

Dokumentation Projektmodul

Inbetriebnahme Mess-System zur Bestimmung von Durchflussraten, Druck- und Temperaturverläufen von Siebträger-Espressomaschinen

SoSe 2021



Hochschule München

Fakultät 03 – Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik

Vorname Nachname:	Matrikelnr.:	Seminargruppe:	E-Mail:
Patricia Viebke	06433718	MBB6	pviebke@hm.edu
Tamim Sediq	57750916	MBB7	tsediq@hm.edu
Andreas Turbanisch	32399218	MBB6	turbanisch.andreas0@hm.edu

Seminarleiter: Armin Rohnen



Abgabedatum: 04. September 2021

ABSTRACT

(Patricia Viebke)

Die Dokumentation der Projektarbeit befasst sich mit dem Aufbau und der Inbetriebnahme eines Messsystem zur Bestimmung von Durchflussraten, Druck- und Temperaturverläufen von Siebträger-Espressomaschinen mit einer E61 Brühgruppe. Für die Bestimmung der Betriebsparameter mussten die Sensoren gefertigt und verkabelt werden und eine Benutzeroberfläche programmiert werden, um Messungen durchführen zu können. Für die Drucksensoren und die Wägezelle waren die Nennwerte zu ermitteln mithilfe manueller Messungen mit Kalibriergewichten und -drücken. Die Auswertung der Nennwerte ergab, dass das Wägesystem eine ungenügende Messgenauigkeit darstellt. Aufgrund dieser Erkenntnis musste die gesamte Konstruktion des Wägesystems analysiert werden, ob diese so geeignet ist. Bei dem Testen des Messsystems anhand erster Probemessungen mit Espressomaschine Lelit Mara X ist aufgefallen, dass der Durchflusssensor Probleme bereitet. Daher wurde für den Sensor eine Signalanalyse durchgeführt, um das Problem zu lokalisieren. Des Weiteren war auffällig, dass beim Messen der Temperatur mit dem Raspberry Pi die Sensoren eine Störfrequenz von 50 Hz aufweisen. Durch Versuche konnten Erkenntnisse festgestellt werden.

This documentation of the project module is about the composition and installation of a measuring system for portafilter machines with an E61 brew group, which determines the flow rates, pressures, and temperatures. Therefore, the sensors had to be wired up and a GUI was to be programmed, so that the user can run measurements. For the pressure sensors and the weight cell were nominal values to detect with manual measurements using calibration weights and pressures. The resulting nominal values showed that the weight system brought insufficient accuracy while measuring. Due to this realization, the whole construction of the weight system had to be analyzed if it's usable in its actual form. First measuring attempts on espresso machine Lelit Mara X led to confrontation of the problem with the flowmeter. Therefore, a whole signal analysis was accomplished to help find the root of the problem. Furthermore, the signal of the temperature sensors was suspicious. The signal contains a 50 Hz interference frequency. Experiments helped the team to get to conclusions.

ABKÜRZUNGEN

Abkürzung	Erklärung
NTC	Negative Thermatic Coefficient Sensor
BG	Brühgruppe
GUI	Graphical User Interface
D	Distanz
S	Spotgröße
V	Volt
mV	Millivolt
GPIO	General Purpose Input/Output
ISR	Interrupt Service Request
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter, Universelle asynchrone Schnittstelle
FIFO	First In – First Out

FORMELZEICHEN

Formelzeichen	Beschriftung	Einheit
c	Wärmekapazität	$\frac{J}{kg * K}$
Q	Wärmemenge	J
\dot{Q}	Wärmestrom	$\frac{J}{s}$
m	Masse	kg
ΔT	Temperaturdifferenz	K
R_{th}	Wärmeleitwiderstand	$\frac{K}{W}$
r_i	Innenradius	m
r_a	Außenradius	m
L	Rohrlänge	m
λ	Wärmeleitfähigkeit	$\frac{W}{mK}$
V	Wasserdurchfluss	$\frac{ml}{s}$
Δt	Zeitabstände der Impulse	s

INHALTSVERZEICHNIS

Abstract	II
Abkürzungen	III
Formelzeichen	III
1 Einleitung	1
2 Temperatursensoren	2
2.1 Temperatur vor dem Kaffeepuck	2
2.1.1 Fertigung und Aufbau	2
2.1.2 Messvorgehen	3
2.2 Temperatur der Brühgruppe	4
2.2.1 Infrarot Sensor (B+B CT LT 15)	4
2.2.2 Aufbau und Verkabelung	5
2.2.3 Messvorgehen	5
2.3 Temperatur vor der Brühgruppe	7
2.3.1 Temperaturverzugsbetrachtung	8
2.3.2 Messvorgehen	9
2.4 Temperatur am Siebträgerauslauf	10
2.4.1 Aufbau des Messsiebträgers	10
2.4.2 Messvorgehen	11
2.5 Analyse der Messwerte	12
2.5.1 Hochfrequentes Rauschen	12
2.5.2 Rauschen der Messwerte	13
3 Drucksensoren	14
3.1 Fertigung	14
3.2 Ermittlung der Nennwerte	15
4 MATLAB® GUI	16
4.1 Aufbau des Programmcodes	16
4.1.1 Properties	16
4.1.2 Methods	16
4.1.3 Callbacks.....	22
4.2 Beschreibung der Benutzeroberfläche	26
4.2.1 „STARTSEITE“ - TAB	26
4.2.2 „MESSEN“ - Tab.....	27
5 Durchflusssensor	30
5.1 Adaption im Messsystem	30
5.2 Problemanalyse des Messwertverarbeitung	30
6 Wägesystem	33
6.1 Zusammenbau des Wägesystems	33
6.2 Prüfen auf Eignung des Wägesystems	33
6.2.1 Statistische Auswertung des ersten Testdurchlaufs.....	34
6.2.2 Statistische Auswertung des zweiten Testdurchlaufs.....	35
6.3 Problemanalyse	35
6.4 FEM-Analyse des Gestells	36
6.5 Ansätze zur Problemlösung.....	37
7 Lösungsvorschläge	38
8 Zusammenfassung	39

9	Ausblick	40
	Abbildungsverzeichnis	VI
	Tabellenverzeichnis	VII
	Formelverzeichnis	VII
	Literaturverzeichnis	VIII
	Anhang	IX

1 EINLEITUNG

(Andreas Turbanisch, Patricia Viebke)

Die Projektarbeit befasst sich mit der Inbetriebnahme eines Messsystems zur Bestimmung von Durchflussraten, Druck- und Temperaturverläufen von Siebträger-Espressomaschinen. Sie ist die direkte Weiterführung der ~~vorhergegangenen~~ Projektarbeit: ~~“Mess-System zur Ermittlung der Betriebsparameter von Espressomaschinen”~~ aus dem Wintersemester 20/21.



