

Projektarbeit

Mess- und Regelungstechnik rund um die Kaffeemaschine



Gruppe 4

Hochschule Regensburg
Fakultät Maschinenbau

Zusammenfassung

Die Projektarbeit beschäftigt sich grundsätzlich mit dem Themengebiet Mess- und Regelungstechnik rund um die Kaffeemaschine. Der Schwerpunkt dieser einsemestrigen Projektarbeit liegt in der Analyse des Druck-/ Temperaturverlaufes eines DeLonghi Magnifica Kaffeefullautomaten während des Brühvorgangs. Die Aufnahme der Messdaten und Auswertung dieser, wird mit der Software MATLAB durchgeführt. Darüber hinaus stellt das Reverseengineering dieser Maschine einen weiteren projektbegleitenden Punkt dar.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	8
1.1 Übersicht	8
1.2 Problemstellung	8
1.3 Projektplanung	9
1.4 Prinzipieller Aufbau DeLonghi Magnifica	10
2 Instandsetzung und Inbetriebnahme	14
2.1 Entkalkung und Grundreinigung	14
2.2 Instandsetzung des Mahlwerkes	14
3 Modifikationen	15
3.1 Einbau Drucksensor	15
3.2 Einbau Temperatursensor	15
3.3 Einbau Durchflussmesser	15
3.4 Schaltplan und Verkabelung	18
3.4.1 Vorauslegung der Vorwiderstände	20
4 MATLAB Daten Akquisition	26
4.1 Sensor Kennlinien	26
4.1.1 Kennlinie Temperatursensor	26
4.1.2 Kennlinie Drucksensor	27
4.2 MATLAB Kennlinienberechnung und Datenakquisition	27
4.2.1 Regressionsrechnung	27
4.2.2 Funktionen zur Kennlinienberechnung	29
4.2.3 Programmablaufplan Messung	32
4.2.4 Verbindungsaufbau und Datenabgriff	33
4.2.5 Rauschreduzierung der Messwerte	37
4.2.6 Messdatenauswertung	38
5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation	44
5.1 Variation der Mahlmenge	45
5.1.1 Minimale Mahlmenge	45
5.1.2 Mittlere Mahlmenge	47
5.1.3 Maximale Mahlmenge	49
5.1.4 Ergebnisinterpretation Variation Mahlmenge	51
5.2 Variation des Mahlgrades	52

Inhaltsverzeichnis

5.2.1	Mahlgrad Stufe 30	52
5.2.2	Mahlgrad Stufe 27	54
5.2.3	Ergebnisinterpretation Variation Mahlgrad	56
5.3	Maximaldrucktest	56
5.4	Abschließende Informationen	57
5.4.1	Allgemeine Hinweise bei der Verwendung des Versuchsaufbaus	57
5.4.2	Durchführung einer Messung (Kurzbeschreibung)	58
5.4.3	Durchführung einer Auswertung	59
6	Ausblick und Anregungen	60
7	Anhang	61

Abbildungsverzeichnis

1.1	Projektplan (DIN A4 Plot siehe Anhang)	9
1.2	Frontalansicht	10
1.3	Vorderansicht bei geöffneter Frontblende	11
1.4	Seitenansicht links	11
1.5	Rückansicht	12
1.6	Draufsicht	12
1.7	Demontierte Brüheinheit	13
1.8	Demontierter Brühkolben mit Tamperstempel	13
3.1	Temperatursensor (NTC)	16
3.2	Drucksensor mit T-Stück und Masseanschluss	16
3.3	Durchflussmesser	17
3.4	Rückansicht mit verbauter Sensorik	17
3.5	Signal-LED bei aktiver Messung	19
3.6	Y-Flachstecker mit Isolierung zur Signalmanipulation	20
3.7	Schaltplan Überbrückungsschaltung	20
3.8	Unbelasteter Spannungsteiler mit NTC Widerstand	21
3.9	Schaltplan Messtechnik	22
3.10	Pinning D-Sub Stecker	23
3.11	National Instruments USB-6251	24
3.12	D-Sub Stecker und DEMO-Mode Wippschalter	24
3.13	Netzteil HAMEG HM7042-3	24
4.1	Errechnete Kennlinie des Temperatursensors $T_{(R)}$	30
4.2	Errechnete Kennlinie des Drucksensors $p_{(R)}$	31
4.3	Errechnete Regressionskennlinie des Drucksensors $p_{(R)}$	31
4.4	Programmablaufplan Messung	32
4.5	Druckverlauf mit eingezeichnetem gleitendem Mittel	39
4.6	Time Offset	40
4.7	Auslösetrigger für Messbereichserfassung	41
5.1	Mahlmenge minimal	45
5.2	Druckverlauf - Minimale Mahlmenge	45
5.3	Temperaturverlauf - Minimale Mahlmenge	46
5.4	Druck-/Temperaturverlauf - Minimale Mahlmenge	46
5.5	Mahlmenge mittel	47
5.6	Druckverlauf - Mittlere Mahlmenge	47

Abbildungsverzeichnis

5.7	Temperaturverlauf - Mittlere Mahlmenge	48
5.8	Druck-/Temperaturverlauf - Mittlere Mahlmenge	48
5.9	Mahlmenge maximal	49
5.10	Druckverlauf - Maximale Mahlmenge	49
5.11	Temperaturverlauf - Maximale Mahlmenge	50
5.12	Druck-/Temperaturverlauf - Maximale Mahlmenge	50
5.13	Druckverlauf - Mahlgrad Stufe 30	52
5.14	Temperaturverlauf - Mahlgrad Stufe 30	53
5.15	Druck-/Temperaturverlauf - Mahlgrad Stufe 30	53
5.16	Druckverlauf - Mahlgrad Stufe 27	54
5.17	Temperaturverlauf - Mahlgrad Stufe 27	55
5.18	Druck-/Temperaturverlauf - Mahlgrad Stufe 27	55
5.19	Maximaldruckttest	57
5.20	Betriebsbereiter Versuchsaufbau	58
7.1	Zeichnung T-Stück	63

Tabellenverzeichnis

1.1	Bauteile	10
3.1	Pinning D-Sub Stecker	23
5.1	Gemittelttes Messergebnis bei minimaler Mahlmenge	45
5.2	Gemittelttes Messergebnis bei mittlerer Mahlmenge	47
5.3	Gemittelttes Messergebnis bei maximaler Mahlmenge	49
5.4	Messergebnis Mahlgrad Stufe 30	52
5.5	Messergebnis Mahlgrad Stufe 27	54
7.1	Eingesetztes Material	64

1 Einführung

Kaffee zählt zu dem am meisten konsumierten Getränken in Europa, daher ist es nicht verwunderlich, dass die Zubereitung maßgeblich von der vorherrschenden Kultur und dem persönlichen Geschmack des Einzelnen geprägt ist. Daher stellt sich die Frage, mit welchen Parametern ein Kaffeevollautomat arbeitet, da diese Art von Maschinen vielfach Verwendung finden. Im Zuge dieser Projektarbeit soll der Druck und die Temperatur während des Brühvorganges exemplarisch an einem DeLonghi Magnifica Kaffeevollautomaten analysiert werden.

1.1 Übersicht

Um Aussagen über das Brühverhalten der Maschine treffen zu können müssen folgende Daten je Brühvorgang erfasst und ausgewertet werden:

- Wasserdurchflussmenge,
- Brühdruck,
- Brühtemperatur und
- Maschineneinstellung (z.B. Mahlgrad, Tassengröße).

1.2 Problemstellung

Bei dem verwendeten Kaffeevollautomaten handelt es sich um eine DeLonghi Magnifica ESAM 4200 welche den Low-Budget-Bereich abdeckt. Die vorliegende Versuchsmaschine weist einen Defekt im Mahlwerk auf, welches vorab in Stand gesetzt werden muss. Darüber hinaus muss das Gerät entsprechend entkalkt werden, um eine dem Auslieferungszustand entsprechende Performance zu erreichen. Um die Messwerte Druck und Temperatur aufnehmen zu können muss die Maschine zusätzlich mit einem Temperatursensor in der Brüheinheit und einem Drucksensor in der Druckleitung bestückt werden. Darüber hinaus wird noch ein Flowmeter installiert, um den Wasserdurchfluss messen zu können. Die Sensordaten werden mit Hilfe eines National Instruments USB-A/D-Wandlers aufgenommen.

1.3 Projektplanung

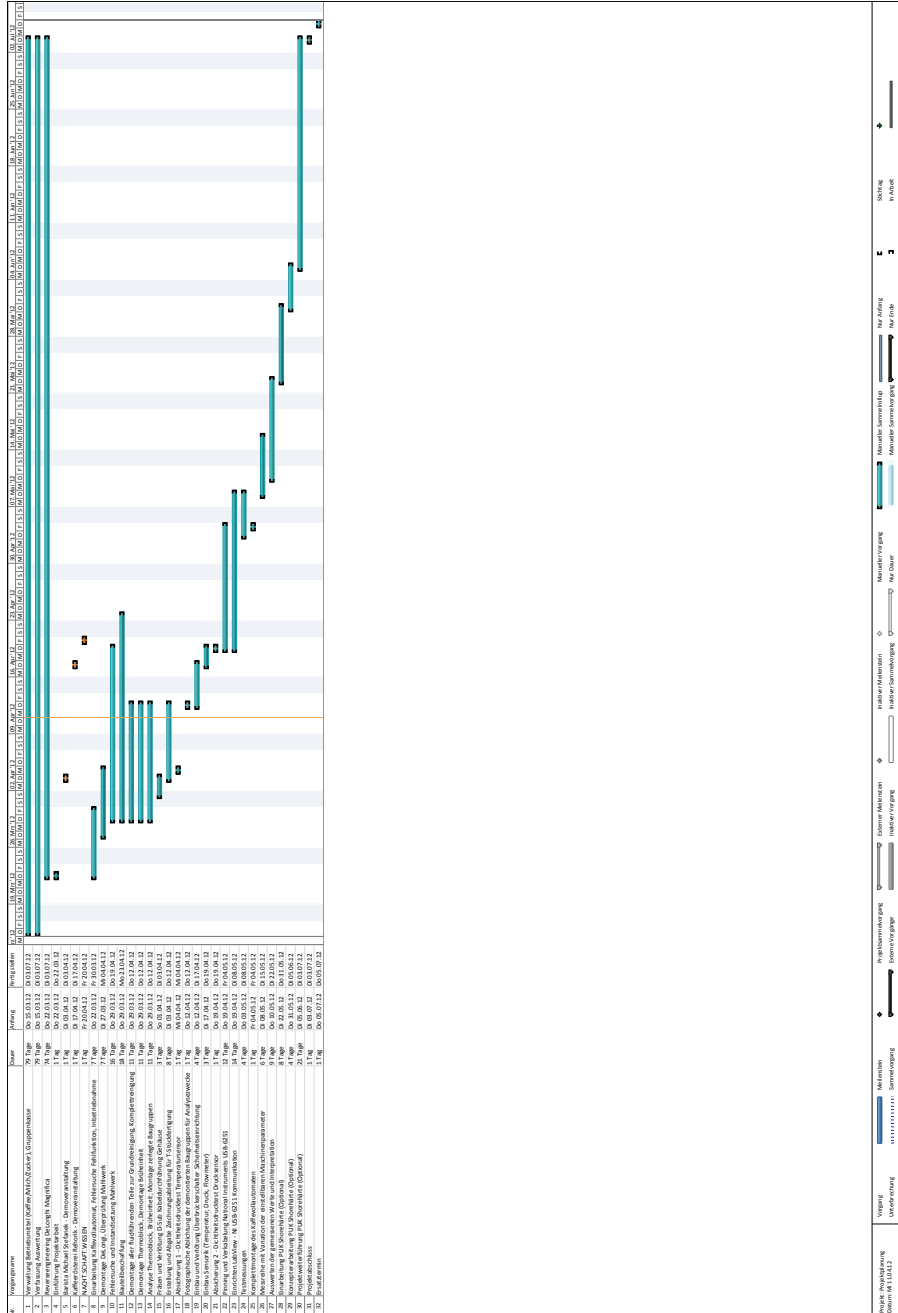


Abbildung 1.1: Projektplan (DIN A4 Plot siehe Anhang)

1.4 Prinzipieller Aufbau DeLonghi Magnifica



Abbildung 1.2: Frontalansicht

Tabelle 1.1: Bauteile

Position	Bauteil
1	Brüheinheit
2	PUK-Behälter
3	Brühkolben
4	Leistungselektronik/Regelung
5	Flowmeter
6	Antrieb Brüheinheit
7	ULKA EP5 Pumpe
8	Überdruckventil
9	Thermoblock
10	Mikroschalter Brühzylinder
11	Mikroschalter Frontklappe
12	Kegelmahlwerk

1 Einführung

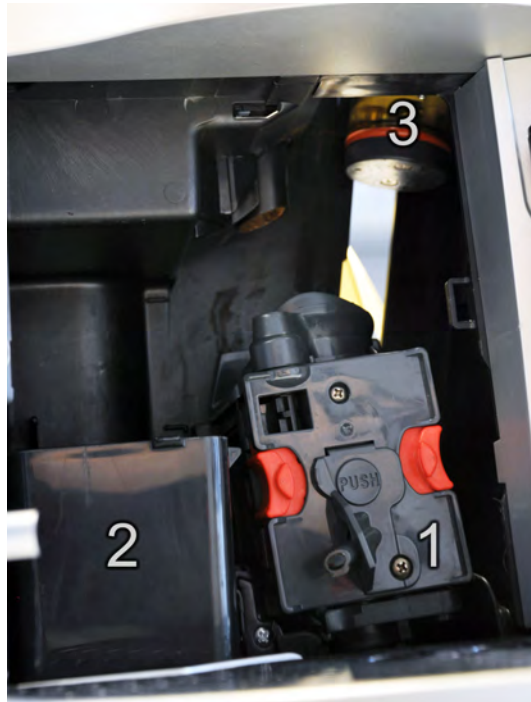


Abbildung 1.3: Vorderansicht bei geöffneter Frontblende



Abbildung 1.4: Seitenansicht links

1 Einführung

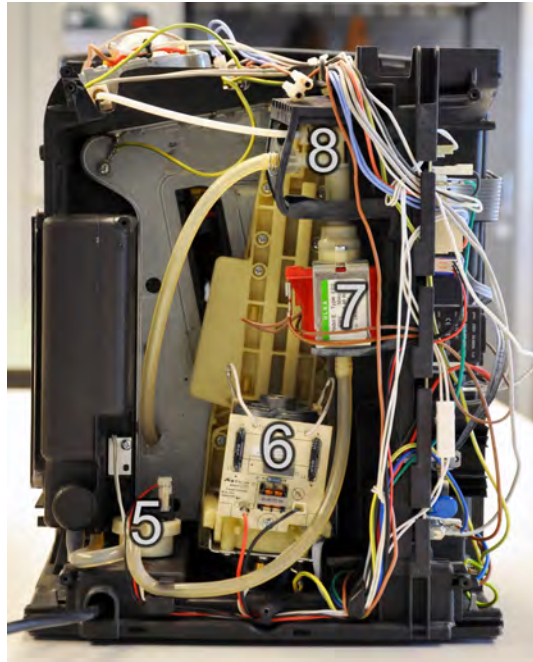


Abbildung 1.5: Rückansicht

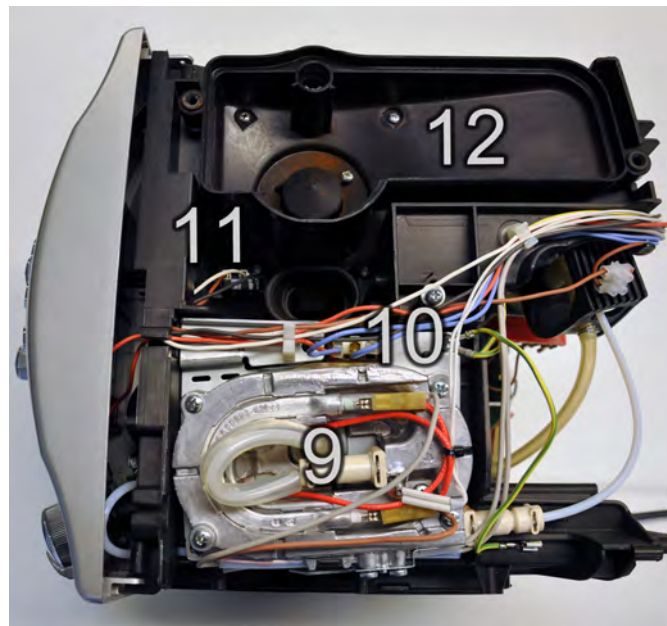


Abbildung 1.6: Draufsicht

1 Einführung



Abbildung 1.7: Demontierte Brühinheit

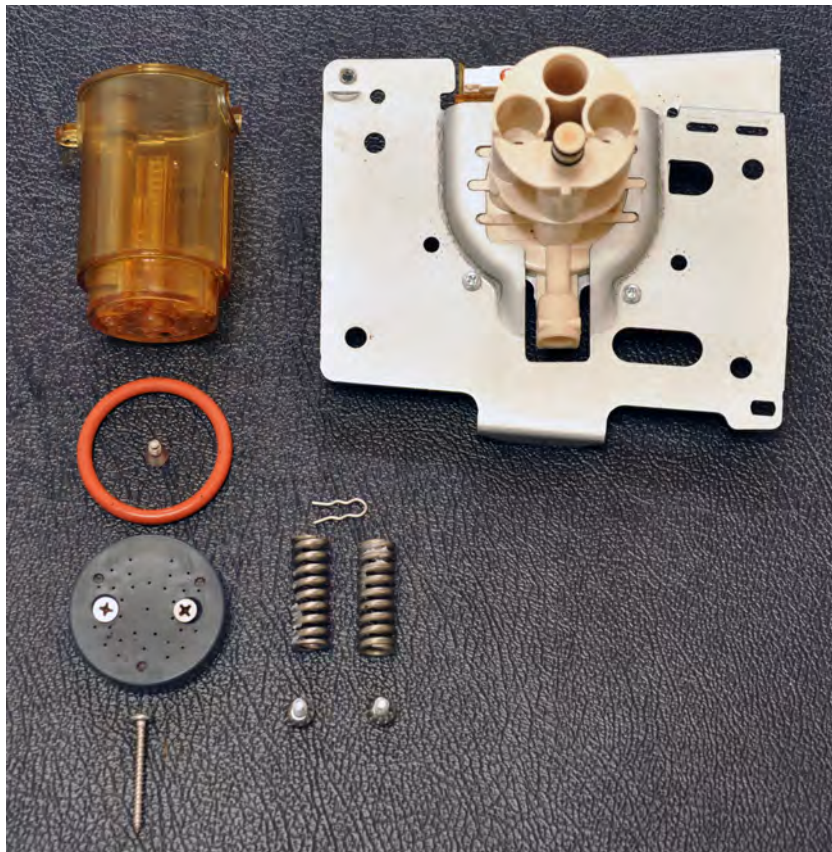


Abbildung 1.8: Demontierter Brühkolben mit Tamperstempel

2 Instandsetzung und Inbetriebnahme

Um die Maschine nutzen zu können müssen diverse Arbeiten durchgeführt werden, welche im folgenden erläutert werden.

