepasst werden. Die Sensoren für nE61 Kaffeemaschinen müssen in die zweite Brühgruppe eingeklebt werden.

Nachdem das Messsystem grundlegend funktioniert, bleibt die Kalibrierung der Sensoren als letzter Schritt. Bei der Kalibrierung eines NTCs ist ein systematischer Fehler in der Elektronikplatine aufgefallen. Aus dem Grund muss auf den Einsatz der Platine verzichtet werden. Der systematische Fehler muss genauer untersucht werden und eine neue Platine mit allen Steckeranschlüssen muss erstellt werden. Mit einer NTC-Platine und einem Referenzsensor ist es gelungen eine erste NTC Kalibrierkurve aufzunehmen. Bei den Drucksensoren ist eine Schwachstelle bei den Kontakten aufgefallen. Mit Klebstoff konnte die Klebeverbindung verstärkt werden. Durch einen Verstärkungsfehler auf der Wägezellen-Platine ist es nicht gelungen, eine Kalibrierkurve für die Drucksensoren zu erstellen. Durch den Prozess konnten jedoch Erkenntnisse zur Wägezellen-Platine gewonnen werden.

Die NTCs und die Drucksensoren müssen am Pumpenprüfstand kalibriert werden, um eine exakte Kurve zu erhalten. Durch nicht optimale Umgebungsbedingungen stellt die NTC Kalibrierkurve keine präzise Übersetzung der Volt Werte dar.

Nachdem die Kunststoffteile nicht einsatzbereit sind, können diese in der Testmessung nicht überprüft werden. Die Sensoren für nE61 können somit ebenfalls nicht am Messsystem getestet werden. Der Algorithmus der Durchflussratenberechnung wird mit einem Funktionsgenerator geprüft. Die Sensoren für die Temperaturerfassung werden manuell, an einem Aufheizvorhang und bei Kaffeebezügen an der Lelit Mara X überprüft.

Die ausstehenden Aufgaben sind mit einer nachfolgenden To-Do Liste dargestellt.

<b>Aufgabenbereich:</b>	<b>ToDo</b>	<b>Status</b>
Erweiterung Messsystem für nE61	Nachbearbeitung der zweiten Brühgruppe: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bohrung für Drucksensor</li> <li>- Bohrungen am Auslauf befreien</li> <li>- Bohrungen für Gewindeeinsätze aufbohren</li> <li>- Gewindeeinsätze einschrauben</li> </ul>	30
Erweiterung Messsystem für nE61	Nachbearbeitung Kunststoffadapter DALLA CORTE: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bohrungen aufbohren für Gewindeeinsätze</li> <li>- Gewindeeinsätze einschrauben</li> </ul>	30
Erweiterung Messsystem für nE61	Nachbearbeitung Kunststoffadapter Gaggia: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bohrungen aufbohren für Gewindeeinsätze</li> <li>- Gewindeeinsätze einschrauben</li> </ul>	30
Drucksensoren	Kontaktstellen am Drucksensor mit X60 verstärken für E61 und nE61	30
Drucksensoren	Für E61: neuen Messadapter fertigen und Sensor einkleben	30
Kalibrierung NTCs	Kalibrierkurve für NTCs am Pumpenprüfstand erstellen	10
Kalibrierung Drucksensoren	Kalibrierkurve für Drucksensoren am Pumpenprüfstand erstellen	10
Elektronik	Platine für Sensoren auslegen und mit Bauteilen und Steckern verlöten	10
Sensorik	Ursache für das Schwanken der Werte untersuchen	10
Probemessung	Aufheizverhalten und Kaffeebezug jeweils an E61 und nE61 Maschine aufnehmen	50

10 – Erfasst

50 – Lösung definiert

90 – Umsetzung abgeschlossen

100 – Maßnahme bestätigt

30 – Lösung definiert

70 – in Umsetzung

99 – Abbruch per Beschluss

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick des Messsystems im Ausgangszustand .....	1
Abbildung 2: links: Espressomaschine mit E61 Brühgruppe - rechts: E61 im Querschnitt während Kaffeebezug.....	3
Abbildung 3: Skizze des zusammengebauten Brühgruppenadapters [1] .....	4
Abbildung 4: Kunststoffeinsatz für die Gaggia TE.....	5
Abbildung 5: Siebträger für Dalla Corte Mina mit Sieb .....	5
Abbildung 6: Kunststoffeinsatz für die Dalla Corte Mina .....	6
Abbildung 7: Zweite Brühgruppe.....	6
Abbildung 8: Schnittdarstellung für Integration der Sensoren - links: Drucksensor - rechts: Temperatursensor .....	7
Abbildung 9: Messadapter für NTC vor Kaffeepuck (nE61).....	8
Abbildung 10: Darstellung Klebefläche .....	9
Abbildung 11: Ausgangszustand der Messelektronik .....	11
Abbildung 12: Adressierung der HATs mit Jumper.....	12
Abbildung 13: Schematischer Ablauf der TimerFcn.....	14
Abbildung 14: Aufbau Programmcode für CUSTOM Messung.....	14
Abbildung 15: Schematischer Ablauf Funktion read_and_display_data .....	15
Abbildung 16: Ablaufdiagramm zur Shot Messung in der GUI .....	16
Abbildung 17: Aufbau Programmcode für SHOT Messung.....	17
Abbildung 18: Schmeatische Darstellung von read_data.....	18
Abbildung 19: Kalibrierkurve NTC .....	21
Abbildung 20: Aufbau des Kalibrierprozesses NTC.....	22
Abbildung 21: Messaufbau für die Kalibrierung eines NTCs .....	22
Abbildung 22: Auswertung der NTC Kalibrierung.....	23
Abbildung 23: Aufbau NTC Kalibrierung mit NTC-Platine.....	25
Abbildung 24: Kalibrierkurve NTC - Rohdaten.....	25
Abbildung 25: Aufbereitung der NTC Kurve .....	26
Abbildung 26: Messergebnis des Drucksensors über die NI Messkarte 9219 .....	27
Abbildung 27: Verstärkung der Kontaktstelle.....	28
Abbildung 28: Messaufbau zu dem Erstellen einer Kalibrierkurve für die Drucksensoren.....	28
Abbildung 29: erster Versuch Kalibrierkurve für Drucksensor .....	29
Abbildung 30: Druckkurven mit Spannungsbereich 5V und 10 V .....	30
Abbildung 31: Aufheizverhalten Lelit Mara X .....	33
Abbildung 32: Auswertung eines Kaffeebezugs an der Lelit Mara X.....	34
Abbildung 33: Auswertung der Funktionalität der Durchflussratenberechnung.....	34