Das Messsystem hat zum Ziel die Betriebsparameter von Espressomaschinen **anderer** Hersteller aufzunehmen und das Verhalten dieser zu analysieren. Anhand dieser Betriebsparameter können Rückschlüsse und Erkenntnisse des Arbeitsverhaltens der Espressomaschine aufgestellt werden. Dafür wird die Temperatur des durchlaufenden Wassers vor dem Kaffeepuck und vor der Brühgruppe aufgenommen. Des Weiteren wird die Kaffeetemperatur am Siebträgerauslauf erfasst. Mithilfe des Drucksensors wird der Druck in der Brühgruppe vor dem Kaffeepuck ermittelt. Die zu erfassenden Durchflussraten messen sowohl den Volumenstrom zwischen dem Boiler und der Brühgruppe, sowie den Kaffeestrom am Siebträgerauslauf.

Die sich auf dem Markt befindenden Espressomaschinen lassen sich in Espressomaschinen mit E61 Brühgruppen, sowie Espressomaschinen mit Brühgruppen anderer Ausführung unterscheiden. Aufgrund der unterschiedlichen Adaptionmöglichkeiten dieser Ausführungen entstand der Bedarf für zwei Temperatur- und Drucksensoren vor dem Kaffeepuck [1].

Im Rahmen dieser Dokumentation ist der Aufbau und die Inbetriebnahme des Messsystems, sowie die Erkenntnisse aus den durchgeführten Probemessungen festgehalten. Zudem dient die Dokumentation zum Beschreiben der aufgetretenen Probleme, ihrem Analyseverfahren und ihrer möglichen Behebung anhand ausgearbeiteter Lösungsansätze.

2 TEMPERATURSENSOREN

(Andreas Turbanisch)

Das Arbeitspaket der Temperatursensoren befasst sich mit der Aufnahme von thermischen Vorgängen in Espressomaschinen. Die Messstellen wurden von der Vorgruppe definiert und belaufen sich auf die Temperatur vor dem Kaffeepuck, die Temperatur der Brühgruppe, die Temperatur vor der Brühgruppe, sowie die Temperatur am Siebträgerauslauf [1].

2.1 Temperatur vor dem Kaffeepuck

Die Aufgabe dieses Temperatursensors ist es die Temperatur des Kaffeewassers vor dem Durchströmen des Kaffeepucks aufzunehmen. Bei Espressomaschinen, welche mit einer E61 Brühgruppe ausgestattet sind, kann dies über die vorhandene Bohrung in der Brühgruppe geschehen. Bei Brühgruppen anderer Ausführung findet die Erfassung der Temperatur über eine separate zweite Brühgruppe statt. Über eine Messbohrung kann die Temperatur abgegriffen werden. Die Beschreibung der separaten Brühgruppe, sowie deren Adaption ist den vorhergegangenen Projektarbeiten [2], [1] zu entnehmen.

Durch diese zwei Kategorien ergibt sich der Bedarf nach zwei Sensoren. Diese sind im Aufbau identisch, jedoch unterscheiden sie sich in der Länge. Die verwendete Messtechnik beläuft sich auf NTC – Sensoren [1]. Im Folgenden werden die Fertigung und der Aufbau, sowie ein Vorgehen zur Messung beschrieben. Es ist anzumerken, dass im Rahmen dieses Dokuments der Begriff Sensor, den fertigen adaptierten NTC – Sensor (siehe Abbildung 1) beschreibt.

2.1.1 Fertigung und Aufbau

Die Adaption des NTC's ist wie folgt aufgebaut. Um den thermischen, sowie mechanischen Beanspruchungen während des Messprozesses standzuhalten muss der NTC - Sensor geschützt werden. Dies geschieht mithilfe von zwei Messingrohren, einem Messadapter und einer Steckverbindung. Im Folgenden ist der Aufbau in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

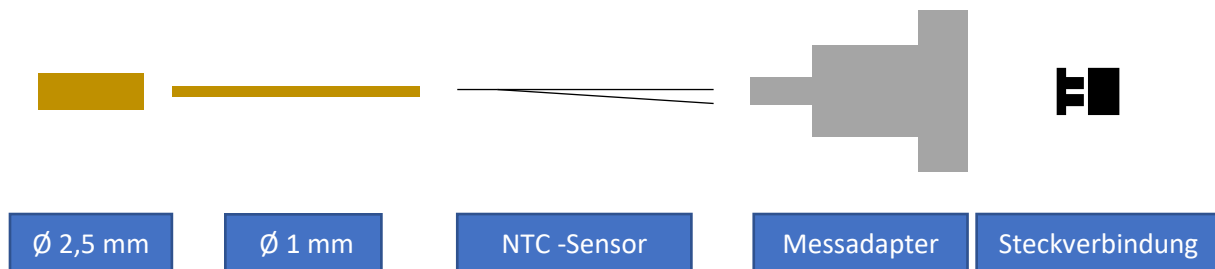


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus der Sensoren

Um das Adaptieren vorzubereiten, gilt es die Messingrohre, sowie den Messadapter zurechtzuschneiden, bzw. zu fertigen. Die Maße der Sensoren sind den technischen Zeichnungen der Vorgruppe zu entnehmen [1]. Beim Zuschneiden der Messingrohre ist darauf zu achten einen „Dremel“ (Geradschleifer) zu verwenden, da durch Sägen bzw. Abzwicken der Innendurchmesser des Rohres zu sehr an Maßhaltigkeit verliert.

Das anschließende Adaptieren der einzelnen Komponenten wurde nach Vorgehen der Vorgruppe durchgeführt und beläuft sich auf folgende Schritte:

1. Reinigen der zu verklebenden Komponenten mit Alkohol (Isopropanol)
2. Aktivieren der Oberflächen, auf denen der Klebstoff aufgetragen wird (Verwendung von Flüssigaktivator Cyberbond [Primer])
3. 1 Stunde warten
4. NTC in 1 mm Messingrohr kleben (zwei Komponenten Klebstoff, Methylmetacrylat [Bezeichnung: X60 Schnellklebstoff])
5. Messingrohr mit \varnothing 2,5 mm überschieben

6. Vorderes Ende Druckdicht quetschen und anschließend auf \varnothing 1 mm Messingrohr kleben
7. Beide Messingrohre in Messadapter mit einkleben
8. Kabel des NTC Sensors an Stecker anlöten
9. Steckverbindung an Messadapter ankleben

Eine ausführliche Beschreibung des Klebevorgangs ist unter 3.1 beschrieben. Der fertige Sensor ist in Abbildung 2 dargestellt.