2.1 Entkalkung und Grundreinigung

Aufgrund der starken Sedimentation von Calciumcarbonaten (Kalk) in der Maschine ist es notwendig die Maschine zu entkalken, da diese mit sehr hartem Wasser betrieben wurde. Durch die Entkalkung soll die Leistungsfähigkeit der Maschine wiederhergestellt werden, um aussagekräftige und vergleichbare Messungen durchführen zu können. Die Entkalkung wird mit dem maschineneigenen Entkalkungsprogramm und einem handelsüblichen Entkalker durchgeführt. Darüber hinaus wurde die Maschine komplett demontiert und gereinigt, um Verunreinigungen des Vorbesitzers auszuschließen.

2.2 Instandsetzung des Mahlwerkes

Das Mahlwerk muss vor der ersten Verwendung im Versuchsaufbau entsprechend Instandgesetzt werden, da dieses eine Fehlfunktion aufweist. Die in den Voratsbehälter eingebrachten Kaffeebohnen werden von dem Mahlwerk nicht wie in der Funktionsbeschreibung definiert gemahlen. Die Kaffeebohnen werden in das Kegelmahlwerk eingezogen und nur teilweise vermahlen, da ab einer bestimmten Belastung der Riemen des Antriebsmotors aufgrund von Schmiermittelaustritt aus dem darüberliegenden Planetengetriebe durchrutscht. Aufgrund einer längeren Verwendung des fehlerhaften Mahlwerkes weist der Riemen entsprechende Verschleißerscheinung in Form von beschädigten Rippen auf. Dieser Riemen ist nicht als separates Ersatzteil zu erhalten und muss daher auf jeden Fall erhalten werden. Das Schmiermittel ist vermutlich aufgrund von thermischer Überlast ausgetreten. Das Mahlwerk wies bei der Demontage einen extrem feinen Mahlgrad auf, welcher für dieses Kegelmahlwerk nicht geeignet war. Aufgrund der höheren Belastung ist eine deutliche Temperaturerhöhung im Getriebe und des Antriebsmotors festzustellen. Die erhöhte Temperatur war mutmaßlich auch der Auslöser des Schmiermittelaustrittes ($\text{Viskosität} = f(T)$) und der damit verbundenen Verfettung des Riemens. Um dem weitestgehend entgegenzuwirken wurden der Riemen entfettet und der Mahlgrad herabgesetzt. Weiterhin wurde die Riemenspannung etwas erhöht um ein Durchrutschen weitestgehend zu verhindern.

3 Modifikationen

3.1 Einbau Drucksensor

Um den Druckverlauf während des Brühvorganges aufzeichnen zu können, muss die Maschine mit einem Drucksensor ausgerüstet werden. Der Drucksensor muss in die Druckleitung der Maschine eingebracht werden. Um dies realisieren zu können, wird der Drucksensor mit Hilfe eines eigens für diesen Versuch gefertigten T-Stückes mit der Druckleitung verbunden. Die Teflonschläuche der Kaffeemaschine werden mit IQS-Steckanschlüssen in das T-Stück geführt. Bei der Beschaffung der Steckanschlüsse wurde darauf geachtet, dass die Steckanschlüsse den Spezifikationen der Kaffeemaschine entsprechen. Eine Dichtheit bis 20 bar wurde durch den Hersteller auch bei der Verwendung von Flüssigkeiten bestätigt. In diesem Zusammenhang sei auf die CAD-Zeichnung Abbildung 7.1 verwiesen. Bei dem verwendeten Drucksensor handelt es sich um einen einpoligen VDO Druckgeber welcher einen Druckbereich von 0-25 bar abdeckt (vgl. Abb. 3.2).

3.2 Einbau Temperatursensor

Die Temperatur während des Brühens sollte sehr nahe an der Brüheinheit aufgenommen werden. Aufgrund des Platzmangels und um den konstruktiven Eingriff in den Kaffeautomaten auf ein Minimum zu begrenzen, wird auf den Einbau eines weiteren T-Stückes verzichtet. Vielmehr wird auf eine bereits bestehende Bohrung zurückgegriffen, um den Temperatursensor adäquat anbringen zu können. Bei der verwendeten Bohrung handelt es sich um den Anschlussraccord der Zuleitung für den Milchaufschäumer, der dadurch ausser Betrieb gesetzt wird. Da in aller Regel die Milchaufschäumer bei Kaffeevollautomaten dieser Preisklasse nicht die Optimallösung darstellen, kann auf diesen zumindest in diesem Versuchsaufbau verzichtet werden. Zudem stehen im Labor Milchaufschäumer der Gastromaschinen zur Verfügung, die im Falle einer Verkostung genutzt werden können. Bei dem vorliegenden Anschluss handelt es sich um die bereits erwähnte Raccordverbindung welche häufig bei renomierten Kaffeevollautomatenherstellern Verwendung findet. Vergleiche hierzu Abbildung 3.1.

3.3 Einbau Durchflussmesser

Um den Durchfluss während des Brühvorganges messen zu können muss ein Flowmeter in die Niederdruckleitung eingesetzt werden. Der Durchflussmesser basiert auf einem

3 Modifikationen



Abbildung 3.1: Temperatursensor (NTC)

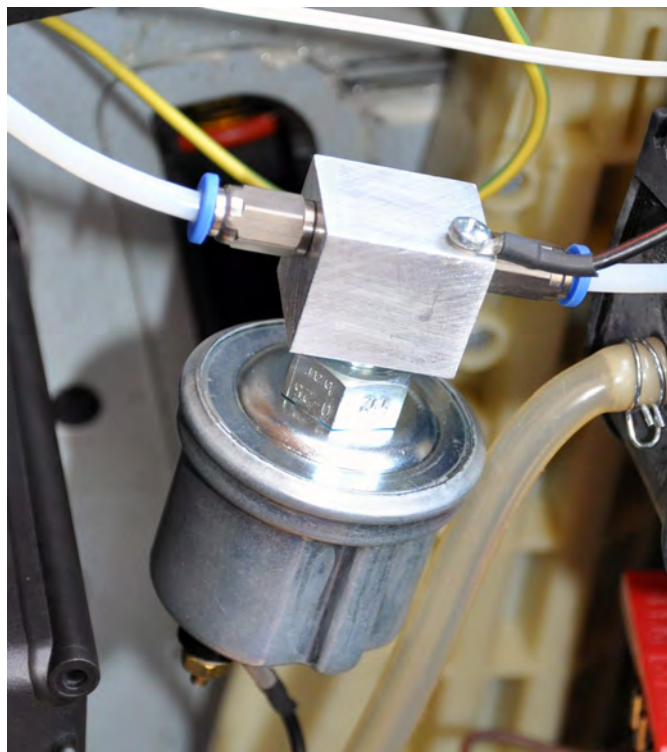


Abbildung 3.2: Drucksensor mit T-Stück und Masseanschluss

3 Modifikationen

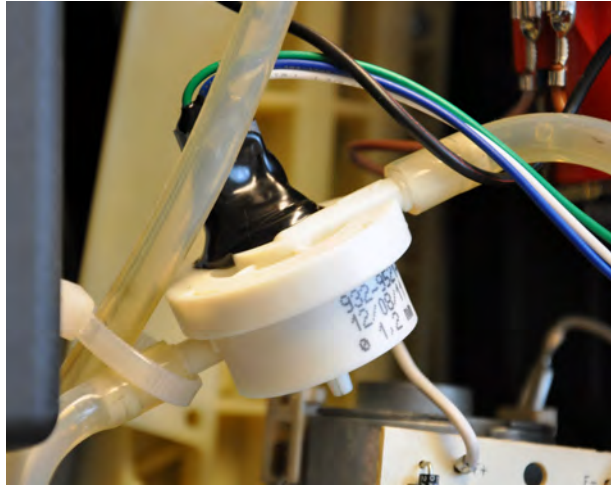


Abbildung 3.3: Durchflussmesser

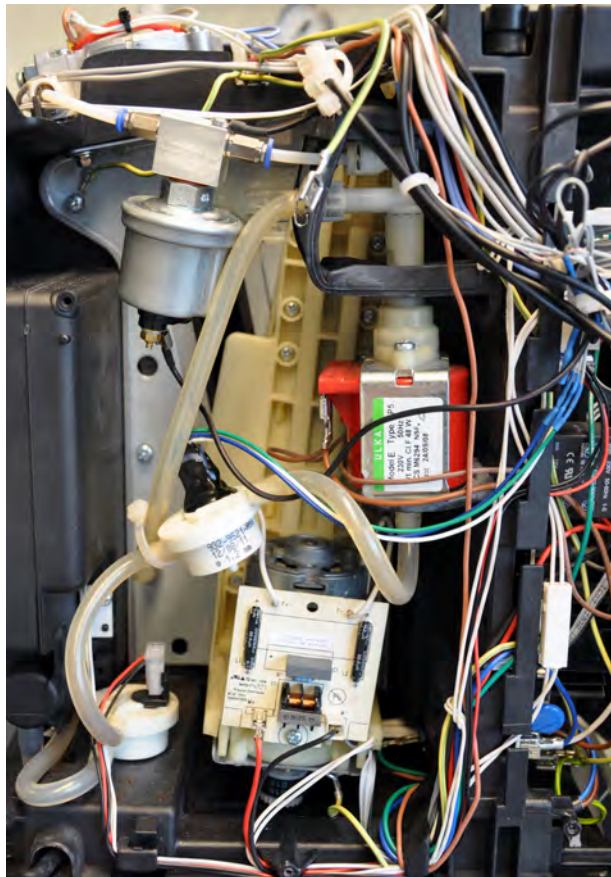


Abbildung 3.4: Rückansicht mit verbauter Sensorik

Hallgeber, welcher eine Hallspannung liefert. Mit Hilfe der Hallspannung und der entsprechenden Sensorkennlinie kann der Durchfluss berechnet werden. Der Kaffeeautomat besitzt bereits einen Durchflussmesser, welcher jedoch aus Sicherheitsgründen nicht abgegriffen wird.

3.4 Schaltplan und Verkabelung

Einen weiteren Meilenstein stellt die Verkabelung und die elektrische Auslegung der verwendeten Sensorik dar. Bei den verwendeten Sensoren handelt es sich um passive Sensoren. Konkret bedeutet dies, dass die Aufnehmer eine externe Energiequelle, in diesem Fall eine Spannungsquelle benötigen. Folgende Sensoren finden in diesem Versuchsaufbau Verwendung:

1. VDO Drucksensor 0-25 bar,
2. Temperatursensor Changzhou Huichang NTC,
3. Digimesa Flowmeter.

Um die Sensordaten auswerten zu können wird auf eine National Instruments NI-USB-6251 A/D-Karte zurückgegriffen (vgl. Abb. 3.11). Aufgrund der Tatsache das es sich bei dem Druck- und Temperatursensor um Widerstandsaufnehmer handelt, wird noch eine Spannungsquelle benötigt, um den veränderlichen Widerstand in Form eines Spannungsabfalles am Spannungsteiler auswerten zu können. Hierzu sei auf den Schaltplan Abbildung 3.8 verwiesen. Bei dem in diesem Versuch verwendeten Netzteil handelt es sich um ein HAMEG HM7042-3 (vgl. Abb. 3.13). Um die Kaffeemaschine mobil zu halten, wurden alle Kabel mit Hilfe eines neunpoligen D-Sub Steckers aus dem Gehäuse geführt. Dadurch ist es ohne Weiteres möglich, die Kaffeemaschine anders zu positionieren, da die Messtechnikperipherie ohne Probleme abgesteckt und wieder angesteckt werden kann. Zudem kann die Kaffeemaschine mit geschlossenem Gehäuse betrieben werden, was der Arbeitssicherheit zuträglich ist und zudem noch einen wertigeren Eindruck hinterlässt. Die Kaffeemaschine kommt auch als Demonstrationsmodell bei der Veranstaltung »*NACHT.SCHAFFT.WISSEN - Die Lange Nacht der Wissenschaft*« zum Einsatz. Hierzu soll die vordere Verblendung des Gerätes im Betrieb geöffnet werden können, um die prinzipielle Funktionsweise eines Kaffeevollautomaten darstellen zu können. Das Öffnen der Verblendung während des Betriebs führt dazu, dass ein Mikrotaster betätigt wird, was eine Pausierung des Brühvorganges nach sich zieht. Um dem entgegenzuwirken wurde ein Überbrückungsschalter angebracht, welcher eine geschlossene Verblendung simuliert. Dadurch ist es möglich die drei wesentlichen Schritte des Kaffeekochens (Mahlen, Tampen und Brühen) am offenen Kaffeevollautomaten zu demonstrieren. Es ist darauf zu achten, dass der Kaffeeabflussschlauch an der Brüheinheit angesteckt ist, um ein undefiniertes herauslaufen des Kaffees und somit eine Verbrühgefahr zu vermeiden. Nachfolgend sei auf den in Abbildung 3.7 dargestellten Schaltplan verwiesen.

3 Modifikationen



Abbildung 3.5: Signal-LED bei aktiver Messung

Zur Signalisierung einer aktuell laufenden Messung wurde eine LED an der Frontblende angebracht, welche aufleuchtet sobald eine Messung in MATLAB ausgelöst wurde (vgl. Abb 3.5). Um die verbauten Sensoren auslesen zu können kommt eine Spannungsteilerschaltung (vgl. Abb. 3.8) zum Einsatz, welche im folgenden näher erläutert wird.

Herleitung Spannungsteiler zur Auswertung des veränderlichen Widerstandes des Druck-/Temperatursensors:

Für die Reihenschaltung von ohmschen Widerständen gilt:

$$R_{ges} = R_1 + R_{var} \quad (3.1)$$

Mit Ohmschem Gesetz folgt:

$$I = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{U}{R_1 + R_{var}} \quad (3.2)$$

Mit der variablen Spannung folgt:

$$U_{var} = I \cdot R_{var} \quad (3.3)$$

(3.2) in (3.3) eingesetzt:

$$U_{var} = \frac{U}{R_1 + R_{var}} \cdot R_{var} \quad (3.4)$$

3 Modifikationen

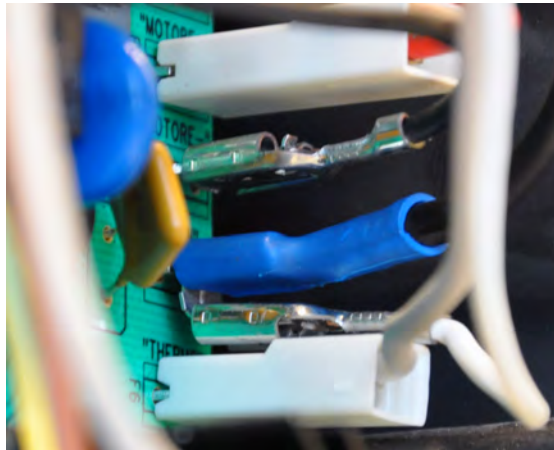


Abbildung 3.6: Y-Flachstecker mit Isolierung zur Signalmanipulation

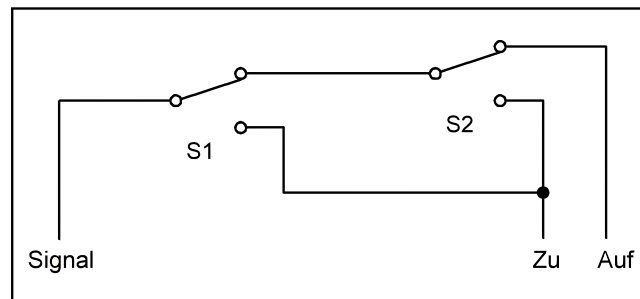


Abbildung 3.7: Schaltplan Überbrückungsschaltung

Äquivalenzumformung nach variablen Widerstand:

$$R_{var} = \frac{R_1}{U - U_{var}} \cdot U_{var} \quad (3.5)$$

3.4.1 Vorauslegung der Vorwiderstände

Um auf den Widerstand der Sensoren schließen zu können, ist der Einsatz eines Spannungsteilers, wie er bereits erklärt wurde anzusetzen. Hierbei muss der Vorwiderstand vorausgelegt werden, was im folgenden näher erläutert wird.