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuweisung Sensoren an HAT Kanäle .....	12
Tabelle 2: Umrechnungsfaktor Referenzdrucksensor .....	29
Tabelle 3: Umrechnungsfaktor IR-Sensor.....	30
Tabelle 4: Steckeranschlüsse der Sensoren an Platine .....	35

---

## Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Einbauempfehlung O-Ring [5] .....	IV
Anhang 2: Datenblatt verwendeter KerbKonus Gewindeeinsätze [6].....	V
Anhang 3: Messadapter NTC - Temperatur vor Kaffeepuck nE61 .....	VI
Anhang 4: Datenblatt MCC128 [7] .....	VII
Anhang 5: Datenblatt Loctite EA 9466 [8] .....	IX
Anhang 6: NTC Spannungsmessplatine .....	X
Anhang 7: Schaltplan der Platine für eine Wägezelle .....	XI
Anhang 8: Datenblatt Referenzdrucksensor DRTR-ED-10V-R40B .....	XIII

## Literaturverzeichnis

Die zweite Zahl steht für die Nummerierung der Quellen aus dem Wiki.

- [1, 24] S. Czernin, J. Pytlik und M. Zanzinger, „Mess-System zur Ermittlung der Betriebsparameter von Espressomaschinen,“ 2021.
- [2, 30] P. Viebke, T. Sediq und A. Turbanisch, „Inbetriebnahme Mess-System zur Bestimmung von Durchflussraten, Druck- und Temperaturverläufen von Siebträger Espressomaschinen,“ 2021.
- [3] A. Goclik, „Wiki Turnus-Espresso - Messsystem zur Parametererfassung,“ TURNUS Espresso GmbH, 2021. [Online]. Available: [https://wiki.turnus-espresso.de/Mess-System\\_zur\\_Parametererfassung](https://wiki.turnus-espresso.de/Mess-System_zur_Parametererfassung). [Zugriff am 07 11 2021].
- [4] S. Czernin und J. Pytlik, „Mess-System zur Ermittlung der Betriebsparameter von Espressomaschinen Berechnungen,“ 2021.
- [5] arcus GmbH, „arcus Dichtelemente arcus GmbH,“ [Online]. Available: <https://www.o-ring.de/o-ring-acm-70/item-anfragemenge-1-categoryId-or-itemId-276099-search2-20.00-search3-1.50-search7-.html>. [Zugriff am 20 12 2021].
- [6] Kerb-Konus-Vertriebs-GmbH, „Kerb Konus,“ [Online]. Available: <https://www.kerbkonus.de/proddb/pdfframe.php?pdf=de.ds.30&lang=de>. [Zugriff am 20 12 2021].
- [7] Measuring Computing GmbH, „Measuring Computing,“ [Online]. Available: <https://www.mccdaq.de/DAQ-HAT/MCC-128.aspx>. [Zugriff am 20 12 2021].
- [8] Henkel Adhesives, „Henkel Adhesives,“ [Online]. Available: [https://www.henkel-adhesives.com/de/de/produkt/structural-adhesives/loctite\\_ea\\_9466.html](https://www.henkel-adhesives.com/de/de/produkt/structural-adhesives/loctite_ea_9466.html). [Zugriff am 22 01 2022].
- [9] A. Rohnen, „Wiki Turnus-Espresso,“ TURNUS Espresso GmbH, 04 11 2021. [Online]. Available: <https://wiki.turnus-espresso.de/DVG>. [Zugriff am 10 11 2021].
- [10] Kerb Konus Vertriebs GmbH, „Kerb Konus,“ [Online]. Available: <https://www.kerbkonus.de/proddb/pdfframe.php?pdf=de.ds.30&lang=de>. [Zugriff am 12 11 2021].
- [11] M. Ghica, „wiki-TURNUS,“ 07 11 2021. [Online]. Available: [https://wiki.turnus-espresso.de/Datei:NTCPlatine\\_v02.pdf](https://wiki.turnus-espresso.de/Datei:NTCPlatine_v02.pdf). [Zugriff am 17 12 2021].