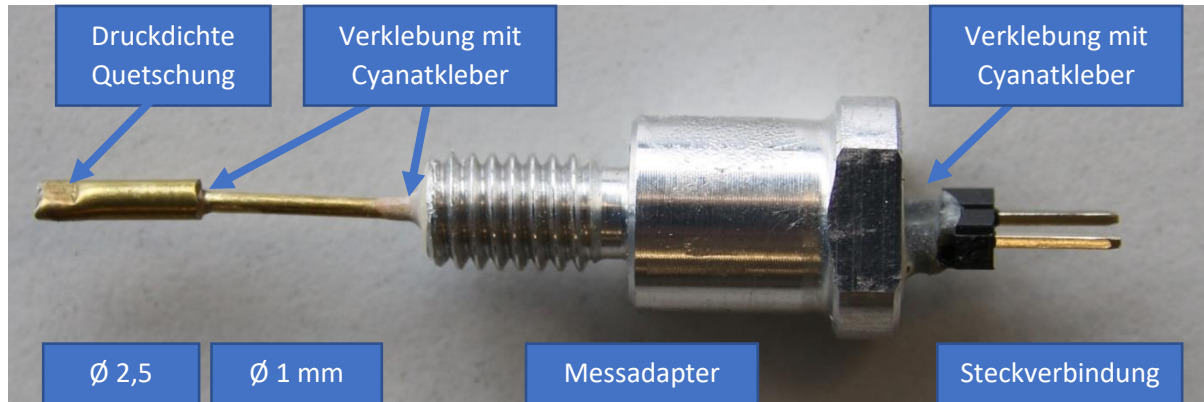


Abbildung 2: Fertiger Sensor zur Messung der Temperatur vor dem Kaffeepuck (T_v _KP (nE61))

Zur Fertigung des Sensors für E61 Brühgruppen wurde dasselbe Vorgehen angewandt.

Verkabelung

An den Raspberry angeschlossen wird der Temperatursensor über ein dafür angefertigtes 4-adriges Mikrofonkabel. Da für den Sensor nur zwei Adern gebraucht werden wurden die anderen 2 abgetrennt. Der Schirm des Kabels ist auf einen eigens dafür angebrachten Port geerdet. In Abbildung 3 ist der fertig verkabelte Sensor, sowie eine Beispielsanschlussstelle dargestellt (Anmerkung: Darstellung enthält zweifach nicht dreifach Anschlussstelle). Eine Detaillierte Beschreibung der Verkabelung ist dem Verkabelungsplan zu entnehmen. [3]

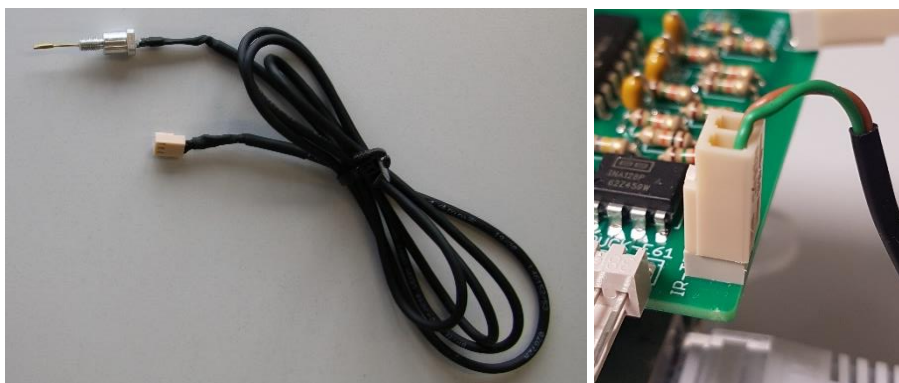


Abbildung 3: Verkabelung des Temperatursensors (links), Anschluss am Raspberry Pi (rechts)

2.1.2 Messvorgehen

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, gilt es auf Folgendes zu achten. Zunächst wird der Sensor in die Bohrung der E61 Brühgruppe bzw. der zweiten Brühgruppe eingeschraubt. Um die Schraubverbindung druckdicht zu verschließen, gilt es eine Flachdichtung einzulegen. Alternativ lässt sich das Gewinde ebenso mit Teflon Band abdichten. Da die Messadapter aus Aluminium gefertigt sind gilt es darauf zu achten nicht zu viel Drehmoment aufzubringen, da sonst das Gewinde des Messadapters abreißen könnte. Anschließend muss die Verkabelung an den Raspberry angeschlossen werden. Die Temperaturmessung ist nun bereit und kann über die Bedienung der GUI gestartet werden (Vgl. 4).

2.2 Temperatur der Brühgruppe

Über die Oberflächentemperatur der Brühgruppe lassen sich Rückschlüsse auf das thermische Aufheizverhalten, sowie die Wärmekompensation während des Kaffeebezugs ziehen. Zudem ist es relevant die Oberflächentemperatur zu wissen, um die Gefahr vor Verbrennungen bei Berührung einschätzen zu können.

Das Konzept der Vorgruppe, die Temperatur über einen aufgeklebten NTC zu ermitteln, wurde verworfen. Stattdessen wurde beschlossen einen Infrarotsensor zu verwenden.

2.2.1 Infrarot Sensor (B+B CT LT 15)

Bei dem Infrarot-Temperaturmessgerät CT LT 15 der Firma B+B Sensors handelt es sich um ein robustes Temperaturmessgerät mit separatem Sensorkopf. Es besitzt einen Analogausgang, über den das Signal am Raspberry aufgenommen werden kann.

Die wichtigsten Spezifikationen sind dem Datenblatt entnommen in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Spezifikationen B+B CT LT 15 [4]

Spezifikation	Zahlenwert	Einheit
Temperaturbereich	-50 – 600	°C
Genauigkeit	± 1	°C / %
Auflösungsgenauigkeit	0,1	°C
Reaktionszeit (für 90 % des Signals)	150	ms
Warm-up Zeit	10	min
Optische Auflösung	15:1	-

Das Messprinzip eines Infrarotthermometers beruht auf dem Messen der Wärmestrahlung. Jeder Körper mit einer Temperatur über 0 K gibt Infrarot-Energie in Form von Strahlung ab. Diese Infrarot Strahlung wird im Sensorkopf auf einen Detektor gebündelt. Dieser erzeugt je nach Intensität der Strahlung ein elektrisches Signal welches als Analogsignal, beispielsweise 0 bis 5 V, abgegriffen werden kann. [5]

In Abbildung 4 ist das Infrarotthermometer, samt Anschluss und Verkabelung dargestellt.