Der Widerstand des VDO Drucksensors liegt im Bereich $R_{varp} = 10 \dots 184 \Omega$. Um den Messwertbereich des Analog-/Digitalwandlers einzuhalten wird der maximale Spannungsabfall am veränderlichen Widerstand R_{var} zu 10V definiert. Diese Festlegung bildet die Berechnungsgrundlage für die Auslegung des Vorwiderstandes. Bei zunehmendem Widerstand R_{varp} des Sensors und konstantem Vorwiderstand R_{1p} wird der Spannungsabfall am Sensor größer. Aufgrund dessen muss bei der Berechnung des Vorwiderstandes

3 Modifikationen

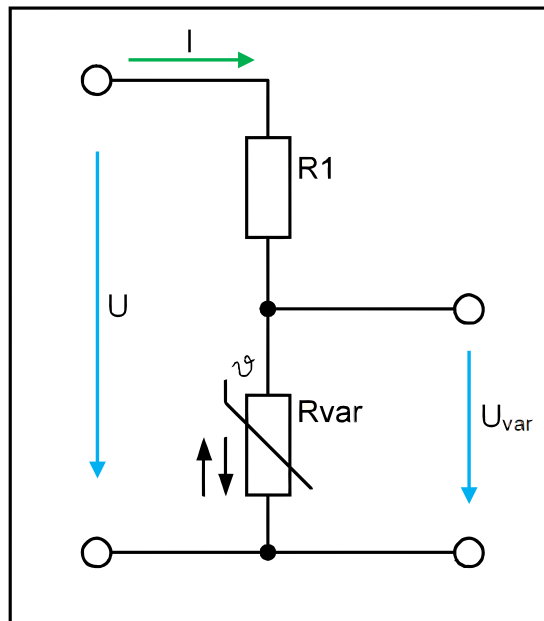


Abbildung 3.8: Unbelasteter Spannungsteiler mit NTC Widerstand

der maximal mögliche Widerstandswert des veränderlichen Widerstandes eingesetzt werden, um so den minimalsten Wert des Vorwiderstandes zu erhalten, der nötig ist, um die 10V Spannungsabfall nicht zu überschreiten. Abbildung 3.8 zeigt einen Schaltplan, der für eine analoge Betrachtung herangezogen werden kann.

$$\begin{aligned}
 U &= R_{ges} \cdot I \\
 \Leftrightarrow U &= (R_{1p} + R_{varp}) \cdot I \\
 \Leftrightarrow \frac{U}{I} - R_{varp} &= R_{1p}
 \end{aligned}$$

Mit dem Strom I:

$$I = \frac{U_{varp}}{R_{varp}}$$

folgt:

$$R_{1p} = R_{varp} \cdot \left(\frac{U}{U_{varp}} - 1 \right) \quad (3.6)$$

Mit eingesetzten Zahlenwerten folgt:

$$R_{1p} = 184\Omega \cdot \left(\frac{12V}{10V} - 1 \right) = 36,8\Omega$$

3 Modifikationen

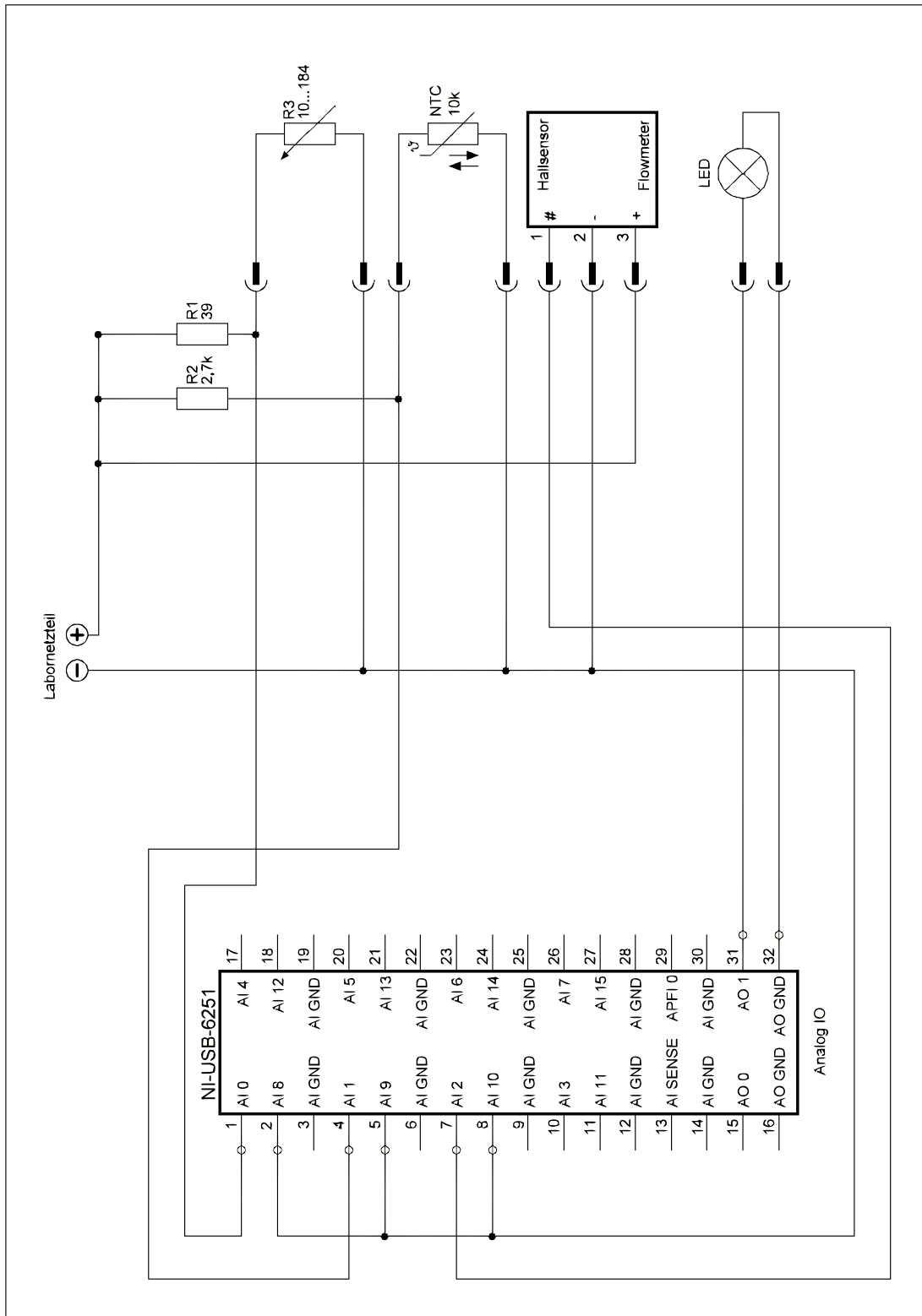


Abbildung 3.9: Schaltplan Messtechnik

3 Modifikationen

Tabelle 3.1: Pinning D-Sub Stecker

Pin	Belegung	
1	Drucksensor	GND
2	Drucksensor	+
3	Temperatursensor	GND
4	Temperatursensor	+
5	Flowmeter	Signal
6	Flowmeter	GND
7	Flowmeter	+
8	LED	+
9	LED	GND

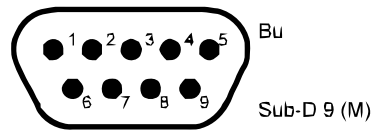


Abbildung 3.10: Pinning D-Sub Stecker

Für den Drucksensor wird ein rechnerischer Vorwiderstand von $36,8\Omega$ benötigt, um das definierte Spannungsintervall einzuhalten. Der in der Realität benötigte Widerstand richtet sich unter Anderem an der Wärmeleistung, die an dem stromdurchflossenen Widerstand umgesetzt wird. Um die benötigte Belastbarkeit zu bestimmen muss die Leistung gemäß $P_{\max} = I^2 \cdot R$ berechnet werden. Für die benötigte Belastbarkeit ergibt sich $2,34\text{W}$. Diese Belastung tritt ein, sobald der veränderliche Widerstand R_{varp} seinen minimalen Widerstand annimmt. Dies führt zu einem maximalen Spannungsabfall am Vorwiderstand. In dem Versuchsaufbau findet ein $5\text{ Watt} - 39\Omega$ Draht-Widerstand Verwendung.

Analog zum Drucksensor kann auch der Vorwiderstand des Temperatursensors ausgelegt werden, bei welchem es sich um einen NTC (Heißleiter) handelt. Der Widerstand des Changzhou Huichang Temperatursensors liegt im Bereich $R_{\text{vart}} = 0,6 \dots 13,2\text{k}\Omega$. Der Sensor deckt einen weit größeren Bereich ab, wobei in diesem Versuch nur der für diesen Versuch sinnvolle Wertebereich genutzt wird (18°C bis 120°C).

In Anlehnung an Gl. 3.5 gilt:

$$R_{1t} = R_{\text{vart}} \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{vart}}} - R_{\text{vart}} \right) \quad (3.7)$$

Mit eingesetzten Zahlenwerten folgt:

$$R_{1t} = 13192\Omega \cdot \left(\frac{12\text{V}}{10\text{V}} - 1 \right) = 2638,4\Omega$$

3 Modifikationen

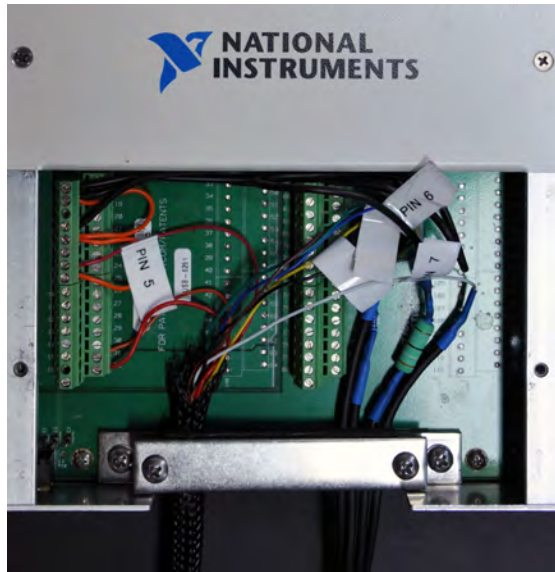


Abbildung 3.11: National Instruments USB-6251



Abbildung 3.12: D-Sub Stecker und DEMO-Mode Wippschalter



Abbildung 3.13: Netzteil HAMEG HM7042-3

3 Modifikationen

Für den Temperatursensor wird ein rechnerischer Vorwiderstand von $2638,4\Omega$ benötigt, um das definierte Spannungsintervall einzuhalten. Aufgrund der verhältnismäßig hohen Widerstände und dem dadurch resultierenden geringem Strom, fällt die Leistung die in Wärme umgesetzt wird verschwindend gering aus. In dem Versuchsaufbau findet ein $0,6$ Watt - $2,7\text{k}\Omega$ Metallschicht-Widerstand Verwendung.

4 MATLAB Daten Akquisition

Für die Aufnahme der Daten soll die Software MATLAB verwendet werden. Dies liegt darin begründet, dass im Gegensatz zu der bereits vorliegenden LabVIEW Software die aufgenommenen Messdaten direkt analysiert und ausgewertet werden können. Um dies zu realisieren muss die Kommunikation zwischen MATLAB und NI A/D-Wandler hergestellt werden. Der Betrieb des Wandlers ist nicht ohne weiteres möglich, da noch Modifikationen am Treiber vorgenommen werden müssen, worauf jedoch hier nicht näher eingegangen wird. Der eigentliche Datenabgriff wird mit Hilfe der Data Acquisition Toolbox umgesetzt. Mit dieser Toolbox ist es möglich analoge wie digitale Ein- und Ausgaben von Hardware abzugreifen bzw. einzusteuern. Aufgrund der direkten Einbindung der Toolbox in MATLAB ist es möglich, die ausgelesenen Daten direkt in einem m-Skript oder einer Funktion zu verwenden. Am Rande sei erwähnt, dass die Data Acquisition Toolbox auch in Simulink genutzt werden kann, um beispielsweise eine Regelung in der Realität umzusetzen. Um die Verbindung des NI Wandlers mit MATLAB herzustellen sind folgende Schritte durchzuführen, welche dem MATLAB m-File auf Seite 33 entnommen werden können.

4.1 Sensorkennlinien

4.1.1 Kennlinie Temperatursensor

Die Sensorkennlinien liegen nicht als Graph oder analytische Funktion vor, daher müssen die Kennlinien errechnet werden, um die gemessenen Widerstände auswerten zu können. Für einen Heißleiter (NTC) gilt folgender Zusammenhang:

$$T = \frac{B \cdot T_N + 273,15}{B + \ln\left(\frac{R_T}{R_N}\right) \cdot (T_N + 273,15)} - 273,15 \quad (4.1)$$

mit $B = \text{Materialkonstante in } [K]$

$T_N = \text{Nenntemperatur in } [^{\circ}C]$

$R_T = \text{Widerstand bei } T \text{ in } [\Omega]$

$R_N = \text{Nennwiderstand in } [\Omega]$

In Abbildung 4.1 ist die Kennlinie des verwendeten Temperatursensors (Changzhou Huichang) mit $B=3435K$ dargestellt. Das Intervall zwischen dem maximalen und minimalen Widerstand wurde zu $R_T = (600\dots13200)\Omega$ definiert. Dies entspricht in etwa dem Temperaturbereich $T=(18\dots120)^{\circ}C$.

4.1.2 Kennlinie Drucksensor

Für den Drucksensor muss ebenfalls eine Kennlinie errechnet werden. Im Fall des Drucksensors liegt der Widerstand als Funktion des Druckes vor. Für diesen Versuch muss der Druck als Funktion des Widerstandes vorliegen, um diesen entsprechend auswerten zu können. Um die Kennlinie zu erhalten werden die Achsen der Kennlinie vertauscht, damit nun über der Abszisse der Widerstand und auf der Ordinate der Druck aufgetragen ist. Es liegt keine analytisch Formel für die Berechnung dieses Zusammenhanges vor, daher muss die Kennlinie mit Hilfe der Regressionsrechnung in eine analytische Form gebracht werden. Nachfolgend ist das MATLAB Skript dargestellt welches die Regressionsrechnung zeigt.

4.2 MATLAB Kennlinienberechnung und Datenakquisition

Nachfolgend sind alle erstellten MATLAB Skripte und Funktionen aufgeführt, welche erforderlich sind, um diesen Versuchsaufbau zu betreiben. Alle Quelltexte wurde kommentiert, um diese transparenter zu gestalten und um Änderungen Weitestgehend zu erleichtern.

4.2.1 Regressionsrechnung

```

1  %=====
2  %Kennlinienberechnung und Regression
3  %=====
4  close all
5  clear all
6  clc
7  p = linspace(0,25)';      %Druck in [bar]
8  Rt = linspace(600,13200)'; %Widerstand Temperatursensor in [°C]
9
10 %Drucksensor R_(p)
11 kennlinie_p = figure ('Name','Kennlinie Drucksensor','NumberTitle','off');
12 [Rptol_n, RP, Rptol_p]=drucksensor_R_p(p);
13 plot(Rptol_n, p, RP, p, Rptol_p, p);
14 grid on;
15 title('Kennlinie Drucksensor');
16 ylabel('Druck [bar]');
17 xlabel('Widerstand in [{}\Omega]');
18 legend('+ Toleranz','Kennlinie','- Toleranz',2);
19
20 %Temperatursensor T_(R)
21 kennlinie_t = figure ('Name','Kennlinie ...
    Temperatursensor','NumberTitle','off');
22 [Ttol_n, T, Ttol_p]=temperatursensor_T_R(Rt);
23 plot(Rt,Ttol_n, Rt, T, Rt, Ttol_p);
24 grid on;
25 title('Kennlinie Temperatursensor');

```

4 MATLAB Daten Akquisition

```
26 xlabel('Widerstand in [{"\Omega}"]');
27 ylabel('Temperatur in [°C]');
28 legend('- Toleranz','Kennlinie','+ Toleranz',3);
29
30 %Regression der Drucksensorkennlinie zur Erlangung einer analytischen ...
31 %Funktion
32 reg = figure('Name','Regression ...
    Drucksensorkennlinie','NumberTitle','off');
33 plot(RP,p,'kx')
34 hold on;
35 grid on;
36 ylim([0 25]);
37 title('Kennlinie Drucksensor Regression');
38 ylabel('Druck [bar]')
39 xlabel('Widerstand in [{"\Omega}"]')
40
41 %Regression Kennlinie
42 K = ones(length(RP),1);
43 K(:,2) = RP;
44 K(:,3) = RP.^2;
45 K(:,4) = RP.^3;
46 c=K\p;
47 y=c(1)+c(2).*RP+c(3).*RP.^2+c(4).*RP.^3;
48 hand(1,1)=plot(RP,y,'g');
49 disp(['====='])
50 disp(['Kennlinie Drucksensor'])
51 disp(['====='])
52 for i=1:length(c)
53     disp(['Koeffizient a',num2str(i-1),':',num2str(c(i))])
54     i=i+1;
55 end
56 clear y K c
57
58 %Regression - Toleranz (invertiert, da Achsen invertiert)
59 plot(RPtol_p,p,'kx')
60 A = ones(length(RPtol_p),1);
61 A(:,2) = RPtol_p;
62 A(:,3) = RPtol_p.^2;
63 A(:,4) = RPtol_p.^3;
64 c=A\p;
65 y=c(1)+c(2).*RPtol_p+c(3).*RPtol_p.^2+c(4).*RPtol_p.^3;
66 hand(1,2)=plot(RPtol_p,y,'b');
67 disp(['====='])
68 disp(['- Toleranz'])
69 disp(['====='])
70 for i=1:length(c)
71     disp(['Koeffizient a',num2str(i-1),':',num2str(c(i))])
72     i=i+1;
73 end
74 clear y K c
75
76 %Regression + Toleranz (invertiert, da Achsen invertiert)
77 plot(RPtol_n,p,'kx')
```

4 MATLAB Daten Akquisition

```
78 K      = ones(length(RPtol_n),1);
79 K(:,2) = RPtol_n;
80 K(:,3) = RPtol_n.^2;
81 K(:,4) = RPtol_n.^3;
82 K(:,5) = RPtol_n.^4;
83 K(:,6) = RPtol_n.^5;
84 c=K\p;
85 y=c(1)+c(2).*RPtol_n+c(3).*RPtol_n.^2+c(4).*RPtol_n.^3+...
86     c(5).*RPtol_n.^4+c(6).*RPtol_n.^5;
87 hand(1,3)=plot(RPtol_n,y,'r');
88 disp(['====='])
89 disp(['+ Toleranz'])
90 disp(['====='])
91 for i=1:length(c)
92     disp(['Koeffizient a',num2str(i-1),':',num2str(c(i))])
93 i=i+1;
94 end
95 legend(hand, 'Kennlinie', '- Toleranz', '+ Toleranz',2);
96 clear y K c
```