Anhang


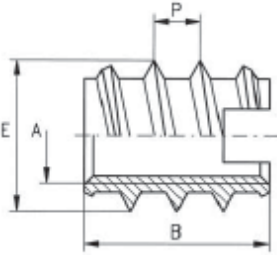


O-Ringe

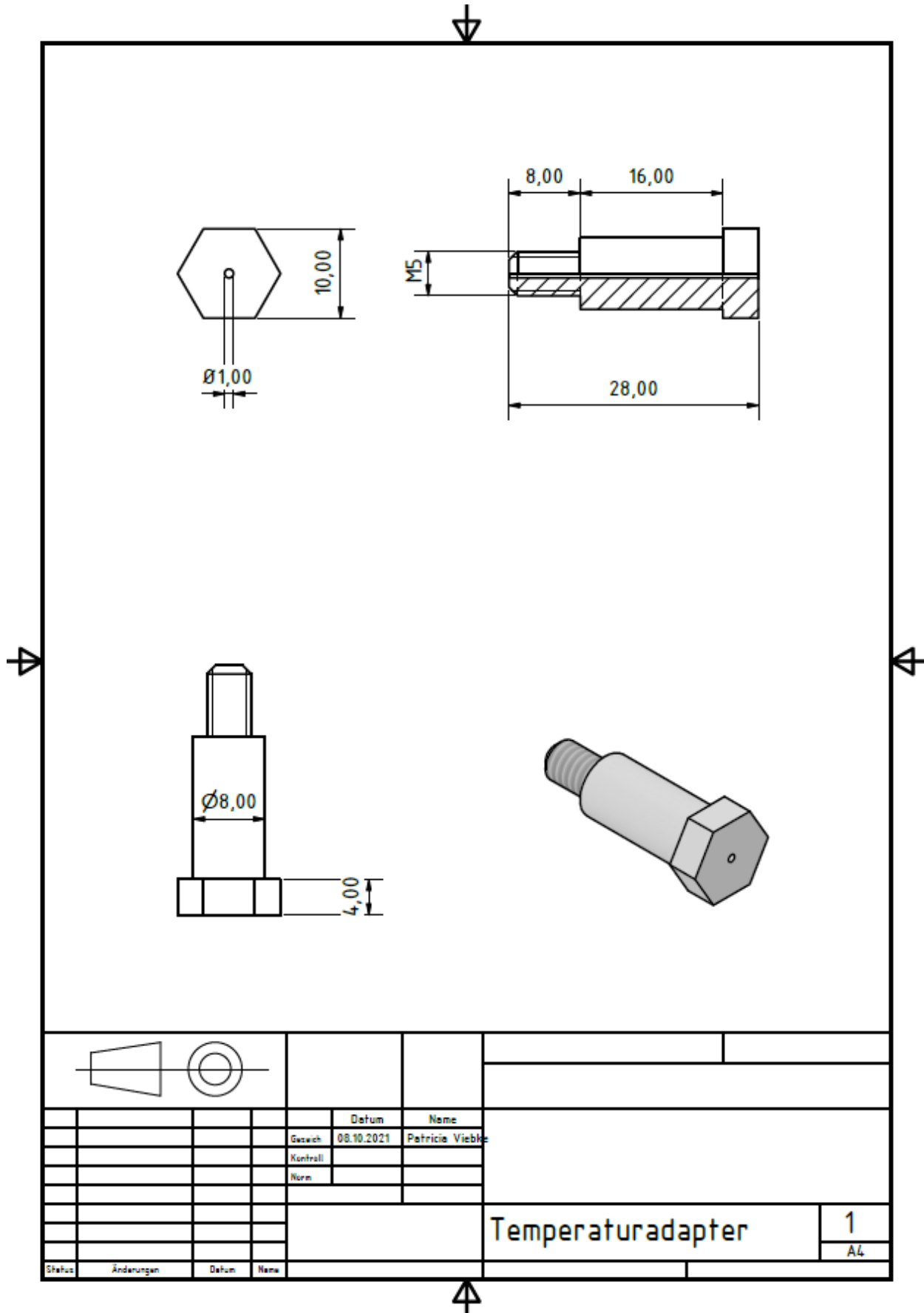
Schnur	Nuttiefe		Nutbreite			Radius
	dynamisch	statisch	ohne Stützring	mit einem Stützring	mit zwei Stützringen	
1,00		0,70	1,40			0,20
1,20		0,85	1,70			0,20
1,25		0,90	1,70			0,20
1,30		0,95	1,80			0,20
1,50	1,25	1,10	2,00			0,30
1,60	1,30	1,20	2,10	3,10	4,10	0,30
1,78	1,45	1,30	2,40	3,80	5,20	0,40
1,90	1,55	1,40	2,60	4,00	5,40	0,40
2,00	1,65	1,50	2,70	4,10	5,50	0,40
2,10	1,75	1,55	2,80	4,20	5,60	0,40
2,20	1,85	1,60	3,00	4,40	5,80	0,40
2,30	1,95	1,75	3,10	4,50	5,90	0,40
2,40	2,05	1,80	3,20	4,60	6,00	0,50
2,50	2,15	1,85	3,30	4,70	6,10	0,50
2,62	2,25	2,00	3,60	5,00	6,40	0,60
3,00	2,60	2,30	4,00	5,40	6,80	0,60
3,50	3,05	2,65	4,60	6,00	7,40	0,60
3,53	3,10	2,70	4,80	6,20	7,60	0,80
4,00	3,50	3,10	5,20	6,90	8,60	0,80
4,50	4,00	3,50	5,80	7,50	9,20	0,80
5,00	4,40	4,00	6,60	8,30	10,00	0,80
5,33	4,70	4,30	7,10	8,80	10,50	1,20
5,50	4,80	4,50	7,10	8,80	10,50	1,20
5,70	5,00	4,60	7,20	8,90	10,60	1,20
6,00	5,30	4,90	7,40	9,10	10,80	1,20
6,50	5,70	5,40	8,00	9,70	11,40	1,20
7,00	6,10	5,80	9,50	12,00	14,50	1,50
7,50	6,60	6,30	9,70	12,20	14,70	1,50
8,00	7,10	6,70	9,80	12,30	14,80	1,50
8,50	7,50	7,10	10,00	12,50	15,00	1,50
9,00	8,10	7,70	10,60	13,10	15,60	2,00
9,50	8,60	8,20	11,00	13,50	16,00	2,00
10,00	9,10	8,60	11,60	14,10	16,60	2,50
12,00	11,00	10,60	13,50	16,00	18,50	2,50

Anhang 1: Einbauempfehlung O-Ring [5]