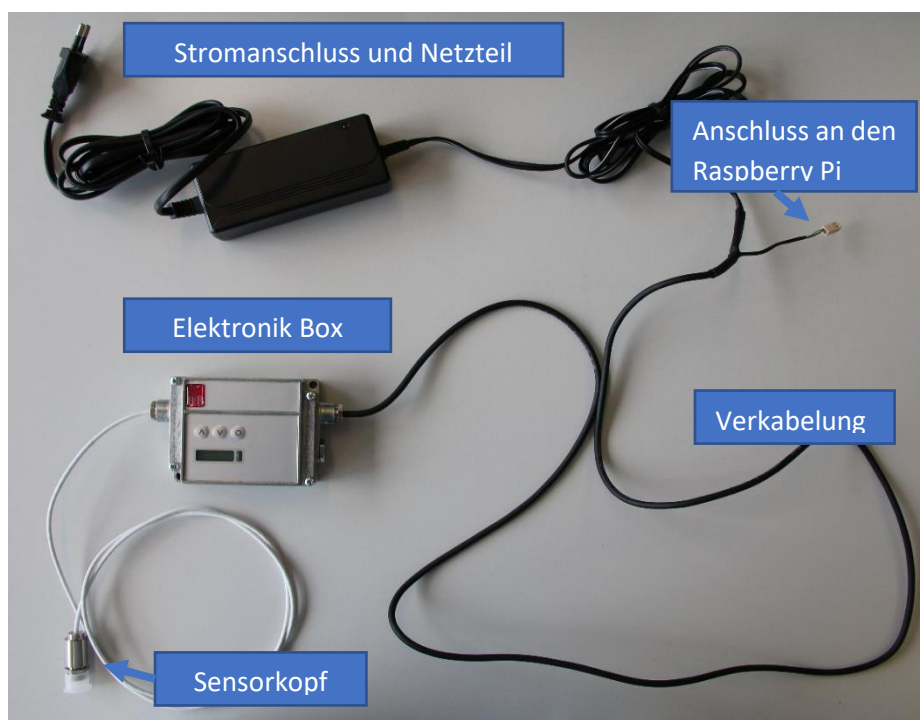


Abbildung 4: Infrarotthermometer B+B CT LT 15 samt Verkabelung

2.2.2 Aufbau und Verkabelung

Um die Elektronik Box und somit das Thermometer mit Strom zu versorgen bzw. mit dem Raspberry zu verbinden wurde eine Verkabelung erstellt.

Zur Stromversorgung wird ein Netzteil eingestellt auf 13,5 V mit 2,4 A verwendet. Die Litzen des Netzteils wurden mit der gelben und weißen Litze des Mikrofonkabels verbunden und in der Elektronik Box entsprechend der Verschaltung angeschlossen. Beim Anschluss der Elektronik Box muss darauf geachtet werden, dass der Schirm des Mikrofonkabels richtig in der Schraubverbindung integriert ist. Dazu ist eine genaue Beschreibung im Datenblatt enthalten. Die braune und grüne Litze dient dazu das Analogsignal aus der Elektronik Box an den Raspberry übergeben. Die detaillierte Verschaltung ist dem Verkabelungsplan und dem Datenblatt zu entnehmen [3] [4].

2.2.3 Messvorgehen

Um mit dem Infrarotthermometer eine Messung durchzuführen sind zunächst Vorbereitungen zu treffen.

Positionierung des Sensorkopfes

Als erstes muss die zu untersuchende Stelle gemessen werden. Aus dem angenäherten Durchmesser der Stelle wird anschließend der nötige Abstand berechnet, sodass der Sensorkopf ausschließlich Infrarotstrahlung der Stelle aufnimmt. Relevant zur Berechnung ist dabei das Optische Auflösungsverhältnis des Sensorkopfes. Es gibt das Verhältnis zwischen Distanz D und Spotgröße S an und beträgt beim B+B CT LT 15 15:1. Aus dieser Beziehung lässt sich aus der gemessenen Spotgröße die nötige senkrechte Distanz ausrechnen.

Als Anhaltswert lässt sich ebenso folgende interpolierte Grafik (Abbildung 5) aus dem Datenblatt verwenden.

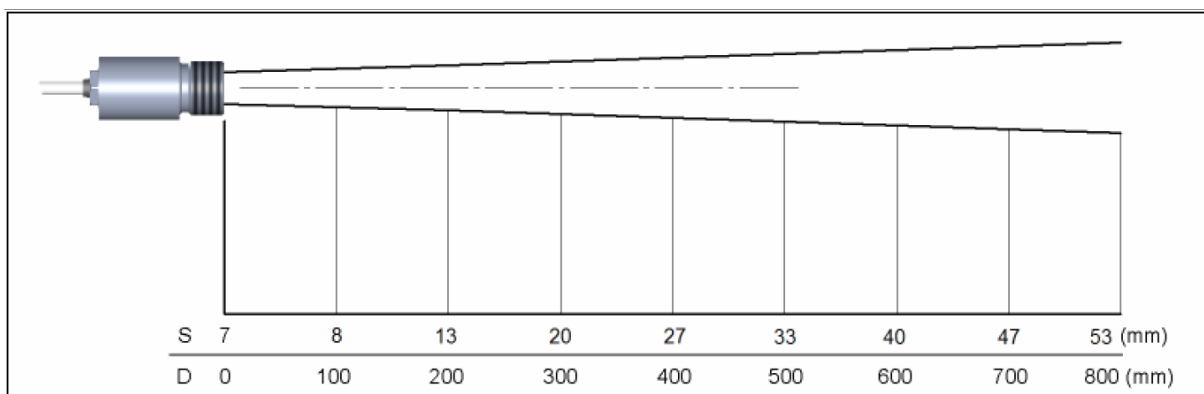


Abbildung 5: Darstellung des Optischen Auflösungsverhältnisses [4]

Es muss zudem darauf geachtet werden, dass der Sensorkopf parallel zur Fläche des Messobjekts ausgerichtet ist. Nur so kann verhindert werden, dass Reflektionseffekte aus der Umgebung das Messergebnis verfälschen.

Um den Sensorkopf optional auszurichten wird ein Mikrofonständer verwendet. Statt eines Mikrofonhalters ist ein Blech zur Fixierung des Sensors angebracht. Das M12 Außengewinde des Sensors kann durch die Bohrung geschoben und auf der anderen Seite, mit der mitgelieferten Mutter des Sensorkopfes fixiert werden. Durch die einstellbaren Freiheitsgrade und die Längenverstellungen lässt sich somit eine Vielzahl an Messpunkten erreichen (Vgl. Abbildung 6).

Um den senkrechten Abstand zu prüfen, bietet sich eine Schieblehre bzw. ein Lineal an.