4.2.2 Funktionen zur Kennlinienberechnung

```
1 %Kennlinienfunktion Drucksensor p(R)
2
3 function [ptol_n, p, ptol_p]=drucksensor_p_R(x)
4 ptol_n = -0.95764+0.073592.*x+0.00060179.*x.^2+(-1.7771e-006).*x.^3;
5 p      = -1.0073+0.10178.*x+0.00019133.*x.^2+1.3225e-007.*x.^3;
6 ptol_p = -1.095+0.19534.*x+(-0.0037968).*x.^2+(7.1105e-005).*x.^3 ...
7         +(-5.5966e-007).*x.^4+(1.6264e-009).*x.^5;
8 end
```

```
1 %Kennlinienfunktion Drucksensor R(p)
2
3 function [Rtol_n, R, Rtol_p]=drucksensor_R_p(x)
4 Rtol_n = (-0.0032.*x.^3)-(0.0421.*x.^2)+8.9818.*x+5.1132;
5 R      = (0.0014.*x.^3)-(0.1286.*x.^2)+(9.3054.*x)+9.8976;
6 Rtol_p = (0.0069.*x.^3)-(0.2578.*x.^2)+10.178.*x+12.725;
7 end
```

```
1 %Kennlinienfunktion Temperatursensor T(R)
2
3 function [Ttol_n, T, Ttol_p]=temperatursensor_T_R(Rt)
4 %Materialkonstanten NTC
5 B=3435;
6 Rn=10000;
7
```

4 MATLAB Daten Akquisition

```

8 Ttol_n = -(B.*(25+273.15))./(B+log(Rt/Rn) .* (25+273.15) ) ...
9         - 273.15) .*0.015+(B.*(25+273.15))./(B+log(Rt/Rn) .* (25+273.15) ) ...
10        - 273.15);
11 T      = (B.*(25+273.15))./(B+log(Rt/Rn) .* (25+273.15) ) - 273.15;
12 Ttol_p = (B.*(25+273.15))./(B+log(Rt/Rn) .* (25+273.15) ) ...
13        - 273.15) .*0.015+(B.*(25+273.15))./(B+log(Rt/Rn) .* (25+273.15) ) ...
14        - 273.15);
15 end

```

```

1 %Spannungsteilerfunktion
2 %U      ... Versorgungsspannung Spannungsteiler
3 %U_var  ... Spannungsabfall am veränderlichen Widerstand
4 %R_1    ... Vorwiderstand
5
6 function [R_var]=spannungsteiler(U, U_var, R_1)
7 R_var = (U_var.*R_1)./(U-U_var);
8 end

```

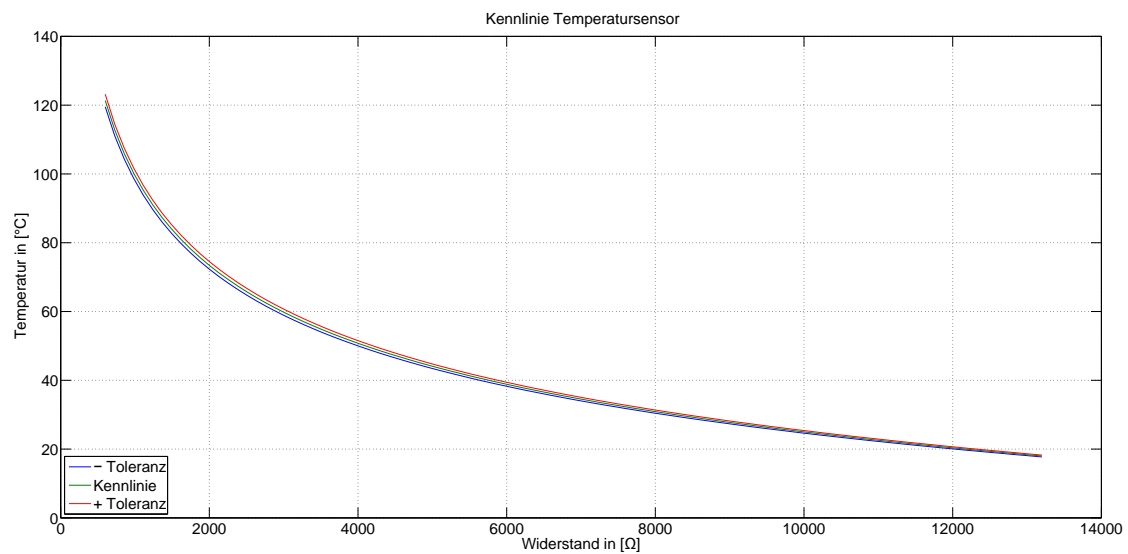


Abbildung 4.1: Errechnete Kennlinie des Temperatursensors $T_{(R)}$

4 MATLAB Daten Akquisition

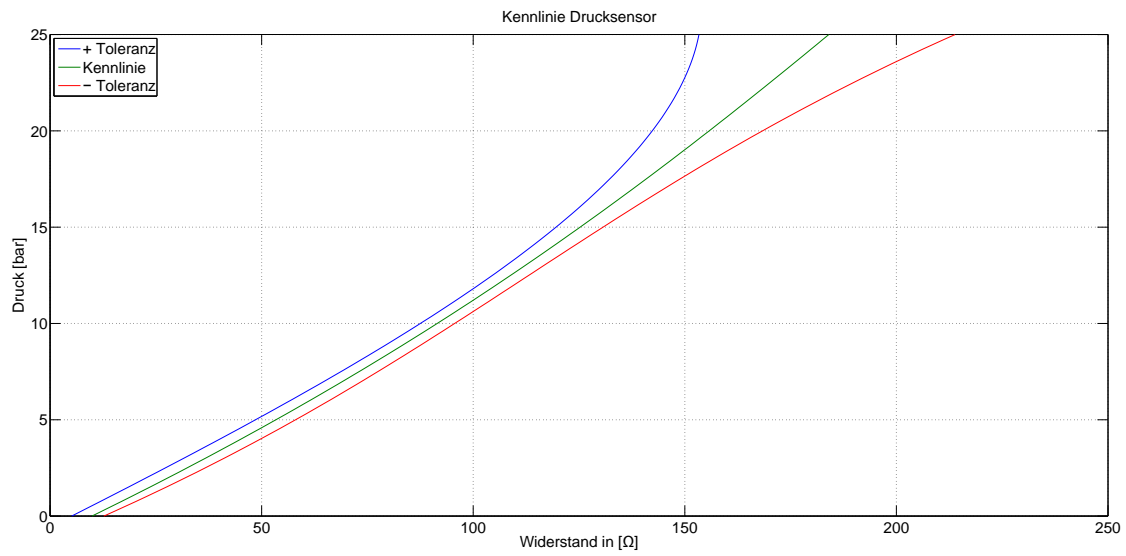


Abbildung 4.2: Errechnete Kennlinie des Drucksensors $p_{(R)}$

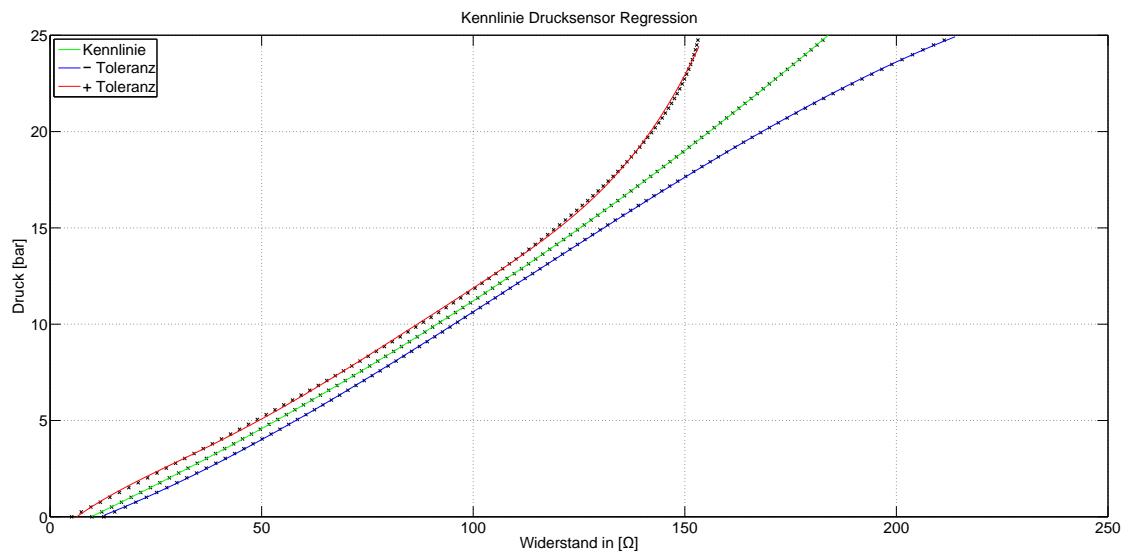


Abbildung 4.3: Errechnete Regressionskennlinie des Drucksensors $p_{(R)}$

4.2.3 Programmablaufplan Messung

Nachfolgender Programmablaufplan zeigt den prinzipiellen Ablauf des MATLAB Skriptes für die Messung.

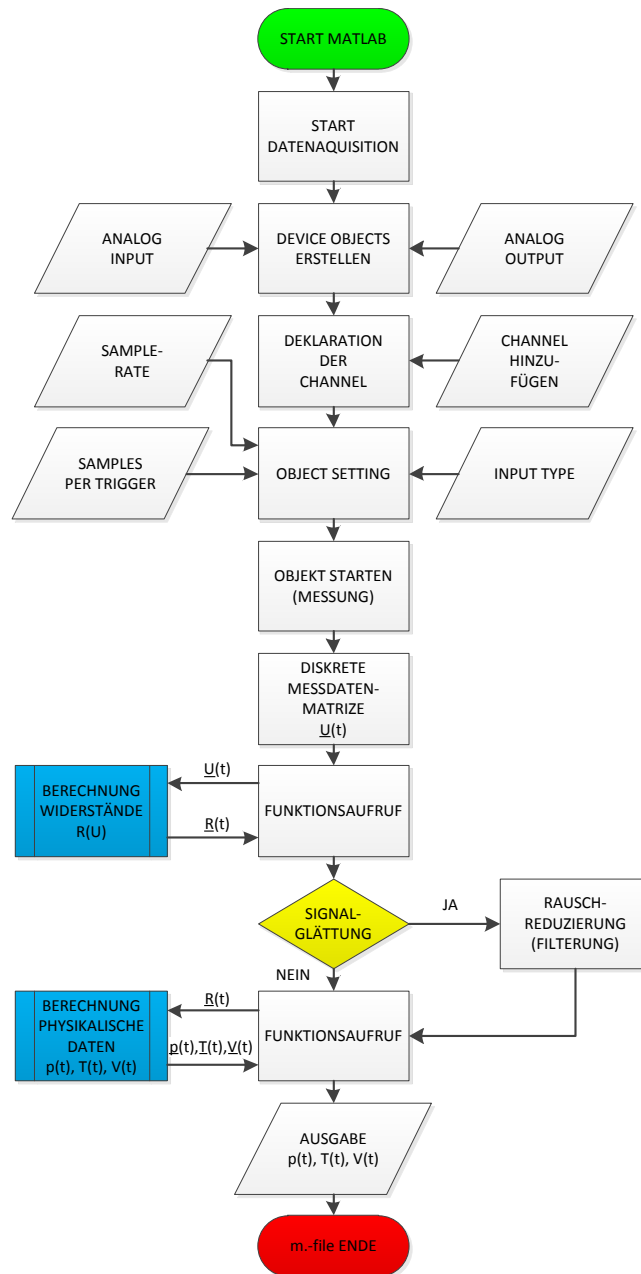


Abbildung 4.4: Programmablaufplan Messung

4.2.4 Verbindungsaufbau und Datenabgriff

```

1  %=====
2  % Datenakquisition DeLonghi Magnifica
3  %=====
4  close all
5  clear all
6  clc
7  %=====
8  % Konfigurationsflags für Skript
9  %=====
10 save_flag = 1;      %Messdaten explizit exportieren
11 eps_flag  = 0;      %Figures exportieren
12 s_flag    = 1;      %Flag für Signalglättung
13 plot_flag = 0;      %Flag für Subplots
14 time      = 20;     %Messdauer in [s]
15 R         = 5000;   %Sample Rate
16 N         = time*R; %Samples per Trigger
17 %=====
18
19 %Daten von vorangegangenen Messungen laden
20 ladestatus = exist('versuch.mat','file');
21 if (ladestatus == 2)
22     load versuch.mat;
23 else
24     vcount = 0;
25 end
26 vcount = vcount+1;
27
28 disp('=====');
29 disp('Espresso meets engineering – Initialisierung');
30 disp('=====');
31 ai = analoginput('nidaq', 'Dev1')
32 ao = analogoutput('nidaq', 'Dev1')
33 addchannel(ai,0:2,{'Drucksensor','Temperatursensor','Flowmeter'})
34 addchannel(ao, 1, {'LED'})
35 set(ai, 'SampleRate',R);
36 set(ai, 'SamplesPerTrigger',N);
37 set(ai, 'InputType', 'Differential');
38 disp('=====');
39 disp('Initialisierung abgeschlossen');
40 disp('=====');
41
42 %Haltepunkt, Messung starten/abbrechen
43 user = questdlg('Messung starten?', 'Haltepunkt Messung', ...
44     'Ja','Nein','Ja');
45 switch user
46 case 'Ja'
47     disp('=====');
48     disp([num2str(vcount),'. Messung aktiv für ', num2str(N/R),' Sekunden']);
49     disp('=====');

```

4 MATLAB Daten Akquisition

```
50 %Start der Messung, Messsignalleuchte aktivieren (2.2V)
51 putsample(ao, 2.2)
52 start(ai);
53 [U,t] = getdata(ai);
54
55 %Umspeichern der gemessenen Spannungen
56 U_varp = U(:,1);
57 U_vart = U(:,2);
58 U_flow = U(:,3);
59
60 %Errechnung der veränderlichen Widerstände mittels Spannungsabfall
61 mess_R_p = spannungsteiler(12,U_varp,39);
62 mess_R_T = spannungsteiler(12,U_vart,2700);
63
64 %Berechnung Time-Offset
65 %Bei standardisiertem Messablauf:
66 %Startwert for Schleife bei internem Mahlwerk 35000
67 %Startwert for Schleife bei externem Kaffeepulver 20000
68 %Der Startwert ist je nach Messungsdurchführung anzupassen!
69 for i = 2500:length(U_varp)
70     eps = U_varp(i+1,1)-U_varp(i,1);
71     if eps > 0.1 %Breite des Schwankungsbereiches (vgl. Abb. 4.7)
72         offset_time_druck(1,vcount) = i;
73         offset_time_druck(2,vcount) = t(i);
74         break;
75     end
76 end
77 %=====
78 % Druckverlauf
79 %=====
80 %Signalglättung
81 if s_flag == 1
82     input = mess_R_p;
83     windowSize = 200; %Fenstergröße bei Veränderung der Samples anpassen
84     mess_R_p = filter(ones(1,windowSize)/windowSize,1,input);
85     mess_R_p(1:windowSize,1) = mess_R_p(windowSize+1,1);
86 end
87 druckverlauf = figure ('Name','Druckverlauf','NumberTitle','off');
88 %Druckberechnung mit Kennlinienfunktion
89 [ptol_n(:,vcount), p(:,vcount), ptol_p(:,vcount)] = ...
    drucksensor_p_R(mess_R_p);
90 [p_max(2,vcount), p_max(1,vcount)] = max(p(:,vcount));
91 p_max(1,vcount) = t(p_max(1,vcount));
92 plot(t,p(:,vcount));
93 text(p_max(1,vcount),p_max(2,vcount)+0.5,['Maximum = ', ...
    num2str(p_max(2,vcount),3),' bar'],'FontSize',10);
94 grid on;
95 title('Druckverlauf');
96 ylabel('Druck [bar]');
97 xlabel('Zeit in [s]');
98 ylim([0 25]);
99 legend('Brühdruk',2);
100
```

4 MATLAB Daten Akquisition

```

101 %=====
102 % Temperaturverlauf
103 %=====
104 %Signalglättung
105 if s_flag == 1
106     input = mess_R_T;
107     windowSize = 100; %Fenstergröße bei Veränderung der Samples anpassen
108     mess_R_T = filter(ones(1,windowSize)/windowSize,1,input);
109     mess_R_T(1:windowSize,1) = mess_R_T(windowSize+1,1);
110 end
111 temperaturverlauf = figure ...
    ('Name','Temperaturverlauf','NumberTitle','off');
112 %Temperaturberechnung mit Kennlinienfunktion
113 [Ttol_n(:,vcount), T(:,vcount), Ttol_p(:,vcount)] = ...
    temperatursensor_T_R(mess_R_T);
114 [T_max(2,vcount), T_max(1,vcount)] = max(T(:,vcount));
115 T_max(1,vcount) = t(T_max(1,vcount));
116 plot(t,T(:,vcount));
117 text(T_max(1,vcount),T_max(2,vcount)+3,['Maximum = ', ...
    num2str(T_max(2,vcount),3),' °C'],'FontSize',10)
118 grid on;
119 title('Temperaturverlauf');
120 xlabel('Zeit in [s]');
121 ylabel('Temperatur in [°C]');
122 ylim([18 120]);
123 legend('Brühtemperatur',2);
124 %=====
125 % Durchflussverlauf
126 %=====
127 flow_const = 1/1925;           %Impulse pro Liter
128 i           = 1;               %Vorbelegung für While-Schleife
129 count(1,1) = 0;               %Vorbelegung zum Zeitpunkt t=0
130 count(1,2) = 0;               %Vorbelegung zum Zeitpunkt t=0
131 n           = 2;               %Vorbelegung Counter
132 offset_time_flow(1,vcount) = 0; %Vorbelegung Validierung
133
134 while i < length(U_flow)
135     if U_flow(i,1) < 0.5
136         count(n,2) = count(n-1,2)+1;
137         count(n,1) = t(i,1);
138         n=n+1;
139         %Berechnung Time-Offset über Hallgeber
140         if offset_time_flow(1,vcount) == 0
141             offset_time_flow(1,vcount) = i;
142             offset_time_flow(2,vcount) = t(i,1);
143         end
144     end
145     while U_flow(i,1)<0.5
146         if i==length(U_flow)
147             break;
148         end
149         i=i+1;
150     end