		<b>Gewinde-Einsatz</b> selbstschneidend oder gewindeformend		<b>Ensat®-SH</b> Werknorm 309 0			
<b>Anwendung</b> Der Gewinde-Einsatz Ensat®-SH mit Schneidschlitz ist eine selbstschneidendes Verbindungselement zur Herstellung hochbelastbarer, verschleißfester und vibrations-sicherer Schraubverbindungen in: – Hartholz – Weichholz – weichem Kunststoff – Verbundwerkstoff		<b>Einbau:</b> <b>1. Selbstschneidend</b> Einbau mit Schneidschlitz nach <b>unten</b> (Normalanwendung) <b>2. Gewindeformend:</b> Einbau mit Schneidschlitz nach <b>oben</b> (in sehr weichen Materialien)					
Maße in mm							
Artikelnummer	Innen-gewinde A	Außengewinde		Länge B	Aufnahmelochdurchmesser (Richtwerte)		Mindest-Bohrlochtiefe bei Sacklöchern T
		E	P		Weichholz ≥ L	Kunststoff Hartholz L	
309 000 025 ...	M 2,5	5	1,6	6	3,5	3,6 bis 3,8	8
309 000 030 ...	M 3	5,5	1,6	6	4,1	4,2 bis 4,3	8
309 000 035 ...	M 3,5	6,5	1,6	8	4,6	4,7 bis 4,8	10
309 000 040 ...	M 4	7	2,5	10	5,1	5,2 bis 5,3	13
309 000 050 ...	M 5	9	3	12	6,6	6,7 bis 6,9	15
309 000 060 ...	M 6	10	4	14	7,6	7,7 bis 7,9	17
309 000 080 ...	M 8	13	4	20	9,9	10,1 bis 10,3	23
309 000 100 ...	M 10	16	5	23	12,4	12,6 bis 12,8	26
309 000 120 ...	M 12	19	5	26	15,4	15,6 bis 15,8	30
309 000 140 ...	M 14	22	5	26	18,4	18,6 bis 18,8	30
309 000 160 ...	M 16	24	5	26	20,4	20,6 bis 20,8	30
<b>Beispiel für das Finden der Artikelnummer</b>	Selbstschneidender Gewinde-Einsatz Ensat®-SH der Werknormreihe 309 0 mit Innengewinde A = M5 aus Messing: Ensat®-SH 309 000 050.800						
<b>Werkstoffe</b>	Stahl, ungehärtet, verzinkt, blau passiviert		Artikel-Nr. (vierte Zifferngruppe) ... .. 110		Artikel-Nr. (vierte Zifferngruppe) ... .. 800		
	Messing		<b>Andere Werkstoffe, Ausführungen (z. B. Feingewinde) und Veredelungsarten auf Anfrage.</b>				
<b>Toleranz</b>	ISO 2768-m						
<b>Gewinde</b>	Innengewinde A: nach ISO 6H Außengewinde E: Spezialgewinde, nach KKV-Vorgabe						
<b>Senkung</b>	Richtwert für die Ansenkung N (siehe Seite 5, Bild 5): <b>N = 1,0 bis 2,0 + E</b> (E = Außengewinde des Ensat®). Aufgrund des größeren Senkungsdurchmessers, <b>die Bohrung (L) mit 90° ansenken.</b>						

Anhang 2: Datenblatt verwendeter KerbKonus Gewindeeinsätze [6]



Anhang 3: Messadapter NTC - Temperatur vor Kaffeepuck nE61

# MCC 128

## 16-bit Voltage Measurement DAQ HAT for Raspberry Pi®



The MCC 128 is a 16-bit, high-speed voltage measurement DAQ HAT. The MCC 128 is shown here connected to a Raspberry Pi (not included).

### Overview

The MCC 128 is a voltage HAT (Hardware Attached on Top) board designed for use with Raspberry Pi, the most popular single-board computer on the market today.

A HAT is an add-on board with a 40W GPIO (general purpose input/output) connector that conforms to the Raspberry Pi HAT specification.

The MCC 128 HAT provides 8 SE/4 DIFF analog inputs for voltage measurements. Up to eight MCC HATs can be stacked onto one Raspberry Pi.

### Raspberry Pi Interface

The MCC 128 header plugs into the 40-pin general purpose I/O (GPIO) connector on a user-supplied Raspberry Pi. The MCC 128 was tested for use with all Raspberry Pi models with the 40-pin GPIO connector.

### HAT configuration

HAT configuration parameters are stored in an on-board EEPROM that allows the Raspberry Pi to automatically set up the GPIO pins when the HAT is connected.

### Stackable HATs

Up to eight MCC HAT boards can be stacked onto a single Raspberry Pi. Multiple boards can be synchronized using external clock and trigger input options.

Users can mix and match MCC HAT models in the stack.

### Analog Input

The MCC 128 provides 8 single-ended or 4 differential analog inputs. The input range is selectable for  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 2$  V, or  $\pm 1$  V.

### Sample Rates

- Single-board: max throughput is 100 kS/s.
- Stacked boards: max throughput is 320 kS/s aggregate<sup>1</sup>.

### External Scan Clock

A bidirectional clock I/O pin lets users pace operations with an external clock signal or with the board's internal scan clock. Use software to set the direction.

### Digital Trigger

The external digital trigger input is software-configurable for edge or level sensitive, rising or falling edge, or high or low level.

### Power

The MCC 128 is powered with 5 V provided by the Raspberry Pi through the GPIO header connector.

<sup>1</sup> Rate achieved using a Raspberry Pi 3 B+.

### Features

- 8 SE/4 DIFF 16-bit voltage inputs
- Single-ended and differential input modes
- 100 kS/s max sample rate (320 kS/s aggregate for stacked boards)
- Multiple input ranges
- Onboard sample buffers allow high-speed acquisition
- External scan clock
- External digital trigger input
- Screw terminal connections
- Stack up to eight MCC HATs onto a single Raspberry Pi

### Software

- MCC DAQ HAT Library; available on GitHub

### Supported Operating Systems

- Linux®/Raspbian

### Programming API

- C, C++, Python

### MCC DAQ HAT Library

The open-source MCC DAQ HAT Library of commands in C/C++ and Python allows users to develop applications on the Raspberry Pi using Linux.

The library is available to download from [GitHub](#). Comprehensive API and hardware [documentation](#) is available.

The MCC DAQ HAT Library supports operation with multiple MCC DAQ HATs running concurrently.

Console-based and user interface (UI) example programs are available for each API.



Technisches Datenblatt

# LOCTITE® EA 9466™

Bekannt als LOCTITE® Hysol® 9466™  
August 2019

## PRODUKTBESCHREIBUNG

LOCTITE® EA 9466™ besitzt die folgenden Produkteigenschaften:

<b>Technologie</b>	Epoxidharz
Chemische Basis	Epoxidharz
Aussehen Harz	Weiß, opak, pastös
Aussehen Härter	Weiß, transluzent, flüssig
Farbe (Mischung A+B)	Hellbeige, opak, pastös
Komponenten	Zwei Komponenten - Mischen erforderlich
Viskosität	Mittel
Mischungsverhältnis, Volumen - Harz	2 : 1
Mischungsverhältnis, Gewicht - Harz : Härter	100 : 50
<b>Aushärtung</b>	Nach Mischen Härtung bei Raumtemperatur
<b>Anwendung</b>	Kleben

LOCTITE® EA 9466™ ist ein schlagzäher Epoxidklebstoff mit langer Verarbeitungszeit für industrielle Anwendungen. Nach dem Mischen härtet der zweikomponentige Epoxidklebstoff bei Raumtemperatur zu einer hellbeigen Klebstoffschicht aus, die hohe Schäl- und Scherfestigkeiten aufweist. Die vollständig ausgehärtete Epoxidmatrix ist beständig gegen eine Vielzahl von Chemikalien und Lösungsmitteln und ist ein hervorragender elektrischer Isolator. Mit LOCTITE® EA 9466™ lassen sich auf vielen Kunststoffen und Metallen hohe Klebefestigkeiten erzielen. Wird typischerweise für allgemeine Industrieanwendungen eingesetzt, die eine längere Verarbeitungszeit zum Ausrichten der Bauteile während des Fügens erfordern.