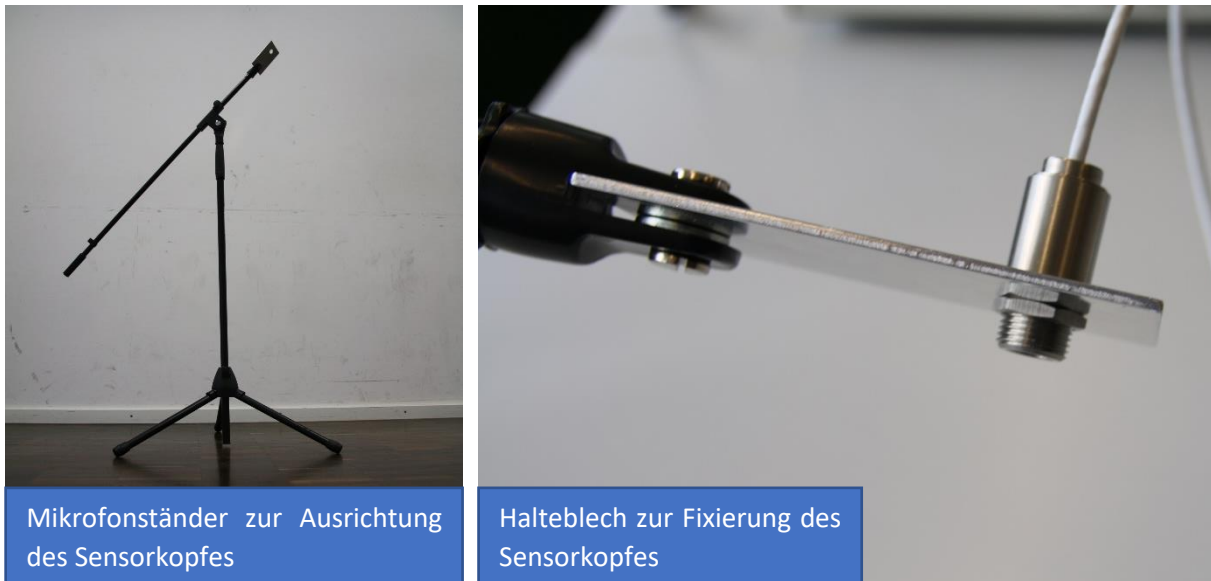


Abbildung 6: Mikrofonsänder und Halteblech zur Ausrichtung des Sensorkopfes

Oberfläche des Messobjekts

Verspiegelte bzw. polierte metallische Oberflächen (Bsp. E61 Brühgruppe) erzeugen bei der Temperaturmessung mithilfe von Infrarotsensoren große Fehler. Dies geschieht aufgrund der unterschiedlichen Emissionsgrade von matten und reflektierenden Oberflächen. Während matte Oberflächen einen hohen Emissionsgrad besitzen, ist der Emissionsgrad von glänzenden Metallen bzw. Oberflächen gering. Da der Emissionsgrad angibt, wieviel Wärme in Form von Infrarotstrahlung emittiert wird, entsteht ein falsches Ergebnis der Objekttemperatur. [6]

Um die Temperatur richtig aufzunehmen, ist darauf zu achten auf einer matten Oberfläche zu messen. Dies lässt sich beispielsweise durch Aufkleben eines Streifens aus matten, schwarzen Isolierband erreichen. Durch das Aufkleben entsteht allerdings ein zeitlicher Verzug in den Messergebnissen.

Alternativ bzw. zusätzlich lässt sich in den Einstellungen des Thermometers der Emissionsgrad des Messobjekts einstellen. Dies sollte im Zuge der Kalibrierung des Messsystems durchgeführt werden. Für eine quantitative Abschätzung der Temperatur reicht es die Brühgruppe mit Isolierband versehen und die Messungen durchzuführen.

Durchführung der Messung

Festgehalten sind folgende Schritte durchzuführen:

1. Anstecken des Thermometers an Stromversorgung und Raspberry Pi
2. Gegenfalls abkleben der Messstelle mit mattem Isolierband
3. Positionierung des Sensorkopfes im richtigen Abstand zur untersuchenden Messstelle
4. Starten der Messung über den Raspberry (Vgl. 4.2.2)

2.3 Temperatur vor der Brühgruppe

Um die Eintrittstemperatur des Wassers in die Brühgruppe, bzw. die Austrittstemperatur des Boilers zu ermitteln wird der Temperatursensor vor der Brühgruppe verwendet. Die Verbindung zwischen dem Boiler und der Brühgruppe ist in der Regel durch Messingrohre verwirklicht. Das Ersetzen dieser Rohre bietet eine einfache Möglichkeit zur Sensoranbindung. Alternativ lässt sich mithilfe des IR – Sensors die Oberflächentemperatur der Rohre bestimmen und somit Rückschluss auf die Temperatur des Mediums nehmen.

Im Folgenden werden die beiden erarbeiteten Möglichkeiten zur Temperaturbestimmung vor der Brühgruppe erklärt. Die Entscheidung, ob die Temperatur mithilfe des Konzepts T – Adapters oder dem Konzept IR – Sensor aufgenommen wird muss anhand der jeweils vorliegenden Espressomaschine entschieden werden.

Konzept 1: T – Adapter

Das Konzept der Vorgruppe, besteht aus dem Messadapter (wie er auch bei der Bestimmung der Temperatur vor dem Kaffeepuck eingesetzt wird), einem T – Stück Adapter und der nötigen Schlauch- und Gewindeadaption. Die Adaption ist für die jeweilige zu untersuchende Espressomaschine zu bestimmen und mit dem Laborbedarf zu decken, ggfs. zu bestellen. Die Adaption der Bezzera BZ99S/R, Carimali E9, Bezzera B2000, ECM Elektronika, ECM Synchronika ist bereits von der Vorgruppe bestimmt und ist der Dokumentation zu entnehmen [1]. In Abbildung 7 ist der grundlegende Aufbau des Konzeptes dargestellt.



Abbildung 7: Aufbau des T – Adapters

Konzept 2: IR - Sensor

Da die im Rahmen dieser Projektarbeit untersuchte Espressomaschine Lelit Mara X, über ein Messingrohr mit einem Innendurchmesser von ca. 9,35 mm verfügt, kann das vorliegende Konzept des T – Adapter nicht ohne Beeinflussung des Strömungsverhalts durchgeführt werden. Es wurde beschlossen die Rohrtemperatur mithilfe des IR – Sensors aufzunehmen. Vorteil dieses Konzeptes ist, dass keine Veränderung an der Espressomaschine nötig ist, und somit auch keine zusätzliche Adaption gebraucht wird. Die Temperatur kann somit bei jeder vorliegenden Espressomaschine schnell abgeschätzt werden.