```

4 MATLAB Daten Akquisition

```
151     i=i+1;
152 end
153
154 %Flankenbreite Rechtecksignal Erkennung ob Förderung aussetzt
155 Δ_rect(:,1) = zeros(length(count),1);
156 for i = 1:length(count)-1
157     Δ_rect(i,1) = count(i+1,1)-count(i,1);
158     if Δ_rect(i,1) > 0.2
159         %Keine Förderung: Vp_zu=0, verhindert linearen Anstieg im Plot
160         count(i+1,2) = count(i,2);
161     end
162 end
163
164 %Unstetigkeit am Messungsende verhindern
165 count(length(count(:,1))+1,1) = time;
166 count(length(count(:,2))+1,2) = count(length(count(:,2))-1,2);
167
168 durchfluss(1:length(count(:,2)),vcount)=count(:,2).*flow_const;
169 durchsatzverlauf = figure('Name','Förderverlauf','NumberTitle','off');
170 plot(count(:,1),durchfluss(1:length(count(:,1)),vcount));
171 grid on;
172 title('Förderverlauf');
173 xlabel('Zeit in [s]');
174 ylabel('Volumen in [Liter]');
175 legend('Volumenstrom',2);
176 durchfluss_max=max(durchfluss(:,vcount));
177 %=====
178 % Darstellungen als Subplot
179 %=====
180 if plot_flag == 1
181 subplot_p_T_V = figure('Name','Druckverlauf, Temperaturverlauf, ...
182     Förderverlauf','NumberTitle','off');
183 subplot(3,1,1), plot(t,p(:,vcount)), grid on, title('Druckverlauf')
184     ylabel('Druck [bar]'), xlabel('Zeit in [s]'), ylim([0 25]),
185     legend('Brühdruk',2), xlim([0 time]);
186 subplot(3,1,2), plot(t,T(:,vcount)), grid on, title('Temperaturverlauf')
187     xlabel('Zeit in [s]'), ylabel('Temperatur in [°C]'), ylim([18 120])
188     legend('Brühtemperatur',2), xlim([0 time]);
189
190 subplot(3,1,3), ...
191     plot(count(:,1),durchfluss(1:length(count(:,1)),vcount)), grid on
192     title('Förderverlauf'), xlabel('Zeit in [s]'), xlim([0 time])
193     ylabel('Volumen in [Liter]'), legend('Volumenstrom',2)
194 end
195 %=====
196 % Analoginput/ -output schließen und bereinigen
197 %=====
198 putsample(ao, 0)
199 delete(ai)
200 delete(ao)
201
```

4 MATLAB Daten Akquisition

```
202 %=====
203 % Workspace Exportierung und Datenausleitung
204 %=====
205 %Prüfen ob Verzeichnis vorhanden
206 directory = exist('Messungen','dir');
207 if (directory == 0 && save_flag == 1)
208     mkdir('Messungen');
209 end
210 if save_flag == 1
211     %Zeitstempel erzeugen, Export der Rohdaten
212     zs=clock;
213     filename=['Messungen\\',num2str(zs(1,3)),'_',num2str(zs(1,2)), ...
214             '_',num2str(zs(1,1)),'-',num2str(zs(1,4)),'_',num2str(zs(1,5))];
215     save([filename, '_Messung','_',num2str(vcount)], 't', 'U_varp',...
216         'U_vart', 'U_flow');
217     %Export der Figures als Vektorgrafik
218     if eps_flag == 1
219         saveas(druckverlauf, [filename, '_druckverlauf.eps']);
220         saveas(temperaturverlauf, [filename, '_temperaturverlauf.eps']);
221         saveas(durchsatzverlauf, [filename, '_durchsatzverlauf.eps']);
222     end
223 end
224 disp(['=====']);
225 disp([num2str(vcount), '. Messung abgeschlossen!']);
226 disp(['=====']);
227 disp(['Der maximale Brühdruck betrug      : ', ...
228       num2str(p_max(2,vcount),2), ' bar']);
229 disp(['Die maximale Brühtemperatur betrug: ', ...
230       num2str(T_max(2,vcount),2), ' °C']);
231 disp(['Das durchflossene Volumen betrug : ', ...
232       num2str(max(durchfluss(:,vcount)),2), ' Liter']);
233 %Datenausleitung für Auswertung
234 save('versuch', 'vcount', 't', 'ptol_n', 'p', 'ptol_p', 'p_max', ...
235     'Ttol_n', 'T', 'Ttol_p', 'T_max', 'durchfluss_max', ...
236     'offset_time_druck', 'offset_time_flow', 'R', 'time');
237
238 case 'Nein'
239 disp(['=====']);
240 disp(['Messung abgebrochen']);
241 disp(['=====']);
242 clear all
243 close all
244 end
```

4.2.5 Rauschreduzierung der Messwerte

Erste Testmessungen haben ergeben, dass die Druckmessung sehr starkes Rauschen aufweist. Dies liegt nicht in der verwendeten Messtechnik begründet, sondern vielmehr an der verwendeten Wasserpumpe. Bei der Wasserpumpe handelt es sich um eine Vibrationspumpe der Firma ULKA (EP5). Aufgrund der gepulsten Wasserförderung kommt es zu Druckschwankungen im System, welche sich in Form von starken Messsignalschwan-

kungen widerspiegeln. Dies macht eine Messsignalnachbearbeitung notwendig. Um die starken Druckschwankungen entsprechend auswerten zu können, muss ein Filter eingesetzt werden, welcher das Messsignal glättet. Bei dem vorliegenden Schwankungen bietet sich das Verfahren „gleitender Durchschnitt“ an (vgl. Abbildung 4.5). Bei diesem wird der Mittelwert *nicht* über alle vorliegende Messwerte gebildet. Wäre dies der Fall, würde sich ein Punkt ergeben und würde in diesem Zusammenhang die Messung zerstören. Aus diesem Grund wird nur ein bestimmter Zeitbereich (Fenster) betrachtet, über welchen gemittelt wird. Dieses Fenster wird nun anschaulich betrachtet auf der Zeitachse nach rechts verschoben und erzeugt somit Mittelwerte der einzelnen Teilabschnitte. Es ist nicht verwunderlich, dass die Fenstergröße einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis hat. Wird das Fenster zu groß gewählt fällt die Glättung zu stark aus und es läuft mehr oder minder auf einen arithmetischen Mittelwert hinaus. Wird jedoch das Fenster zu klein gewählt reduziert sich auch der Effekt ergo, die Glättung. Das nachfolgende Beispiel zeigt den mathematischen Zusammenhang bei der Glättung des Druckverlaufes:

Für eine Fensterbreite von 5 folgt:

$$\bar{p}_3 = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5}{5} \quad (4.2)$$

$$\bar{p}_4 = \frac{p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6}{5} \quad (4.3)$$

⋮

$$\bar{p}_i = \frac{p_{i-2} + p_{i-1} + p_i + p_{i+1} + p_{i+2}}{5} \quad (4.4)$$

Wie man erkennen kann liefert das Fenster im oben genannten Beispiel erst ab \bar{p}_3 sinnvolle Werte, dies muss bei der Auswertung berücksichtigt werden. Dieses Verfahren erzielt im Zuge dieses Versuches eine ausreichende Genauigkeit. Alternativ hätte noch eine Diskrete Fourier Transformation (DFT) in Form der Fast Fourier Transformation (FFT) eingesetzt werden können, um das Frequenzspektrum auszuwerten. Störfrequenzen hätten dann in der FFT Matrize gelöscht werden können und mit Hilfe der inversen Fast Fourier Transformation wieder in den Zeitbereich zurücktransformiert werden können. Jedoch hätten Totzeiten und Zeiten des ersten Druckaufbaus zu weiteren Betrachtungen geführt, welche jedoch den Rahmen dieser Projektarbeit überschritten hätte. Ggf. kann der gleitende Durchschnitt auch durch die Betrachtung mittels Median durchgeführt werden.

4.2.6 Messdatenauswertung

Die Messdatenauswertung stellt einen der letzten Punkte dar, welche notwendig sind um das Brühverhalten der Versuchsmaschine zu charakterisieren. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, ist es erforderlich, Messungen wiederholt durchzuführen. Dies dient dazu, Schwankungen (z.B. zufällige Fehler) bei den Messungen weitestgehend zu kompensieren. Die einzelnen Messwerte der Messreihe werden in Form des Arithmetischen

4 MATLAB Daten Akquisition

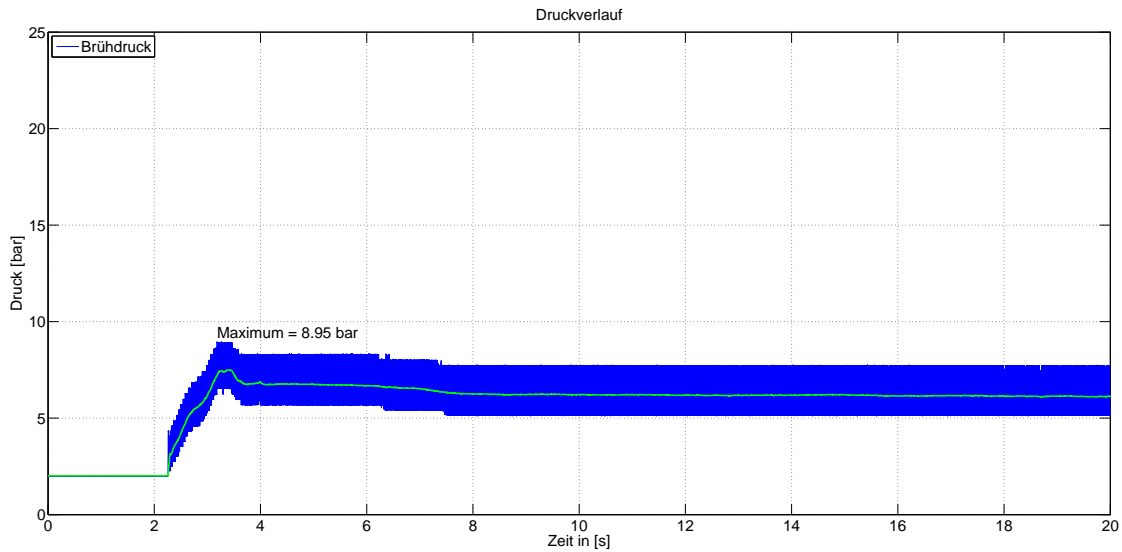


Abbildung 4.5: Druckverlauf mit eingezeichnetem gleitendem Mittel

Mittels gemittelt.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.5)$$

Dabei ist zu beachten, dass die einzelnen Messungen nicht direkt nach der Aufzeichnung gemittelt werden können. Dies liegt darin begründet, dass die Messung manuell in MATLAB gestartet wird. Erst nach der Aktivierung der Messung wird der Taster der Kaffeemaschine betätigt, welcher den Brühvorgang auslöst. Da es nahezu unmöglich ist bei jeder Messung zum gleichen Zeitpunkt die Kaffeemaschine zu aktivieren, muss dies in der Auswertung berücksichtigt werden. Abbildung 4.6 zeigt den vorliegenden Sachverhalt. Der dargestellte Graph zeigt zwei hintereinander aufgenommene Messungen ((1) Start erste Messung, (2) Start zweite Messung), bei welchem ersichtlich wird, dass der Auslöser der Kaffeemaschine bei der zweiten Messung offensichtlich später ausgelöst wurde als bei der ersten Messung. Eine direkte Mittelung dieser beiden Messreihen würde zu einem völlig verfälschten Ergebnis führen, selbst wenn der Zeitunterschied gerade eine halbe Sekunde betragen würde. Um eine Synchronisierung der Messreihen zu erreichen wird der Auslösezeitpunkt der Kaffeemaschine durch Berechnung der Offset-Zeit und nachfolgender Matrizenmanipulation auf den Ursprung der Abszisse gesetzt ($t=0$). Diese Matrizenmanipulation hört sich zunächst trivial an, was jedoch leider nicht der Fall ist. Um die einzelnen Offset-Zeiten automatisiert zu ermitteln muss der Zeitpunkt bestimmt werden, ab welchem die Kaffeemaschine arbeitet. Hierzu wäre es naheliegend gewesen, die gemessenen Daten des Hallgebers auszuwerten, um so auf den Förderbeginn und somit den Start des Brühvorganges zu schließen. Messungen haben jedoch gezeigt, dass der Druck sich noch vor dem ersten Signal des Hallgebers aufbaut. Dies liegt darin

4 MATLAB Daten Akquisition

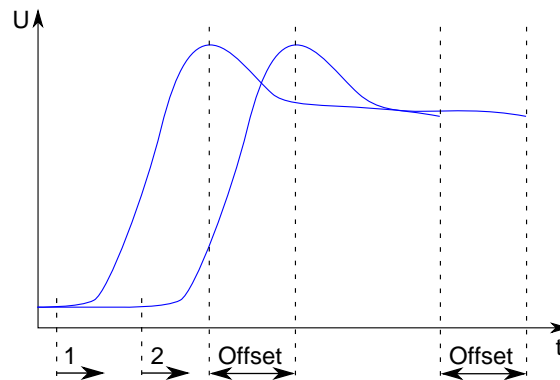


Abbildung 4.6: Time Offset

begründet, dass die Pumpe schon eine minimale Menge gefördert hat, bis sich der Hall-sensor ein Signal liefert. Im Durchschnitt kommt es somit zu einem Zeitverzug von ca. 8ms. Diese 8ms fallen sicherlich nicht gravierend ins Gewicht, welche sich jedoch vermeiden lassen wenn man im Besitz dieser Information ist. Daher wird der Spannungsabfall am Drucksensor ausgewertet. Dies geschieht wie folgt: Im Idle liegt ein nahezu konstanter Spannungsabfall vor. Durch Vorgabe eines definierten Spannungsintervalls (Eps) in welchem die Spannung schwanken darf (z.B. Messrauschen) kann erkannt werden, ab welchem Zeitpunkt der Spannungsabfall das Intervall verlassen hat. Dieser Zeitpunkt stellt den Start des ersten Druckaufbaus dar (vgl. Abb. 4.7). Eine falsche Konfiguration des Skriptes kann zu einem Fehler führen, welcher die Messungen unbrauchbar machen könnte. Daher ist es **elementar wichtig**, sich im klaren zu sein was das Skript ausführt. Um die Bestimmung der Offsetzeit über den Druck zu nutzen, muss klar sein wie sich der Druckverlauf verhalten wird, um das Skript entsprechend **anzupassen**. Alternativ kann auch auf die Messbereichserfassung über den Hallgeber zurückgegriffen werden. Um den Hallgeber für die Offsetzeit Erkennung zu verwenden, ist es lediglich notwendig das Flag *change_offset* im m-File *auswertung* auf Eins zu setzen. Eine Null setzt die Erkennung wieder auf den Drucksensor.

4 MATLAB Daten Akquisition

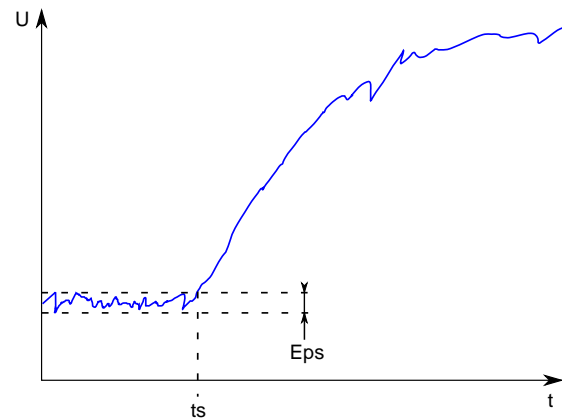


Abbildung 4.7: Auslösetrigger für Messbereichserfassung

```
1 %=====
2 % Messdatenauswertung
3 %=====
4 clc
5 clear all
6 close all
7 disp(['=====']);
8 disp(['Espresso meets engineering - Messdatenauswertung']);
9 disp(['=====']);
10 %Laden der Messdaten in den Workspace
11 load('versuch.mat');
12 plotyy_flag = 1; %Flag für Plot mit zwei y-Achsen
13 change_offset = 1; %Flag für die Verwendung des Hallgebers
14 %Zeitvorlauf für Mittelung
15 zeitvorlauf(1,1:vcount)=0.5*R;
16 zeitvorlauf(2,1:vcount)=0.5;
17
18 %Offsettime über Hallgeber
19 if change_offset == 1
20     clear offset_time_druck
21     offset_time_druck=offset_time_flow;
22 end
23 offset_time_druck=offset_time_druck-zeitvorlauf;
24
25 %Matrizenmanipulation Offset-Time
26 for i=1:vcount
27     rows(1,i)=length(p)-offset_time_druck(1,i);
28 end
29
30 rows_min=min(rows);
31 p_norm=zeros(length(p),vcount);
32 t_norm=zeros(length(t),vcount);
33
34 for i=1:vcount
```

4 MATLAB Daten Akquisition

```
35 p_norm(1:rows(1,i)+1,i)=p(offset_time_druck(1,i):length(p(:,i)),i);
36 t_share(:,1)=t(:,1)-offset_time_druck(2,i);
37 t_norm(1:rows(1,i)+1,1)=t_share(offset_time_druck(1,i):length(t(:,1)),1);
38 end
39
40 p_norm=p_norm(1:rows_min,:);
41 t_norm=t_norm(1:rows_min,1);
42
43 %Auswertung und Ausgabe des Druckverlaufes
44 messung=zeros(length(p_norm),1);
45 auswertung_druck = figure('Name','Auswertung ...
    Druckverlauf','NumberTitle','off');
46 for i=1:vcount
47     messung(1:length(p_norm(:,i)),1)=i;
48     plot3(t_norm,messung,p_norm(:,i),'b');
49     hold on;
50     grid on;
51 end
52 title('Auswertung Druckverlauf');
53 xlabel('Zeit in [s]');
54 xlim([0 time]);
55 ylabel('Messungsnummer');
56 zlabel('Druck in [bar]');
57 set(gca,'YTick',1:1:vcount);
58
59 %Bildung der Mittelwerte
60 p_mean=mean(p_norm,2);
61 [p_mean_max(1,2), p_mean_max(1,1)]=max(p_mean(:,1));
62 p_mean_max(1,1)=t(p_mean_max(1,1));
63 messung(1:length(p_norm(:,i)),1)=vcount+1;
64 plot3(t_norm,messung,p_mean,'g');
65 text(p_mean_max(1,1)+0.1,vcount+1,p_mean_max(1,2)+0.1,['Maximum = ', ...
    num2str(p_mean_max(1,2),3),' bar'],'FontSize',10);
66
67 %Auswertung und Ausgabe des Temperaturverlaufes
68 T_norm=zeros(length(T),vcount);
69 t_norm=zeros(length(t),vcount);
70
71 for i=1:vcount
72     T_norm(1:rows(1,i)+1,i)=T(offset_time_druck(1,i):length(T(:,i)),i);
73     t_share(:,1)=t(:,1)-offset_time_druck(2,i);
74     t_norm(1:rows(1,i)+1,1)=t_share(offset_time_druck(1,i):length(t(:,1)),1);
75 end
76
77 T_norm=T_norm(1:rows_min,:);
78 t_norm=t_norm(1:rows_min,1);
79
80 messung=zeros(length(T_norm),1);
81 auswertung_temperatur = figure('Name','Auswertung ...
    Temperaturverlauf','NumberTitle','off');
82 for i=1:vcount
83     messung(1:length(T_norm(:,i)),1)=i;
84     plot3(t_norm,messung,T_norm(:,i),'b');
```