## MATERIALEIGENSCHAFTEN

### Harz:

Spez. Dichte bei 25 °C	1,0
Flammpunkt - siehe Sicherheitsdatenblatt	
Viskosität, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP):	
Spindel 6, bei 20 U/min	15.000 bis 50.000

### Härter:

Spez. Dichte bei 25 °C	1,0
Flammpunkt - siehe Sicherheitsdatenblatt	
Viskosität, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP):	
Spindel 5, bei 50 U/min	25.000 bis 60.000

### Mischung:

Verarbeitungszeit, Minuten	60
----------------------------	----

## TYPISCHE AUSHÄRTEEIGENSCHAFTEN

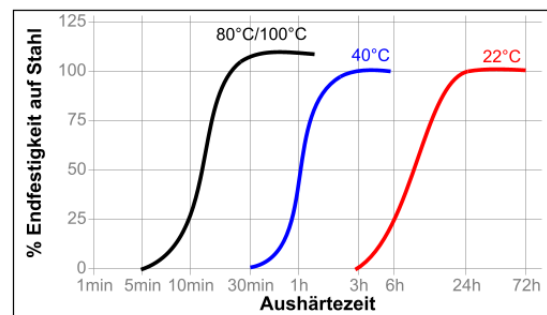
### Handfestigkeit

Die Zeit zur Erreichung der Handfestigkeit bezeichnet die Zeitspanne, die erforderlich ist, um eine Scherfestigkeit von 0,1 N/mm<sup>2</sup> zu entwickeln

Handfestigkeit, ISO 4587, Minuten:	
Stahl (sandgestrahlt)	180

### Aushärtegeschwindigkeit in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur

Die Aushärtezeit ist abhängig von der Umgebungstemperatur. Durch erhöhte Temperaturen kann die Aushärtung beschleunigt werden. Das untenstehende Diagramm zeigt die zeitliche Entwicklung der Scherfestigkeit auf sandgestrahlten Zugscherproben aus Stahl bei unterschiedlichen Temperaturen. Geprüft gemäß ISO 4587.



## TYPISCHE EIGENSCHAFTEN IM AUSGEHÄRTETEN ZUSTAND

Aushärtezeit 7 Tage bei 22 °C, Schichtstärke 1,2 mm

### Physikalische Eigenschaften:

Glasübergangstemperatur, ASTM E 1640, °C	62
Shore Härte, ISO 868, Durometer D	60
Dehnung, ISO 527-3, %	3
Zugfestigkeit ASTM D 882	N/mm <sup>2</sup> 32 (psi) (4.640)
Zugmodul, ISO 527-3	N/mm <sup>2</sup> 1.718 (psi) (249.110)

### Elektrische Eigenschaften:

Dielektrische Durchschlagsfestigkeit, IEC 60243-1, kV/mm	30
--	----



**FUNKTIONSEIGENSCHAFTEN IM AUSGEHÄRTETEN ZUSTAND**

**Eigenschaften**

Aushärtezeit 5 Tage bei 22 °C  
Zugscherfestigkeit, ISO 4587:

Stahl (sandgestrahlt)	N/mm <sup>2</sup>	37,0
	(psi)	(5.365)
Aluminium (geschmirgelt)	N/mm <sup>2</sup>	26,0
	(psi)	(3.770)
Aluminium (eloxiert)	N/mm <sup>2</sup>	17,9
	(psi)	(2.595)
Verzinkter Stahl (feuerverzinkt)	N/mm <sup>2</sup>	8,5
	(psi)	(1.230)
Edelstahl	N/mm <sup>2</sup>	23,0
	(psi)	(3.335)
Polycarbonat	N/mm <sup>2</sup>	5,3
	(psi)	(765)
Nylon = Polyamid 6.6	N/mm <sup>2</sup>	1,6
	(psi)	(230)
Holz (Tanne)	N/mm <sup>2</sup>	11,3
	(psi)	(1.635)
GFK	N/mm <sup>2</sup>	5,0
	(psi)	(725)
ABS	N/mm <sup>2</sup>	4,7
	(psi)	(680)

180° Schärfestigkeit, ISO 8510-2:  
Stahl (sandgestrahlt)

	N/mm	8,0
	(lb/in)	(45,5)

Zugfestigkeit, ISO 6922:  
Stahlbolzen (sandgestrahlt) bis Glas

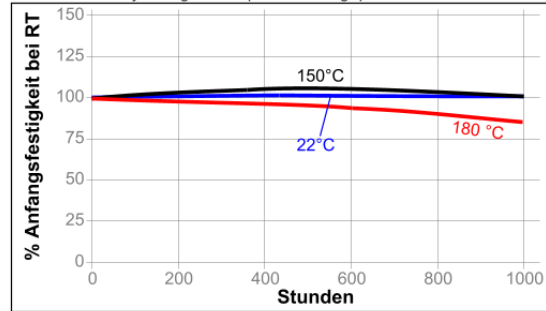
	N/mm <sup>2</sup>	43,2
	(psi)	(6.260)

Scherschlagfestigkeit, ISO 9653, J/m<sup>2</sup> :  
Stahl (sandgestrahlt)

		5,8
--	--	-----

**Wärmealterung**

Gealtert bei der jeweiligen Temperatur und geprüft bei 22°C



**Beständigkeit gegen Medien**

Alterungstest wie beschrieben und geprüft bei 22°C.