Es gilt allerdings festzuhalten, dass ausschließlich die Oberflächentemperatur des Rohres gemessen wird. Die Temperatur des Mediums kann dadurch nur angenähert werden. Durch das Rohr kommt es auch zu einer Verzögerung, bis das Rohr die Temperatur des Mediums angenommen hat. Im Folgenden wird diese Zeit abgeschätzt.

2.3.1 Temperaturverzugsbetrachtung

Untersucht werden soll die Zeit, die das Rohr braucht, um die Temperatur des Mediums anzunehmen. Die Verzögerung findet durch die Wärmekapazität c des Rohres statt. Ausgegangen wird bei der Betrachtung von einer reinen laminaren Strömung, ohne ausgebildete Temperaturgrenzschichten. Zudem wird von ausschließlich stationärer, eindimensionaler Wärmeleitung ausgegangen. Folgende Skizze (Abbildung 8) dient zur Darstellung des Problems:

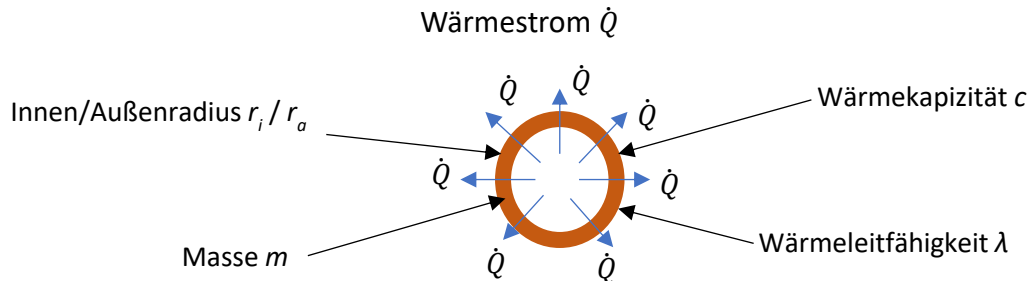


Abbildung 8: Skizze des Rohrs zur Darstellung des Problems

Gesucht ist die Zeit t , die der Wärmestrom \dot{Q} braucht, um die Wärmemenge Q die das Rohr aufnehmen kann, zu kompensieren. Die Zeit ergibt sich dabei aus dem Wärmestrom:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \rightarrow t = \frac{Q}{\dot{Q}}. \quad (1)$$

Die Wärmemenge Q die das Rohr aufnimmt, ergibt sich aus der Masse des Rohres m , der Temperaturdifferenz ΔT und der spezifischen Wärmekapazität des Stoffes c :

$$Q = m * c * \Delta T. \quad (2)$$

Um den Wärmestrom \dot{Q} , der durch das Rohr strömt zu definieren, wird der Wärmeleitwiderstand R_{th} betrachtet. Er gibt an, wie gut oder schlecht ein Material Wärme leitet. Definiert ist er allgemein aus dem Verhältnis zwischen Temperaturdifferenz ΔT und dem Wärmestrom \dot{Q} , bzw. für ein Rohr aus den Maßen des Rohres (Innenradius r_i , Außenradius r_a , Rohrlänge L) und der Wärmeleitfähigkeit λ :

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} = \frac{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}{2 * \pi * L * \lambda} \rightarrow \dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{th}}. \quad (3)$$

Durch Einsetzen der Formeln (1), (2), (3) ineinander ergibt sich:

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{m * c * \Delta T}{\Delta T / R_{th}} = m * c * R_{th}. \quad (4)$$

Die Formeln zur Berechnung des Volumens und der Masse werden als bekannt angenommen. Für die Berechnung wird ein gerades Teilstück des Rohres betrachtet. Die Maße des Rohres und die Materialeigenschaften von Messing sind in Tabelle 2 festgehalten.

Tabelle 2: Annahmen für die Berechnung

Bezeichnung	Formelzeichen	Zahlenwert	Einheit	Quelle
Wärmekapazität	c	384	$\frac{J}{kg * K}$	[7]
Außenradius	r_a	0,005875	m	-
Innenradius	r_i	0,004675	m	-
Länge des Rohrstücks	L	0,01	m	-
Dichte	δ	8600	$\frac{kg}{m^3}$	[7]
Wärmeleitfähigkeit	λ	142	$\frac{W}{m * K}$	[7]

Es ergibt sich eine Zeit von 0,0336 s, welche vernachlässigbar klein ist. Die Oberflächentemperatur des Messingrohres ist somit unter den getroffenen Annahmen gleich der Fluidtemperatur.

Um das rechnerische Modell zu verbessern, müssten der konvektive Wärmeübergang, sowie die eventuelle Temperaturgrenzsichten mitbeachtet werden.

Die Formeln wurden dem Thermodynamik 1 Skript von Frau Prof. Dr. Henze entnommen [8].

2.3.2 Messvorgehen

Beim Messvorgehen mit dem IR – Sensor sind prinzipiell dieselben Schritte zu beachten, wie sie bereits im Abschnitt Temperatur der Brühgruppe erklärt wurden (Vgl. 2.3). Zusätzlich gilt zu beachten, dass die Messstelle eine kleine Fläche besitzt und der Abstand vom Sensorkopf dementsprechend nah gewählt werden muss.

Beim Messvorgehen mit dem T – Adapter gilt zu beachten die Adaption zunächst Druckdicht zu prüfen. Dies kann beispielsweise durch einen Test – Kaffeebezug erfolgen.

Temperaturschutzgriff

Aufgabe des Schutzgriffes ist es den Benutzer vor Verbrennungen und die Verkabelung vor Beschädigungen zu schützen. Da Kunststoff ein guter Wärmeisulator ist und sich das 3D-Druck Verfahren als kostengünstige Möglichkeit für Prototypen herausgestellt hat, wurde beschlossenen einen passenden Griff für den Messsiebträger zu konstruieren und drucken zu lassen. Der Griff besitzt eine sechskantförmige Innenkontur und lässt sich somit auf die Schraube aufschieben. Die Verkabelung kann durch eine 5 mm Bohrung herausgeführt werden. Die Anschlüsse des NTC's wurden dafür an ein passendes Stück Mikrofonkabel angelötet (Vgl. 2.1). Um den Griff axial auf dem Messsiebträger zu fixieren, ist ein Gewindeeinsatz mit Schraube vorgesehen. Dafür wurde in der Konstruktion eine radiale Durchgangsbohrung im Griff vorgesehen. Diese befindet sich auf dem gewindefreien Abschnitt der Halteschraube. Die Umfangsfixierung findet über den Formschluss des Sechskantprofils statt.