4 MATLAB Daten Akquisition

```
85     hold on;
86     grid on;
87 end
88 title('Auswertung Temperaturverlauf');
89 zlim([20 120]);
90 xlabel('Zeit in [s]');
91 xlim([0 time]);
92 ylabel('Messungsnummer');
93 zlabel('Temperatur in [°C]');
94 set(gca, 'YTick', 1:1:vcount);
95
96 %Bildung der Mittelwerte
97 T_mean=mean(T_norm,2);
98 [T_mean_max(1,2), T_mean_max(1,1)]=max(T_mean(:,1));
99 T_mean_max(1,1)=t(T_mean_max(1,1));
100 messung(1:length(T_norm(:,i)),1)=vcount+1;
101 plot3(t_norm,messung,T_mean, 'g');
102 text(T_mean_max(1,1)+0.1,vcount+1,T_mean_max(1,2)+0.1,['Maximum = ', ...
    num2str(T_mean_max(1,2),3), ' °C'],'FontSize',10);
103
104 %Gemittelte Durchfluss
105 durchfluss_mean = mean(durchfluss_max,2);
106
107 %Darstellung in einem Plot mit zwei y-Achsen
108 if plotyy_flag == 1
109     auswertung_druck_temp = figure('Name','Auswertung ...
        Druck-/Temperaturverlauf','NumberTitle','off');
110     [AX,H1,H2] = plotyy(t_norm,T_mean,t_norm,p_mean);
111     title('Auswertung Druck-/Temperaturverlauf');
112     set(AX(1), 'YLim', [0 120]);
113     set(AX(1), 'XLim', [0 time]);
114     set(AX(2), 'XLim', [0 time]);
115     set(AX(1), 'YTick', [0:10:120]);
116     set(AX(2), 'YLim', [0 25]);
117     set(AX(2), 'YTick', [0:5:25]);
118     set(get(AX(1), 'Ylabel'), 'string', 'Brühtemperatur in [°C]');
119     set(get(AX(1), 'xlabel'), 'string', 'Zeit in [s]');
120     set(get(AX(2), 'Ylabel'), 'string', 'Brühdruck in [bar]');
121     set(AX(1), 'yGrid', 'on');
122     set(AX(2), 'yGrid', 'on');
123     set(AX(1), 'xGrid', 'on');
124 end
125
126 disp(['=====']);
127 disp(['Die Auswertung wurde abgeschlossen!']);
128 disp(['=====']);
129 disp(['Der maximal gemittelte Brühdruck betrug      : ', ...
    num2str(p_mean_max(1,2),3), ' bar']);
130 disp(['Die maximale gemittelte Brühtemperatur betrug: ', ...
    num2str(T_mean_max(1,2),3), ' °C']);
131 disp(['Das durchflossene gemittelte Volumen betrug : ', ...
    num2str(durchfluss_mean,3), ' Liter']);
```

5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation

Um das Druck- und Temperaturverhalten der Kaffeemaschine charakterisieren zu können müssen die Messungen nach einem standardisierten Ablauf durchgeführt werden, um so repräsentative Ergebnisse zu erhalten.

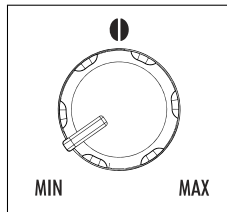
Da es sich bei der verwendeten Kaffeemaschine um einen Kaffeevollautomaten handelt, werden viele Parameter von der Maschine selbst gesetzt. Diese von der Maschine definierten Parameter sind für den Benutzer nicht beeinflussbar. Zu diesen Parametern zählt die Brühtemperatur und der Tamperdruck. Der Tamperdruck stellt in diesem Modell jedoch keinen durch die Maschine beeinflussbaren Parameter dar, da der Tamperdruck durch zwei Schraubenfedern festgelegt ist. Eventuell ist die Maschine in der Lage über die aufgenommene Leistung des Brühtriebes den Tamperdruck zu messen, um somit aktiv Einfluss zu nehmen, was jedoch nicht bekannt ist und nicht näher verfolgt wurde.

Zu den vom Benutzer aktiv veränderlichen Variablen zählen der Mahlgrad, die Kaffeestärke und die Kaffeemenge in der Tasse. Von Einstellungen der Wasserhärte, etc. wird in diesem Versuch abgesehen. Aufgrund des vorgeschädigten Mahlwerkes wird auf die Variation des Mahlgrades in dieser Projektarbeit verzichtet. Es werden Messungen durchgeführt, bei welchen die Kaffeestärke (Menge des Kaffeemehles) bei konstanter Kaffeemenge in der Tasse variiert wird.

Bevor die Messung durchgeführt wird, sollte sich vor Augen geführt werden, was die Variation der Kaffeestärke für einen Einfluss auf die Messwerte haben wird. Erwartet wird ein zunehmender Maximaldruck bei zunehmender Kaffeestärke und analog dazu ein abnehmender Maximaldruck bei Reduzierung der Kaffeestärke. Diese Annahme gilt es nun durch Messungen zu belegen oder zu widerlegen. Unabhängig von dieser Annahme dienen diese Versuche zur Analyse des Druck-/Temperaturverhalten am Kaffeevollautomat, wie es in der Aufgabenbeschreibung zu Semesterbeginn festgelegt wurde.

5.1 Variation der Mahlmenge

5.1.1 Minimale Mahlmenge



Maximaler Brühdruck	7,04	bar
Maximale Brühtemperatur	82,9	°C
Durchflussmenge	0,054	Liter

Tabelle 5.1: Gemitteltetes Messergebnis bei minimaler Mahlmenge

Abbildung 5.1: Mahlmenge minimal

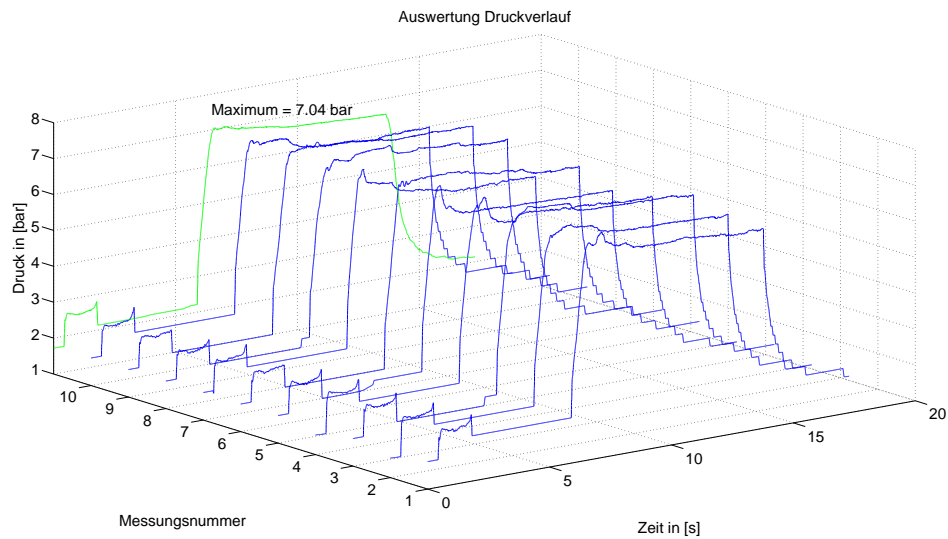


Abbildung 5.2: Druckverlauf - Minimale Mahlmenge

5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation

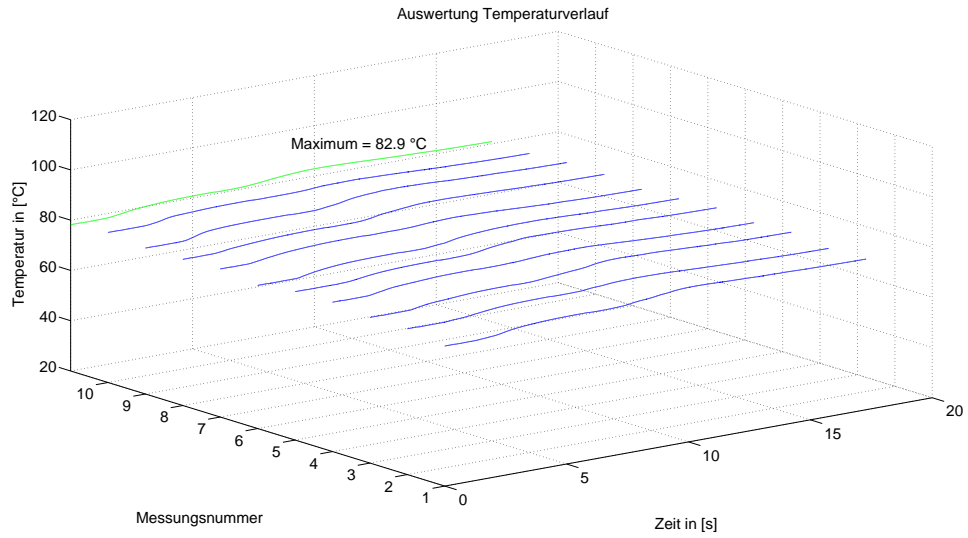


Abbildung 5.3: Temperaturverlauf - Minimale Mahlmenge

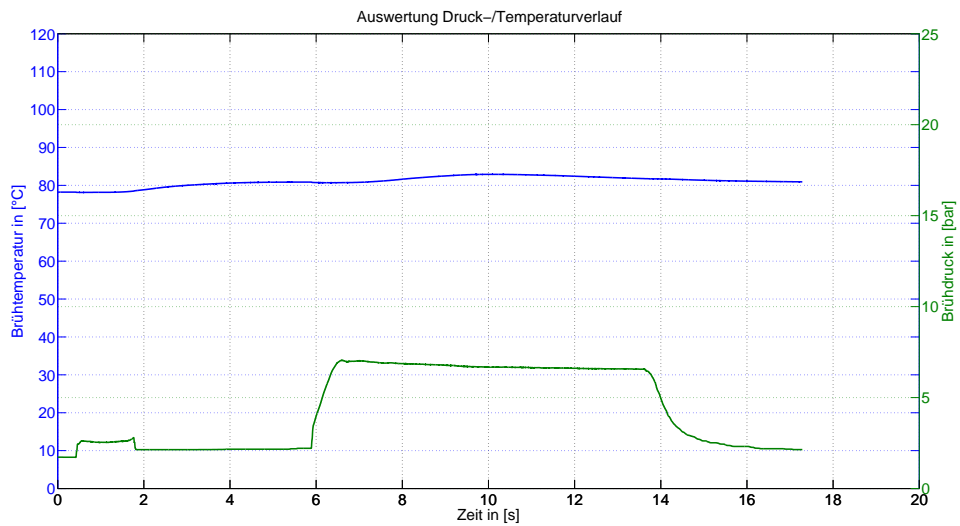
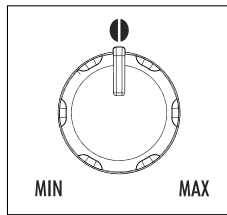


Abbildung 5.4: Druck-/Temperaturverlauf - Minimale Mahlmenge

5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation

5.1.2 Mittlere Mahlmenge



Maximaler Brühdruck	6,93	bar
Maximale Brühtemperatur	82,7	°C
Durchflussmenge	0,053	Liter

Tabelle 5.2: Gemittelttes Messergebnis bei mittlerer Mahlmenge

Abbildung 5.5: Mahlmenge mittel

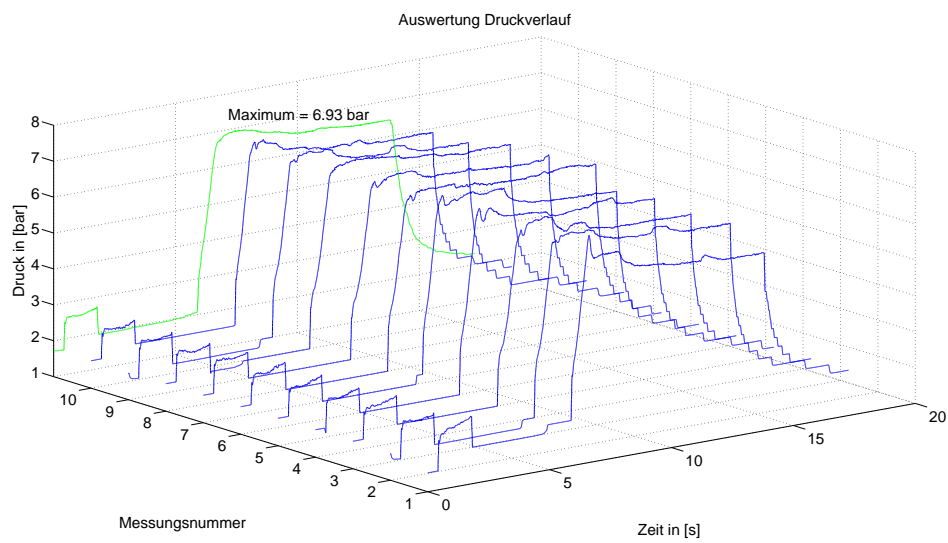


Abbildung 5.6: Druckverlauf - Mittlere Mahlmenge

5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation

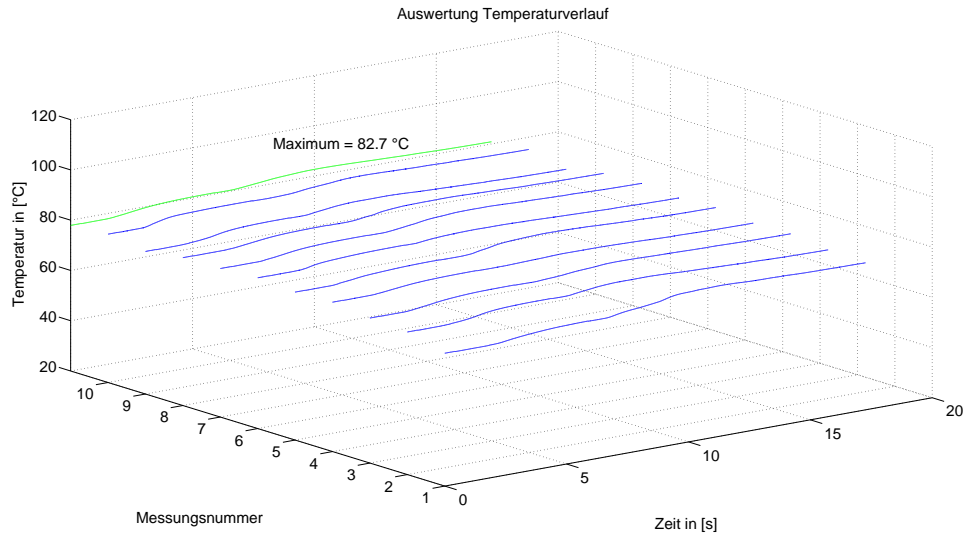


Abbildung 5.7: Temperaturverlauf - Mittlere Mahlmenge

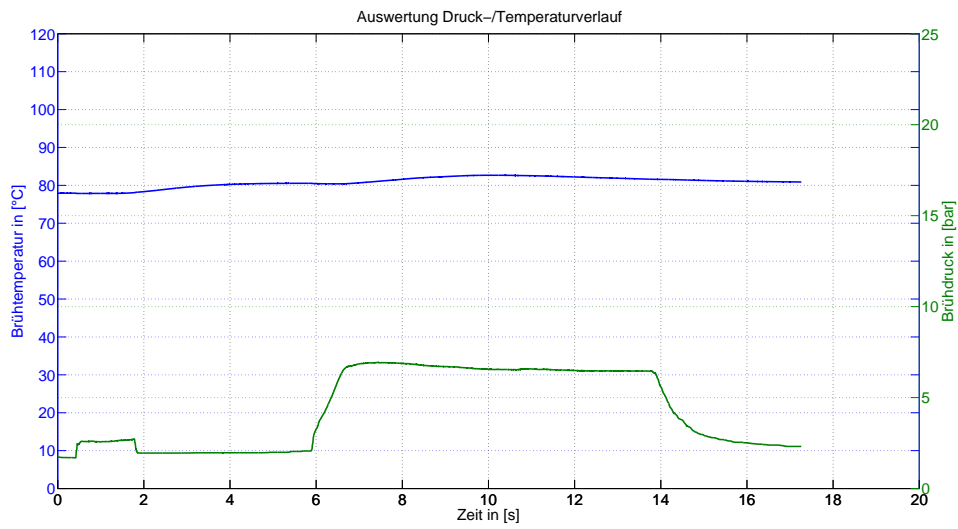
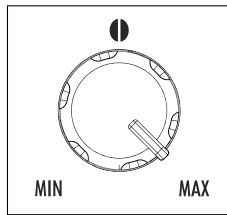


Abbildung 5.8: Druck-/Temperaturverlauf - Mittlere Mahlmenge

5.1.3 Maximale Mahlmenge



Maximaler Brühdruck	7,04	bar
Maximale Brühtemperatur	83,4	°C
Durchflussmenge	0,054	Liter