Medium	°C	% Anfangsfestigkeit	
		500 h	1000 h
Motoröl (10W-30)	87	135	145
Bleifreies Benzin	22	95	125
Wasser/Glycol 50/50	87	75	75
Salznebel	22	---	80
98% rel. LF	40	85	90
kondensierende Feuchtigkeit	49	---	90
Wasser	22	---	90
Aceton	22	75	90
Isopropanol	22	90	100

Tensile Strength, ISO 6992:

Steel pin (grit blasted) to Soda glass

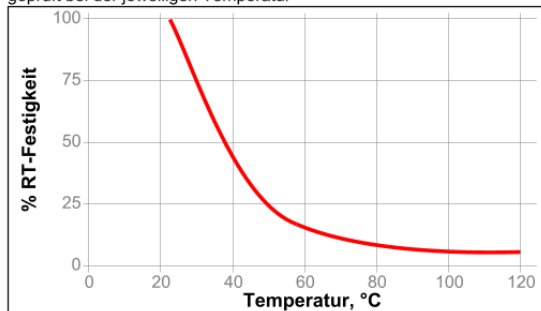
Medium	°C	% Anfangsfestigkeit	
		500 h	1000 h
98% rel. LF	40	90	90

**BESTÄNDIGKEIT GEGEN UMGEBUNGSEINFLÜSSE**

Aushärtezeit 5 Tage bei 22 °C  
Zugscherfestigkeit, ISO 4587:  
Stahl (sandgestrahlt)

**Temperaturfestigkeit**

geprüft bei der jeweiligen Temperatur



**ALLGEMEINE INFORMATION**

**Sicherheitshinweise zu diesem Produkt entnehmen Sie bitte dem Sicherheitsdatenblatt.**

**Dieses Produkt ist nicht geeignet für reinen Sauerstoff und/oder sauerstoffangereicherte Systeme und sollte nicht als Dichtstoff für Chlor oder stark oxidierende Medien gewählt werden.**

Wenn die zu verklebenden Oberflächen vorher mit einem wässrigen Reinigungssystem gereinigt werden, ist darauf zu achten, dass die Verträglichkeit zwischen Reiniger und Kleb- bzw. Dichtstoff gegeben ist. In manchen Fällen können diese wässrigen Reiniger die Aushärtung bzw. die Eigenschaften des Klebstoffes beeinträchtigen.

**Gebrauchshinweise**

1. Für beste Klebeeigenschaften müssen Oberflächen sauber und fettfrei sein.
2. Für hochfeste strukturelle Klebeverbindungen alle Oberflächenverunreinigungen, wie Farbe, Oxidschichten, ölige Rückstände, Staub, Trennmittel, etc. entfernen.
3. **Doppelkartuschen:** Kartusche in die Dosierpistole einlegen. Verschluß der Kartusche entfernen und eine kleine Menge herausdrücken, damit