In Abbildung 10 ist der fertige Messsiebträger samt Schutzgriff und Verkabelung dargestellt. Der technischen Zeichnung sind die Fertigungsmaße zu entnehmen (Vgl. Anhang)



Abbildung 10: Messsiebträger mit Temperaturschutzgriff und Verkabelung (links), Schraube zur axialen Befestigung (rechts)

2.4.2 Messvorgehen

Um die Daten aufzunehmen, muss zunächst der Messsiebträger in die Brühgruppe eingesetzt werden. Da für die Messung der Siebträger mit Kaffeemehl befüllt werden muss, gilt es zunächst den noch abgesteckten Messsiebträger zu befüllen. Der befüllte Siebträger ist nun einsetzbar in die Espressomaschine. Der Messsiebträger lässt sich sowohl in E61 Brühgruppen als auch in den Brühgruppenadapter für nicht E61 Brühgruppen einsetzen. Anschließend gilt es die Messung nach dokumentiertem Vorgehen zu starten.

Es gilt darauf zu achten die Verkabelung nicht aus dem Siebträger zu ziehen. Es könnte zu einer irreversiblen Beschädigung der Verkabelungsstelle kommen.

2.5 Analyse der Messwerte

Nachdem die ersten Sensoren, wie auch die Messtechnik gefertigt wurden, begannen die ersten Probemessungen. Ziel dieser Messungen war es einen Eindruck über die Espressomaschine (Lelit Mara X) zu bekommen, sowie auch das Messsystem zu prüfen.

Aufgrund der fehlenden Kennlinien lassen sich die Ergebnisse der Drucksensoren ausschließlich quantitativ interpretieren. Die Kennlinien der Temperatursensoren sind bereits in der MATLAB® GUI implementiert, was eine qualitative Abschätzung ermöglicht. Ebenso wurde der Durchflusssensor in die Espressomaschine integriert und Messwerte aufgezeichnet.

Die Messungen zeigen Probleme in der Messdatenverarbeitung des Durchflusssensors, ein hochfrequentes Rauschen auf dem Temperatursensoren, sowie ein „Grundrauschen“ des Signals. Im Folgenden wird auf die Thematik des Rauschens der Messwerte eingegangen, die Problemanalyse des Durchflusssensors ist unter festgehalten.

2.5.1 Hochfrequentes Rauschen

Um das Rauschen zu analysieren eine Frequenzanalyse durchgeführt. Diese untersucht welche Frequenzanteile wie stark in einem Signal vertreten sind. Als Veränderliche wird hier die Abtastrate genutzt. Das Ergebnis der Analyse ergab, dass bei einer Abtastrate von 500 eine Störfrequenz von 6 Hz vorliegt, bei allen anderen Abtastraten eine Störfrequenz von 50 Hz.

Dies deutet auf ein Problem der Masseverbindung hin. Konkret heißt das, dass ein Erdungsausgleich fehlt oder eine Masseleitung nicht richtig angeschlossen ist. Da die Espressomaschine über den Schutzleiter geerdet ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Erdungsausgleich auf Seiten des Messsystems fehlt. Im Zuge der weiteren Problemanalyse wurden die Masseleitungen überprüft und eine provisorische Erdung an das Messsystems angeschlossen. Während zweier Messungen wurde daraufhin das Signal eines NTC's für 10 s betrachtet. Bei der ersten Messung bestand keine Erdung des Messsystems, bei der zweiten wurde die Erdung verbunden. In Abbildung 11 sind die Ergebnisse der beiden Messungen dargestellt.

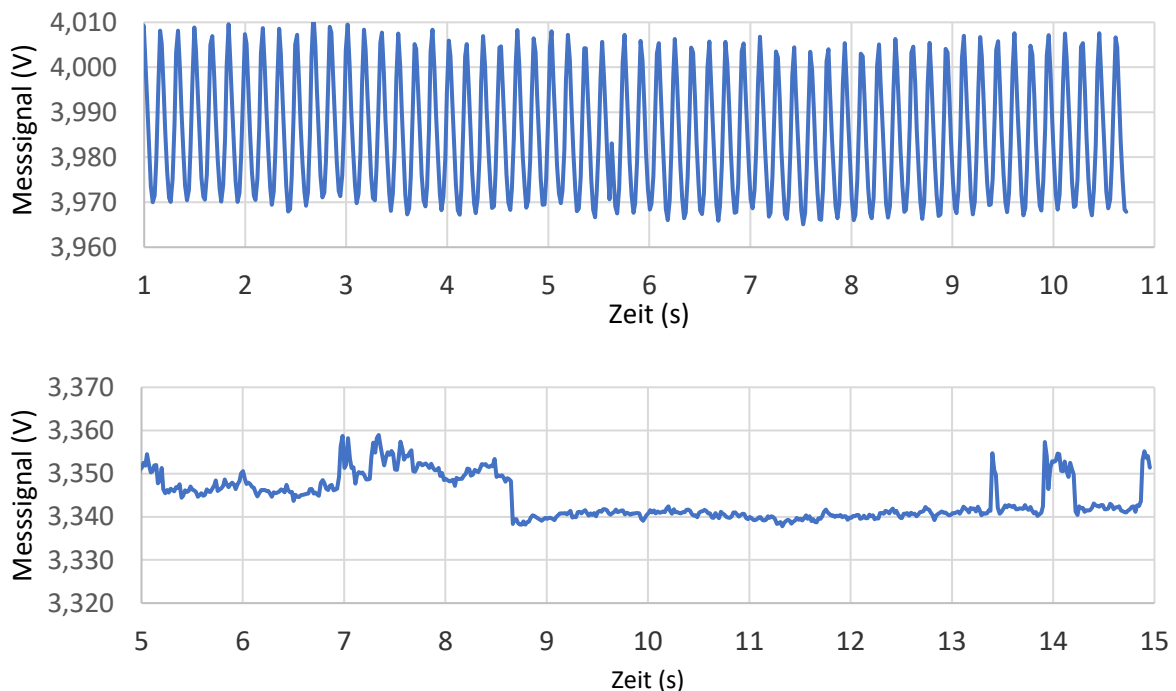


Abbildung 11: Signal NTC Raspberry ohne Erdung (oben), Signal NTC Raspberry mit Erdung (unten)

Die beiden Messungen zeigen den Zusammenhang des 50 Hz Rauschens und der Erdung des Messsystems. Auch wenn die Erdung nur mit den NTC Sensoren überprüft wurde, ist davon auszugehen, dass die anderen Sensoren ein ähnliches Verhalten aufweisen und es ein Problem des Messsystems selbst vorliegt.

Um das Problem wurden zwei Möglichkeiten diskutiert. Zum einen könnte eine Erdung für das bestehende Messsystem entworfen werden, zum anderen besteht die Möglichkeit den Raspberry Pi durch andere Messtechnik zu ersetzen (Ausfühlich unter Kapitel 7).