Tabelle 5.3: Gemittetes Messergebnis bei maximaler Mahlmenge

Abbildung 5.9: Mahlmenge maximal

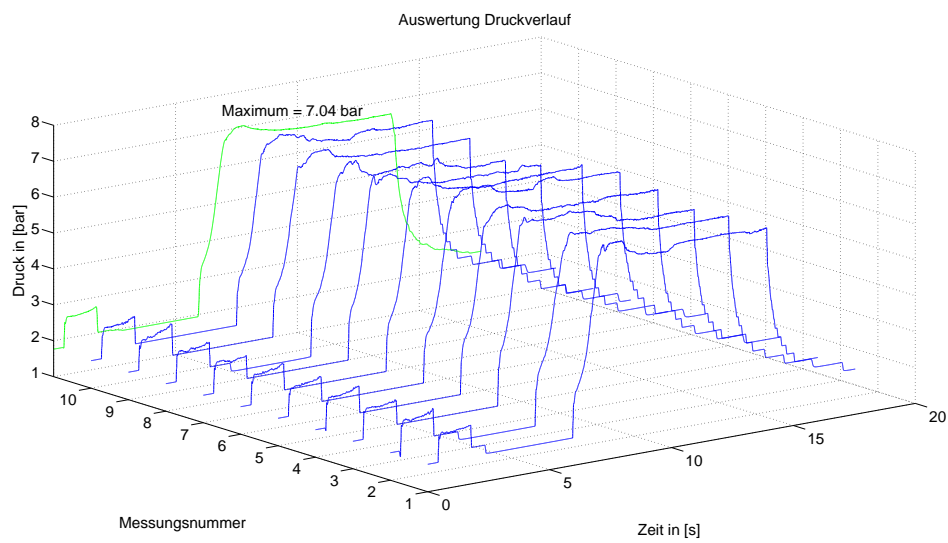


Abbildung 5.10: Druckverlauf - Maximale Mahlmenge

5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation

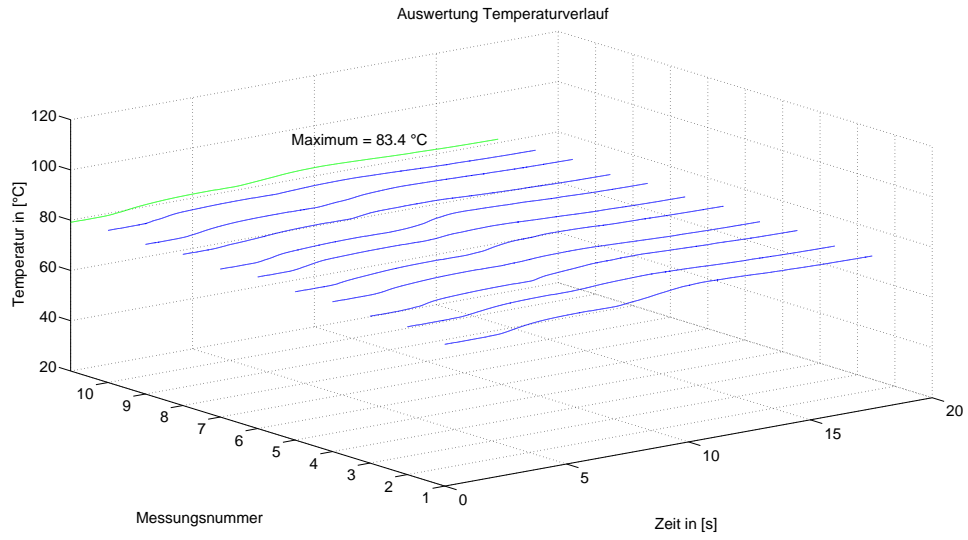


Abbildung 5.11: Temperaturverlauf - Maximale Mahlmenge

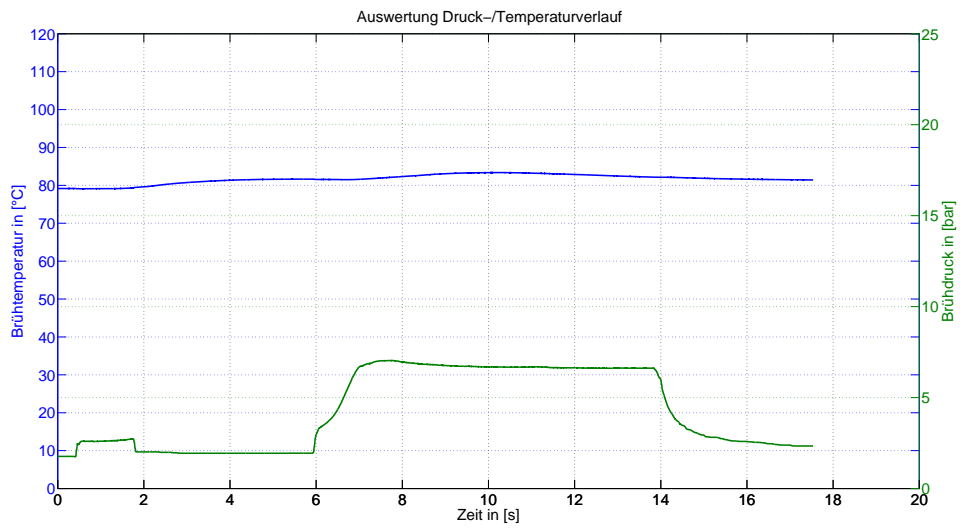


Abbildung 5.12: Druck-/Temperaturverlauf - Maximale Mahlmenge

5.1.4 Ergebnisinterpretation Variation Mahlmenge

Wie den oben gezeigten Messwerten entnommen werden kann, ist bei diesen Messungen keine Abhängigkeit des Druckes von der Mahlmenge zu erkennen. Die Messungen zeichnen nicht die Erwartung ab, welche vorab getroffen wurden. Dies liegt mit sehr hoher *Wahrscheinlichkeit* darin begründet, dass der eingestellte Mahlgrad extrem grob ausfällt und somit der PUK sehr grobporig wird, was den maximal erreichbaren Druck senkt. Da sich die Variation der Mahlmenge auf einen verhältnismäßig kleines Intervall beschränkt, ist keine Druckänderung nachzuweisen. Der Mahlgrad kann aufgrund des technisch extrem fragilen Mahlwerkes nicht herabgesetzt werden, da dies ein Durchrutschen des Antriebsriemens nach sich ziehen würde.

Anders als vorgesehen wurde bei diesen Messungen die Aufzeichnung bereits ab der ersten Förderung der Pumpe begonnen. Dies hat in diesem Versuch den Vorteil, dass die Preinfusion mit dargestellt und ausgewertet werden kann. Sollte nur der tatsächliche Brühverlauf aufgenommen werden, muss lediglich das Flag *change_offset* im m-File *auswertung* zu null gesetzt werden. Das setzen dieses Flags zu Null ändert die Offsetzeiterkennung auf „druckinduziert“ wie es bereits erklärt wurde. Das Flag zu Eins gesetzt setzt die Offsetzeiterkennung auf „hallgeberinduziert“.

Um dennoch weitere Erkenntnisse der Abhängigkeit zwischen Brühdruck und Mahlmenge zu erlangen, wurden weitere Messungen durchgeführt. Bei den folgenden Messungen wurde auf die externe Kaffeemühle La Cimbali MD Junior zurückgegriffen, da das interne Kegelmahlwerk des Kaffeevollautomaten für diese Versuche unbrauchbar ist. Bei dieser externen Kaffeemühle kann im Gegensatz zur internen Kaffeemühle der Mahlgrad variiert werden, ohne das sich das Mahlwerk selbst zerstört. Diese Möglichkeit soll nicht ungenutzt bleiben, um weitere Messungen in Bezug auf die Abhängigkeit des Brühdrucks vom Mahlgrad aufzunehmen. Im Zuge der Durchführung dieser Messungen konnte auch die Abhängigkeit der Mahlmenge auf den Brühdruck nachgewiesen werden, welche jedoch hier nicht explizit aufgeführt wird. Die Erhöhung der Mahlmenge führte teilweise zu einem extremen Druckanstieg bis zu 15 bar.

5.2 Variation des Mahlgrades

Bei der Kaffeemühle handelt es sich um eine La Cimbali MD Junior. Der Mahlgrad bzw. die Stufe bezieht sich auf die gerätspezifische Skalierung.

5.2.1 Mahlgrad Stufe 30

Tabelle 5.4: Messergebnis Mahlgrad Stufe 30

Maximaler Brühdruck	7,38	bar
Maximale Brühtemperatur	83,4	°C
Durchflussmenge	0,053	Liter

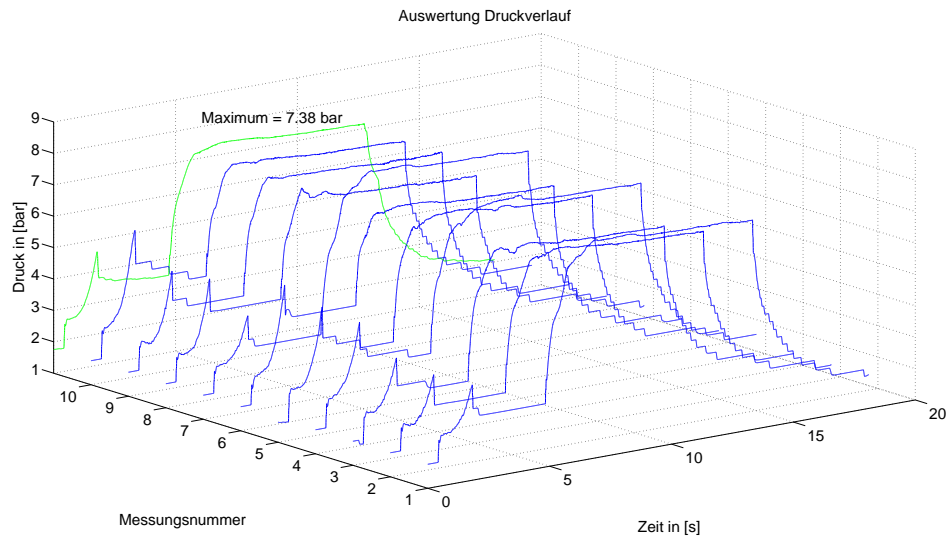


Abbildung 5.13: Druckverlauf - Mahlgrad Stufe 30

5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation

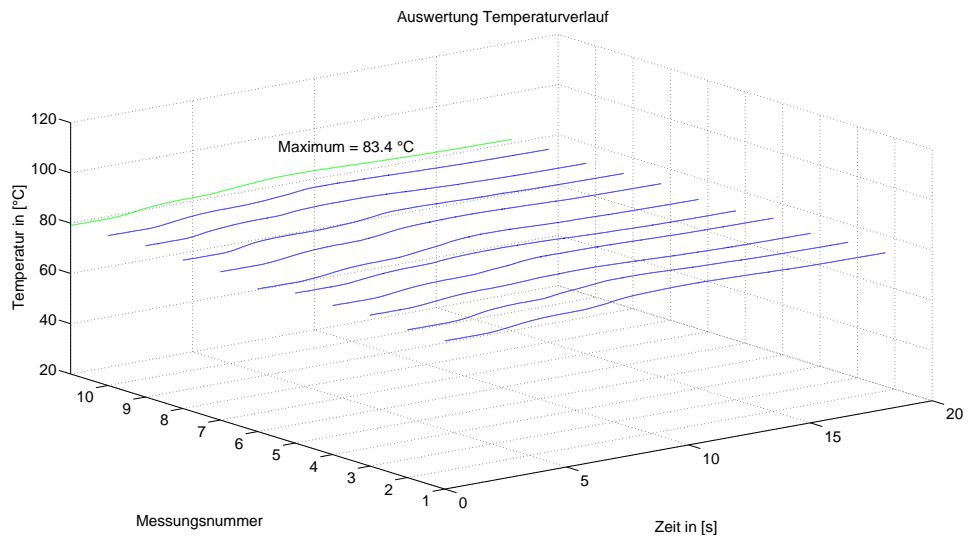


Abbildung 5.14: Temperaturverlauf - Mahlgrad Stufe 30

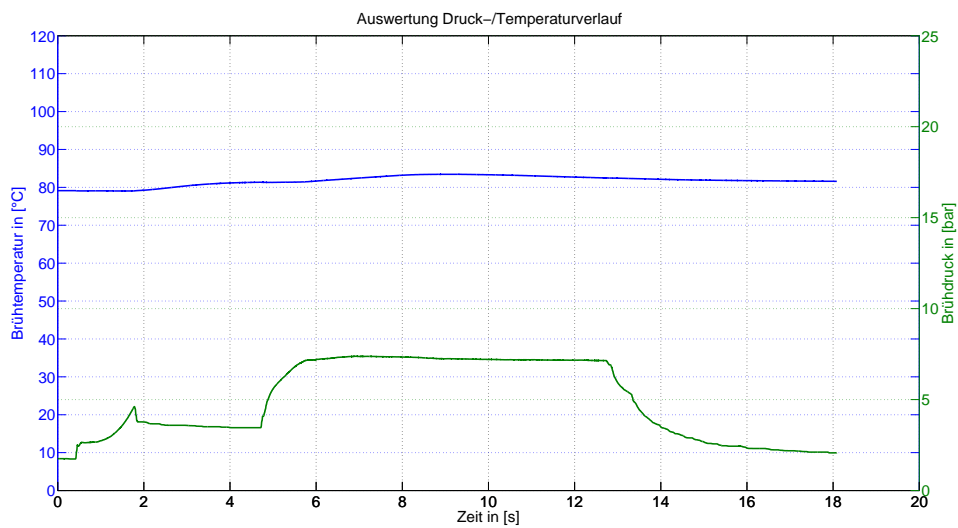


Abbildung 5.15: Druck-/Temperaturverlauf - Mahlgrad Stufe 30

5.2.2 Mahlgrad Stufe 27

Tabelle 5.5: Messergebnis Mahlgrad Stufe 27

Maximaler Brühdruck	9,91	bar
Maximale Brühtemperatur	85,3	°C
Durchflussmenge	0,060	Liter

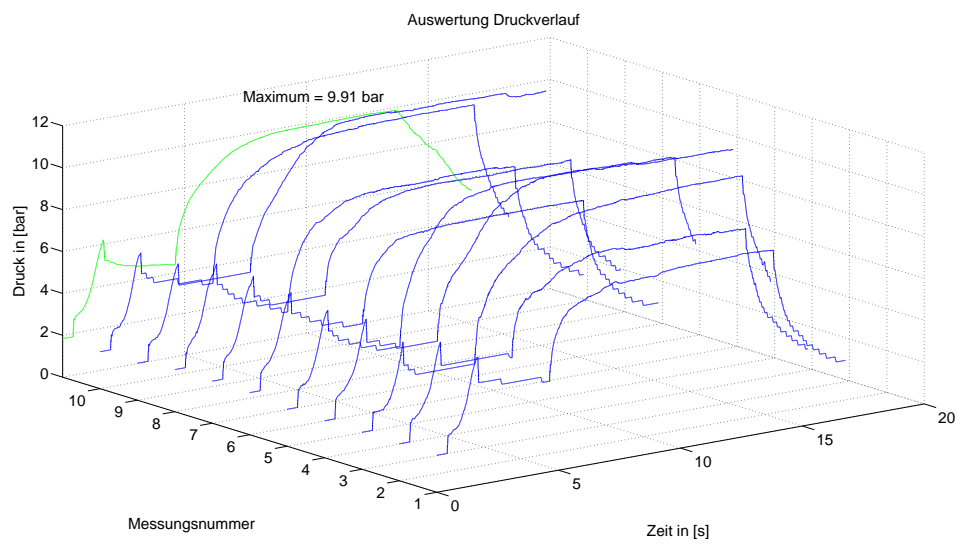


Abbildung 5.16: Druckverlauf - Mahlgrad Stufe 27

5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation

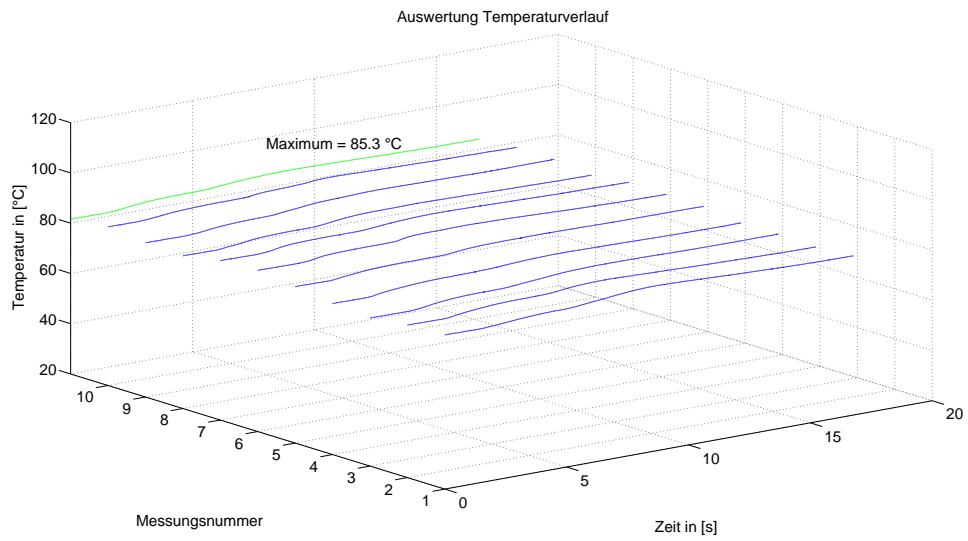


Abbildung 5.17: Temperaturverlauf - Mahlgrad Stufe 27

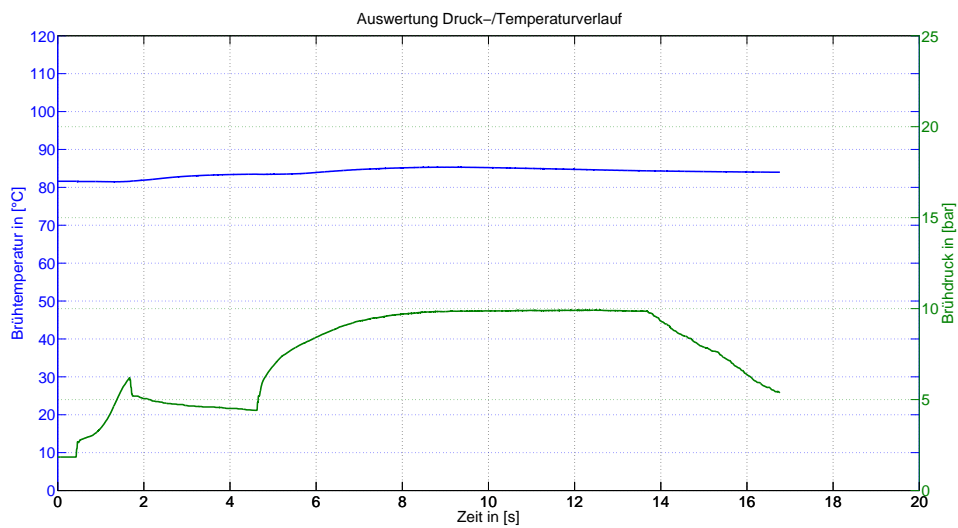


Abbildung 5.18: Druck-/Temperaturverlauf - Mahlgrad Stufe 27

5.2.3 Ergebnisinterpretation Variation Mahlgrad

Den Messungen kann entnommen werden, dass eine feinere Vermahlung der Kaffeebohnen einen höheren Brühdruck hervorruft. Die Messergebnisse können für eine grundsätzliche Trenderkennung verwendet werden. Die Messungen sollte nicht für genaue Betrachtungen herangezogen werden, da diese nur zu **Testzwecken** aufgenommen wurden. Wie man den Graphen entnehmen kann schwanken die Werte für den Druck und die Brühdauer verhältnismäßig stark. Grund hierfür sind das eigentlich zu feine Kaffeemehl für diese Maschine. Weiterhin besteht das Problem bei manueller Bestückung, dass das Kaffeemehl teilweise am Einfülltrichter hängen bleibt und somit keine konstante Mahlmenge in die Brüheinheit eingebracht wird. Darüber hinaus besteht die Gefahr der Verschlammlung, da die Maschine mutmaßlich nicht für diesen Mahlgrad geeignet ist. Daher darf die Mittelung der Messwerte nicht als der tatsächliche Verlauf interpretiert werden. Die grundsätzlich höhere Brühtemperatur ist aufgrund des Dauerlaufes dieser Kaffeemaschine zurückzuführen. Um genaue Messungen im Hinblick auf die Abhängigkeiten und Reproduzierbarkeit durchzuführen, sollte das interne Mahlwerk ersetzt werden, um die Maschine den Spezifikationen entsprechend charakterisieren zu können.