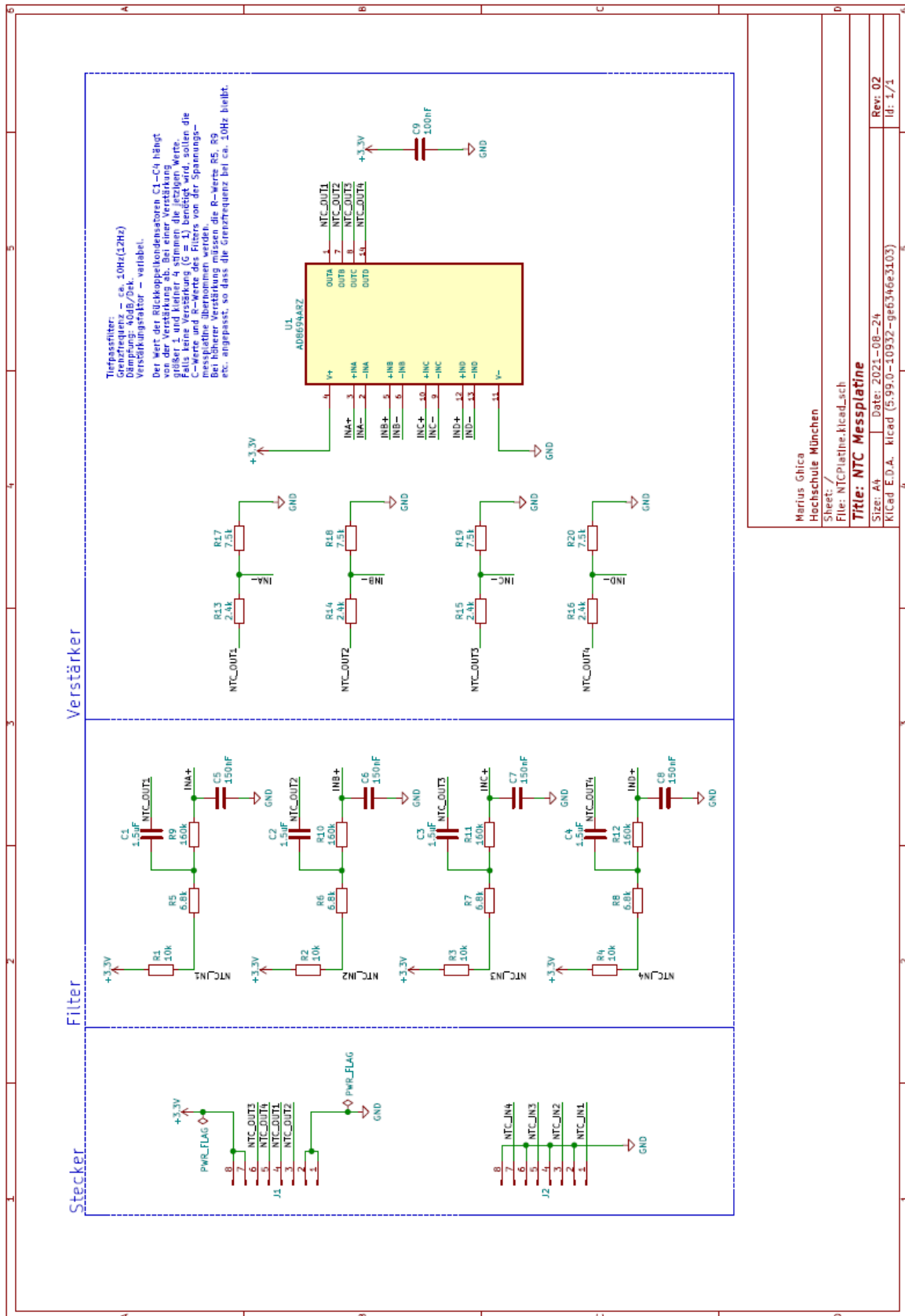
Henkel Americas  
+860.571.5100

Henkel Europe  
+49.89.9268.0

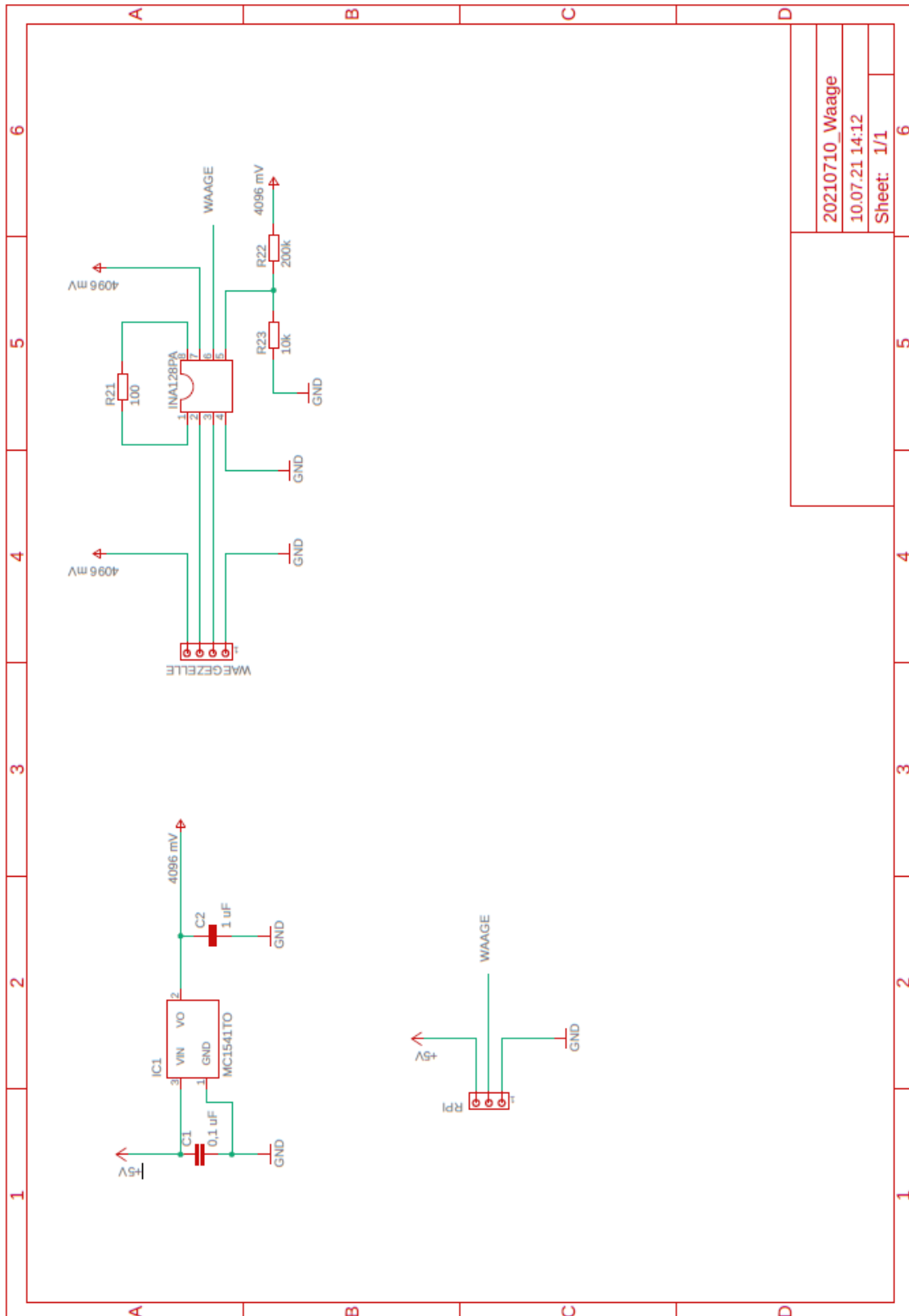
Henkel Asia Pacific  
+81.45.758.1810

**Den direktesten Zugang zu Informationen und Unterstützung in kaufmännischen und technischen Fragen finden Sie im Internet unter: [www.henkel.com/industrial](http://www.henkel.com/industrial)**





Anhang 6: NTC Spannungsmessplatine



Anhang 7: Schaltplan der Platine für eine Wägezelle



# BEDIENUNGSANLEITUNG

## Industrielle Drucktransmitter mit Spannungs- oder Stromausgang - DRTR-ED-XX-R



### Beschreibung



### Technische Daten

DRTR-ED-R	
Messbereich	-1...+100 bar, 12 Typen
Überlast	Siehe Tabelle
Restfehler Linearität / Hyst.	< ±0,2 % FS
Temperaturkoeffizient	TCO < ±0,015 % FS / K TCG < ±0,010 % FS / K
Einsatz-Temperaturbereich	-20...+80 °C
Werkstoff Sensor	Keramik, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Werkstoff Gehäuse	Edelstahl 1.4305
Dichtung	Viton
Druckanschluss	G $\frac{1}{4}$ Aussengewinde
Abmessungen	(BxHxT) 89x50x30 mm
Anschluss	4-poliger Industriestecker, DIN 43650
Schutzart	IP65
CE-Konformität	2004/108/EG
EMV-Störaussendung	EN 61000-6-3:2011
EMV-Störfestigkeit	EN 61000-6-1:2007
Ausführung 4 ... 20 mA	
Ausgangssignal	4...20 mA, Zweileiter
Zulässige Bürde	Ra[Ω]=(Uv[V]-10V) 0,02 A
Ausführung 0 ... 10 V	
Ausgangssignal	0...10 V, Dreileiter
Hilfsenergie	12...30 V DC / 5 mA

### Leistungsmerkmale

- Produktvarianten von Vakuum bis 100 bar FS
- Zur Messung von Relativdruck
- Ausgang Normsignal 0...10 V oder 4...20 mA
- Temperaturkompensiert
- Robuste, medienbeständige Ausführung
- Einfache Montage
- Wasser- und Ölbeständig
- Schutzart IP65

### Anwendungsgebiete

- Pneumatik
- Hydraulik
- Industrielle Anwendungen
- Maschinen- und Anlagenbau
- Automatisierungstechnik

### Eigenschaften

Die Druckfühler der Baureihe DRTR übertragen den Messwert als kalibriertes und temperatur-kompensiertes Normsignal 0...10 V oder 4...20 mA. Das Lieferspektrum deckt mit 12 abgestuften Messbereichsvarianten den Druckbereich von Vakuum bis 100 bar FS ab (Siehe Tabelle).