5.3 Maximaldrucktest

Um die Herstellerangaben über den Druck zu validieren wurde ein Drucktest durchgeführt, welcher zeigt, dass die Maschine technisch in der Lage ist 15 bar Druck aufzubauen. Hierzu wurde der Druckkreislauf geschlossen und die Pumpe in Gang gesetzt. Nachfolgendem Graphen ist zu entnehmen das der Beharrungsdruck in etwa bei 15 bar liegt und somit die Herstellerangaben der Realität entsprechen.

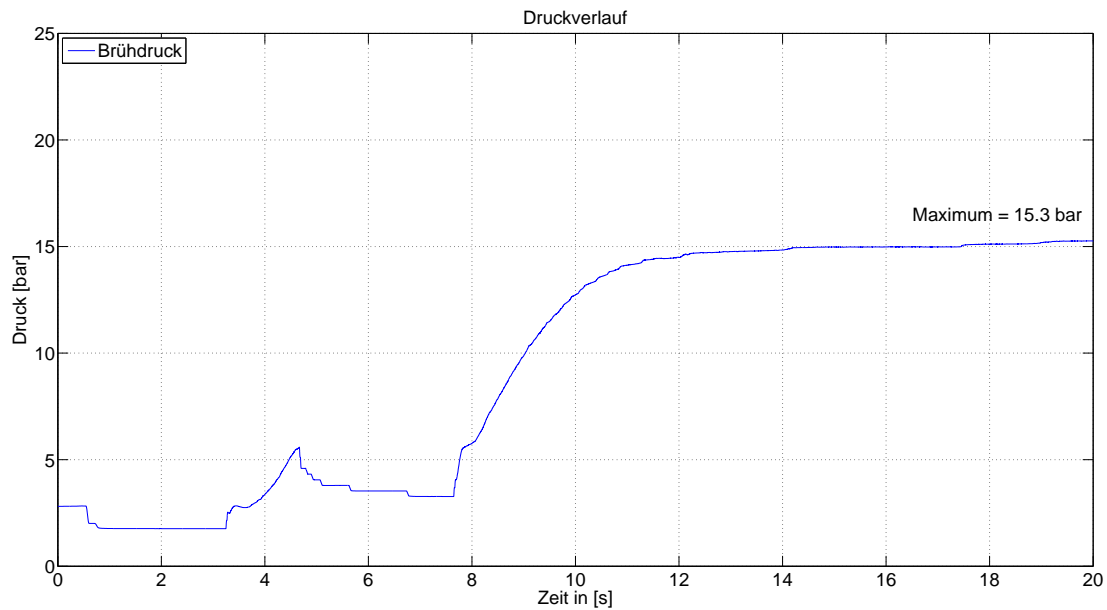


Abbildung 5.19: Maximaldrucktest

5.4 Abschließende Informationen

5.4.1 Allgemeine Hinweise bei der Verwendung des Versuchsaufbaus

Aufgrund des verhältnismäßig geringen Vorwiderstandes des Drucksensors ist die Versorgungsspannung nur dann einzuschalten, wenn wirklich gemessen werden soll. Aufgrund des hohen Stromes kann es es zu einer Erwärmung des Drucksensors kommen. Durch diese Maßnahme soll sichergestellt werden, dass sich der Sensor nicht unnötig erwärmt oder sich im Extremfall selbst zerstört. Soll der Versuchsaufbau im Dauerbetrieb betrieben werden, sollte der Vorwiderstand durch einen größeren ersetzt werden, um den Stromfluss zu verringern, was jedoch eine Reduzierung der Auflösung bedeuten würde. Diese Maßnahme kann schnell durchgeführt werden, da alle Vorwiderstände außerhalb des Kaffeemaschinengehäuses platziert wurden und somit leicht austauschbar sind. Prinzipiell kann die Kaffeemaschine ohne weiteres benutzt werden. Es gibt jedoch eine bereits erwähnte Einschränkung. Der Milchaufschäumer wurde ausser Betrieb gesetzt, um an dessen Stellen den Temperatursensor anbringen zu können. Daher sollte von der Verwendung der Taste Dampf erzeugen Abstand genommen werden, um einen dadurch entstehenden Überdruck in der Maschine zu vermeiden. Ebenfalls sollte der Stellpoti für die Milchaufschäumdüse nicht betätigt werden. Der Milchaufschäumer kann jederzeit reversibel zurückgebaut werden.



Abbildung 5.20: Betriebsbereiter Versuchsaufbau

5.4.2 Durchführung einer Messung (Kurzbeschreibung)

1. Kaffeemaschine zum Vorheizen einschalten und Beharrungszustand abwarten.
2. D-Sub-Stecker an der Rückseite der Kaffeemaschine anschließen.
3. National Instruments USB-6251 mit USB Kabel an den Computer anschließen.
4. National Instruments USB-6251 einschalten.
5. Netzteil ohne Verkabelung einschalten.
6. Spannung auf 12V einstellen und darauf achten, dass keine Strombegrenzung gesetzt ist.
7. Schalter OUTPUT muss auf OFF stehen.
8. Spannungsversorgungskabel des Messaufbaus am Netzteil anschließen (3x Plus, 1x Minus).
9. MATLAB starten.
10. Arbeitsverzeichnis festlegen.

5 Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation

11. daq.m in MATLAB ausführen (Taste F9).
12. Warten bis Initialisierung abgeschlossen wurde.
13. Drücken der Taste Kaffeebrühen an der Kaffeemaschine.
14. OUTPUT des Netzteiles auf ON stellen.
15. Warten bis Brüheinheit in Brühposition gefahren ist.
16. Sobald ein „gurgelndes“ (Kurz vor oberem Totpunkt) Geräusch wahrgenommen wird Messung durch Drücken des Buttons „Messung starten“ auslösen.
17. Messung abwarten.
18. OUTPUT Taster am Netzteil wieder auf OFF stellen.

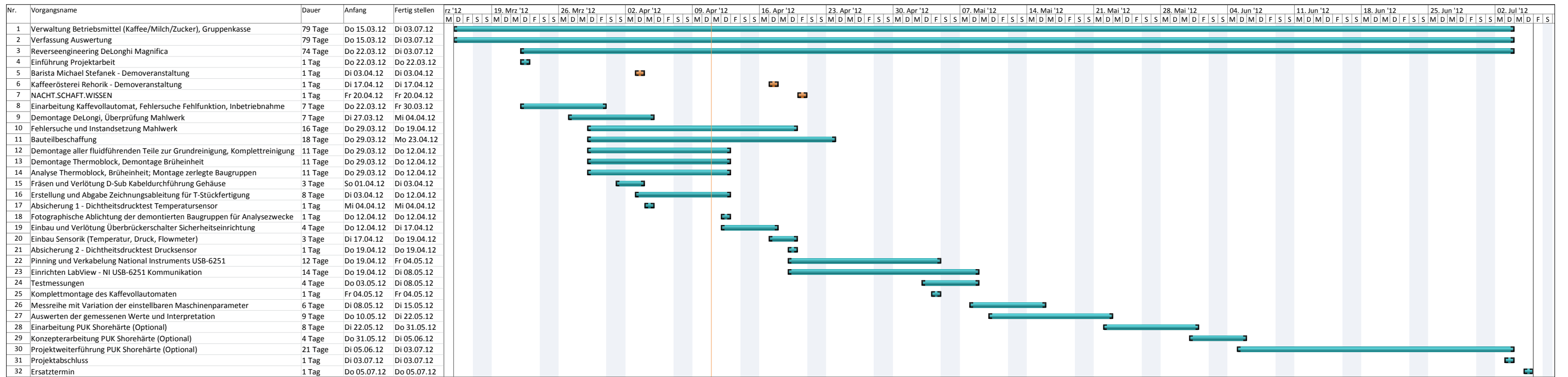
5.4.3 Durchführung einer Auswertung

Nach erfolgreicher Messung können die Messdaten ausgewertet werden. Dies kann an jedem beliebigen Computer mit installiertem MATLAB durchgeführt werden. Dazu ist es lediglich notwendig das m-file `auswertung.m` auszuführen und ggf. an die Erfordernisse anzupassen. Der Algorithmus führt dann die Auswertung durch.

6 Ausblick und Anregungen

Das Thema „Analyse Druck/ Temperatur an der DeLonghi“ lässt sich prinzipiell beliebig ausweiten, was jedoch den zeitlichen Rahmen dieser ohnehin zeitintensiven Arbeit gesprengt hätte. Jedoch gibt es ein paar Anregungen die ggf. im Zuge einer weiteren Projektarbeit umgesetzt werden könnten. Um die Bedienung der MATLAB Messung benutzerfreundlicher zu gestalten könnte eine Benutzeroberfläche (GUI mittels guide) für die Daten Akquisition erstellt werden. Dadurch ließe sich der A/D-Wandler als allgemeines Spannungsmessgerät einsetzen ohne sich mit MATLAB auskennen zu müssen. Dies wäre sicherlich ein Ansatzpunkt für eine neue Projektarbeit um die Messbox universell einsetzbar zu machen. Ein weiterer Punkt wäre noch das automatische Auslösen des Brühvorganges bei Messungsbeginn. Dies könnte durch eine Transistorschaltung leicht umgesetzt werden. Hierzu wird lediglich der Taster der Kaffeemaschine mittels Transistor kurzzeitig überbrückt was, das Auslösen des Brühvorganges zur Folge hätte. Daraus könnten weiter Analysen abgeleitet werden wie z.B. die Zeit die verstreicht, bis das Mahlwerk anspringt, etc.

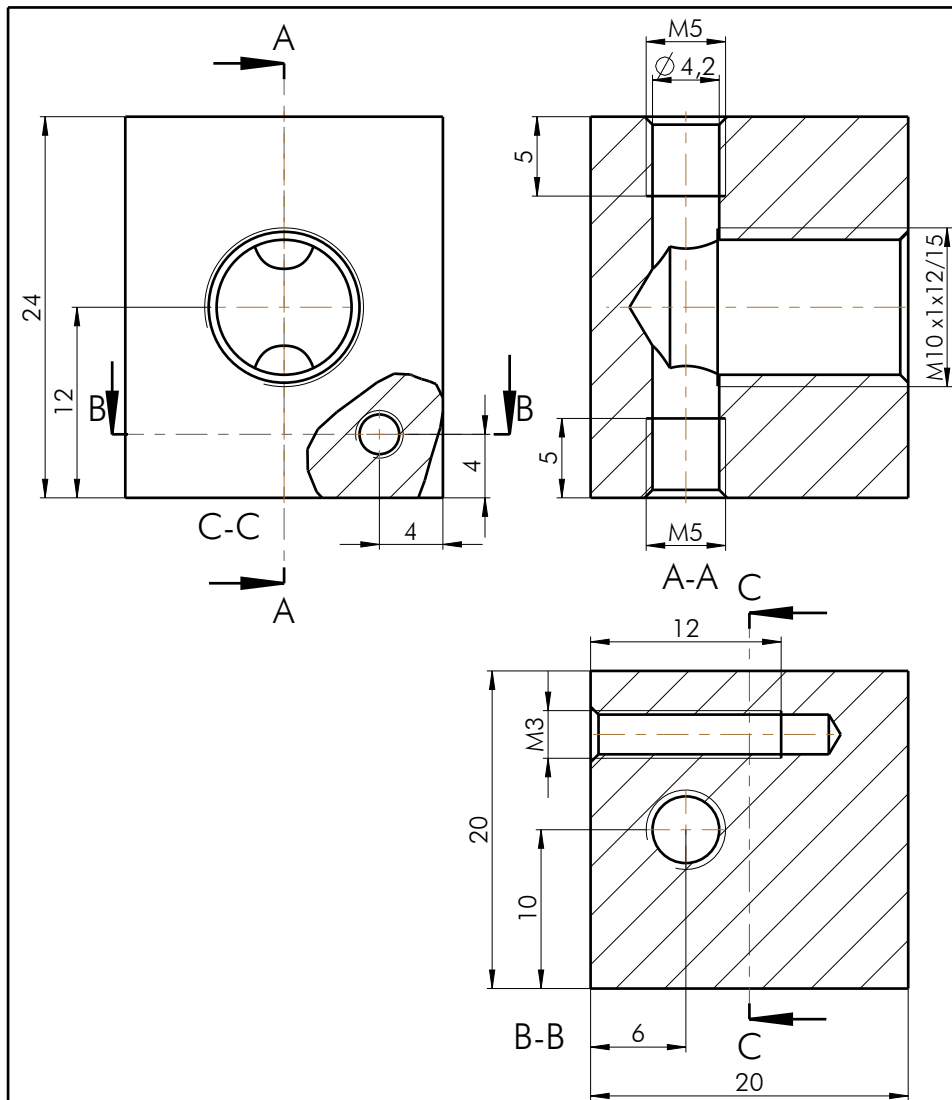
7 Anhang



Projekt: Projektplanung Datum: Mi 11.04.12	Vorgang	Meilenstein	Projektsammelvorgang	Externer Meilenstein	Inaktiver Meilenstein	Manueller Vorgang	Manueller Sammelrollup	Nur Anfang	Stichtag
	Unterbrechung	Sammelvorgang	Externe Vorgänge	Inaktiver Vorgang	Inaktiver Sammelvorgang	Nur Dauer	Manueller Sammelvorgang	Nur Ende	In Arbeit

Seite 1

7 Anhang



Alle Bohrungen sind mit einer Fase von 0,5mm zu versehen.

		Allgemeintoleranz ISO 2768-mH	Kanten ISO 13715	Maßstab 3:1	Gewicht: 0,068 kg
				Werkstoff:	Aluminium
			Datum	Name	(Benennung)
			Bear.	05.04.12	
			Gepr.		
			Norm		
		Fachhochschule Regensburg		(Zeichnungsnummer)	Blatt 1
				1	1 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Nam.	Urspr.	Ers. für
					Ers. durch

Abbildung 7.1: Zeichnung T-Stück

Tabelle 7.1: Eingesetztes Material

Position	Artikelname	Menge	Einzelpreis	Summe	Menge Hochschule	Summe Verwendung
1	IQS Steckverschraubung	4	2,85 €	11,38 €	2	5,69 €
2	Wippschalter 1 Polig	1	1,77 €	1,77 €	1	1,77 €
3	Sub D-Buchsenleiste	1	0,52 €	0,52 €	1	0,52 €
4	Posthaube 9 Polig	1	1,59 €	1,59 €	1	1,59 €
5	Widerstand 0,6W - 2,7 kOhm	1	0,11 €	0,11 €	1	0,11 €
6	Widerstand 5W - 39 Ohm	1	0,76 €	0,76 €	1	0,76 €
7	LED 5mm grün	1	0,08 €	0,08 €	1	0,08 €
8	Widerstand 1W - 1 kOhm	4	0,18 €	0,72 €	0	0,00 €
9	Widerstand 5W - 39 Ohm	1	0,54 €	0,54 €	0	0,00 €
10	Decklinse klar	1	0,27 €	0,27 €	0	0,00 €
11	Widerstand 0,6W - 390 Ohm	1	0,11 €	0,11 €	0	0,00 €
12	LED Fassung Innenreflektor	1	0,77 €	0,77 €	1	0,77 €
13	Flachsteck-Vert.	4	0,57 €	2,28 €	4	2,28 €
	SUMME	22	10,12 €	20,90 €	13	13,57 €

Literaturverzeichnis

- [Knu90] Knuth, Donald E.: *The T_EX book*, volume A of *Computers and Typesetting*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Mass., 19th edition, 1990.
- [Läm09] Lämmlein, Prof. Dr. Stephan: *Skriptum zur Vorlesung Messtechnik*. HS Regensburg, 2009.
- [Pap09] Papula, Lothar: *Mathematische Formelsammlung*. Vieweg + Teubner, 2009.
- [Sch06] Schlosser, Joachim: *Wissenschaftliche Arbeiten schreiben mit L^AT_EX*. mitp Verlag, Bonn, November 2006.