Durch eine präzise Kalibrierung an 7 Messpunkten wird eine hervorragende Präzision und ein sehr geringer Temperatur-Restfehler erreicht. Die Fühler sind ideal zur Messung von statischen und dynamischen Relativ-Drücken in Flüssigkeiten oder Gasen geeignet. Typische Anwendungsgebiete ergeben sich im Bereich der Pneumatik, in der Hydraulik sowie in industriellen Applikationen. Das robuste Fühlergehäuse mit Schutzart IP65 ist aus Edelstahl und besitzt als Medienanschluss ein  $\frac{1}{4}$ " Aussengewinde.

Der elektrische Anschluss erfolgt über einen Industriestecker nach DIN 43650. Die Ausführung mit Stromsignal wird über die Stromschleife versorgt. Die Ausführung mit Spannungsausgang benötigt Hilfsenergie. Neben den Standardvarianten sind auch kundenspezifische Ausführungen für Absolutdruck, mit anderer Kalibrierung, mit ratiometrischem Spannungsausgang oder auch mit digitalem Ausgangssignal lieferbar. Weitere Informationen zu OEM-Ausführungen erhalten Sie auf Anfrage!

# BEDIENUNGSANLEITUNG



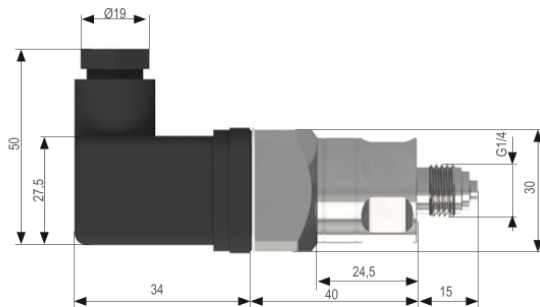
## Industrielle Drucktransmitter mit Spannungs- oder Stromausgang - DRTR-ED-XX-R

### Anschlussbelegung

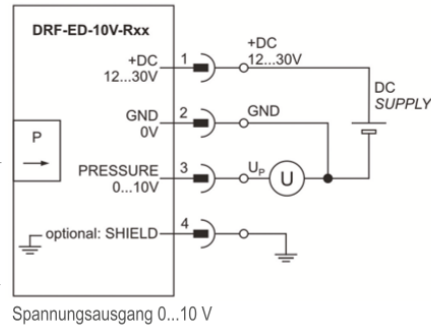
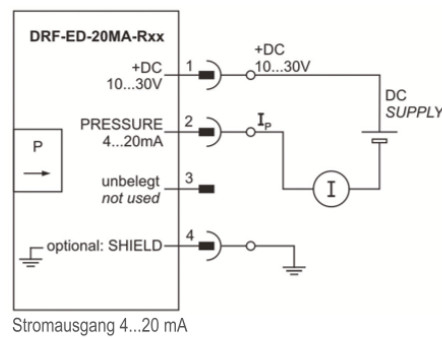
Pin	Spannungsausgang	Stromausgang
1	+DC 12...30 V	+DC 10...30 V
2	GND 0 V	I PRESSURE 4...20 mA
3	U PRESSURE 0...10V	---
4	SHIELD	SHIELD



### Abmessungen



### Anschlusskizzen



### Lieferspektrum

Messbereich	Berstdruck	Bestell Nr. Stromausgang	Bestell Nr. Spannungsausgang
-1...0 bar	4 bar	DRTR-ED-20MA-RV0	DRTR-ED-10V-RV0
-1...1 bar	4 bar	DRTR-ED-20MA-RV1	DRTR-ED-10V-RV1
0...1,6 bar	4 bar	DRTR-ED-20MA-R1B6	DRTR-ED-10V-R1B6
0...2,5 bar	6,25 bar	DRTR-ED-20MA-R2B5	DRTR-ED-10V-R2B5
0...4 bar	10 bar	DRTR-ED-20MA-R4B	DRTR-ED-10V-R4B
0...6 bar	15 bar	DRTR-ED-20MA-R6B	DRTR-ED-10V-R6B
0...10 bar	25 bar	DRTR-ED-20MA-R10B	DRTR-ED-10V-R10B
0...16 bar	40 bar	DRTR-ED-20MA-R16B	DRTR-ED-10V-R16B
0...25 bar	62,5 bar	DRTR-ED-20MA-R25B	DRTR-ED-10V-R25B
0...40 bar	100 bar	DRTR-ED-20MA-R40B	DRTR-ED-10V-R40B
0...60 bar	150 bar	DRTR-ED-20MA-R60B	DRTR-ED-10V-R60B
0...100 bar	175 bar	DRTR-ED-20MA-R100B	DRTR-ED-10V-R100B

Relativdruckmessung, 0 bar entspricht Umgebungsdruck! Höhere Druckbereiche bis 400 bar auf Anfrage.

Weitere Informationen im Internet unter: [www.bb-sensors.com](http://www.bb-sensors.com)

Technische Änderungen vorbehalten  
0141 0316-214 17.08.2015

B+B Thermo-Technik GmbH | Heinrich-Hertz-Straße 4 | D-78166 Donaueschingen  
Fon +49 771 83160 | Fax +49 771 8316-50 | [info@bb-sensors.com](mailto:info@bb-sensors.com) | [bb-sensors.com](http://bb-sensors.com)



2 / 2