2.5.2 Rauschen der Messwerte

Im Zuge der Analyse fiel auf, dass auch dem Signal des geerdeten Messsystems ein Rauschen aufgeprägt ist. Die Amplitude des Rauschens beträgt ca. 10 mV und somit die maximale Verschiebung 20 mV. In Abbildung 12 ist das Rauschen dargestellt.

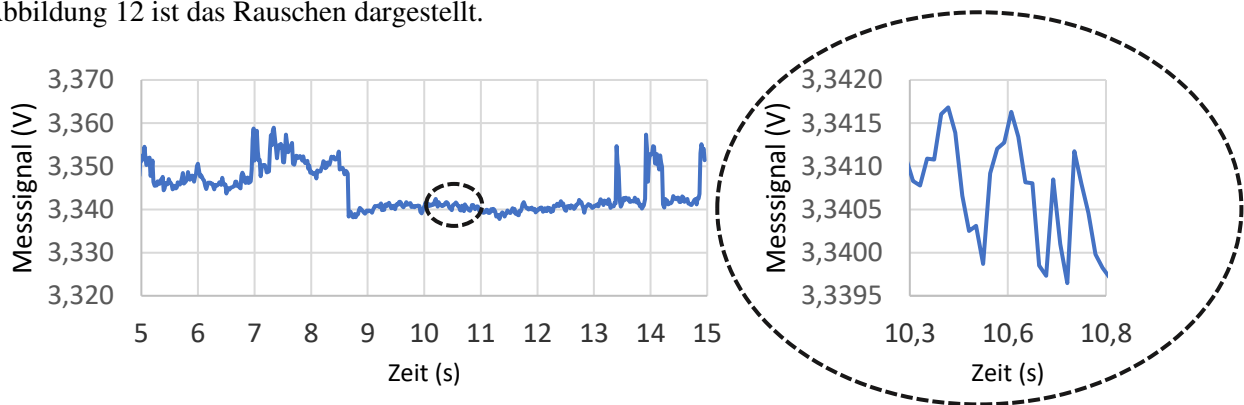


Abbildung 12: 20 mV Rauschen im geerdeten Messsignal

Im Folgenden wird der entstehende Fehler durch dieses Grundrauschen für einen NTC anhand dessen Kennlinie ausgerechnet. In Tabelle 3 ist der Fehler in Grad Celsius sowie in Prozent für Werte des Anwendungsbereichs und für die Randbereiche ausgerechnet. In Abbildung 13 ist der prozentuale Fehler über den Temperaturbereich geplottet.

Tabelle 3: Berechnung des Fehlers durch das 10 mV Rauschen

Temperatur (°C)	Spannungswert der Kennlinie (mV)	MW Fehler (°C)	MW Fehler (%)
-54	4064	±3,78	7,01
10	2744	±0,22	2,22
25	2049	±0,22	0,87
50	1076	±0,33	0,66
75	526	±0,67	0,89
100	263	±1,43	1,43
250	14	±55,12	7,47

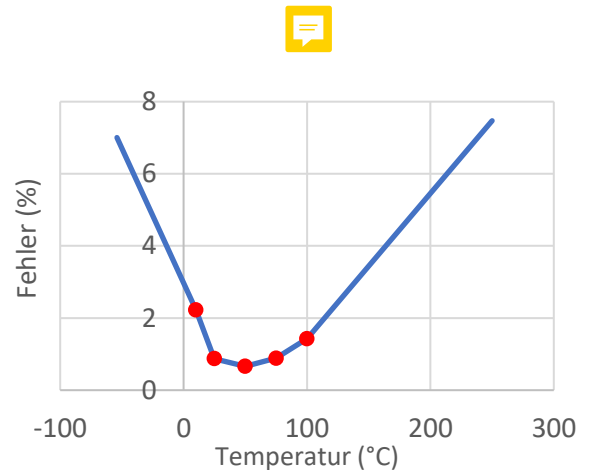


Abbildung 13: Plot des Fehlers durch das 20 mV Rauschen (rechts)

Die unterschiedlichen Fehler entstehen aufgrund der nicht konstanten Kennlinie. So hat das Rauschen in den Randbereichen einen größeren Einfluss als im verwendeten Messbereich. Dieser liegt in etwa zwischen Raumtemperatur und 100 °C (Rot markiert). Es gilt festzuhalten, dass der Fehler im relevanten Bereich zwar gering ist, jedoch die vorgegebene Messgenauigkeit von ± 0,2 °C übersteigt.

Es gilt anzunehmen, dass auch bei den anderen Sensoren ein Fehler ähnlichen Ausmaßes durch das Rauschen aufgeprägt wird. Eine Überprüfung konnte aufgrund der fehlenden Kennlinien nicht durchgeführt werden.

3 DRUCKSENSOREN

(Andreas Turbanisch)

Die Drucksensoren dienen dazu den entstehenden Druck in der Brühgruppe vor dem Kaffeepuck zu ermitteln. Genauso wie bei den Temperatursensoren vor dem Kaffeepuck, wird dafür bei E61 Brühgruppen die vorhandene Bohrung verwendet. Bei Brühgruppen anderer Ausführung wird auch hier die separate Brühgruppe gebraucht (Vgl. 2.1). Für beide Möglichkeiten lässt sich derselbe Sensor verwenden.

Die Auswahl der beläuft sich auf Keramische Drucksensoren der Firma B+B Thermo-Technik GmbH mit einem Messbereich von 0-25 bar. Eine genaue Beschreibung der Sensoren ist dem Datenblatt und der Dokumentation der Vorgruppe zu entnehmen ([1], [9]). ~~Im Folgenden ist die Fertigung der Sensoren sowie die Verkabelung beschrieben.~~

Das Vorgehen zum Starten der Messung ist identisch zum Vorgehen des Temperatursensors vor dem Kaffeepuck und ist unter 2.1.2 nachzulesen.

3.1 Fertigung

Die Fertigung der Sensoren beläuft sich zunächst auf das Einkleben der Drucksensoren in den Messadapter. Der Messadapter bestehend aus Aluminium (AISI 316/304) wurde von ~~der Vorgruppe~~ ausgelegt und konstruiert [1]. ~~Der Konstruktion zu entnehmen, beläuft sich das Einschrauben des Sensors auf die Verwendung eines 21 in Maulschlüssels. Im Zuge der Montage des Sensors an einer Brühgruppe, führte dies zum Abreißen des Einschraubgewindes. Daraufhin wurde beschlossen den Messadapter mit zwei 2 mm Bohrungen (Vgl. Abbildung 14) auszustatten. Mithilfe eines Außensechskantschlüssels kann somit das Einschrauben ohne Aufbringen eines kritischen Drehmoments vorgenommen werden.~~

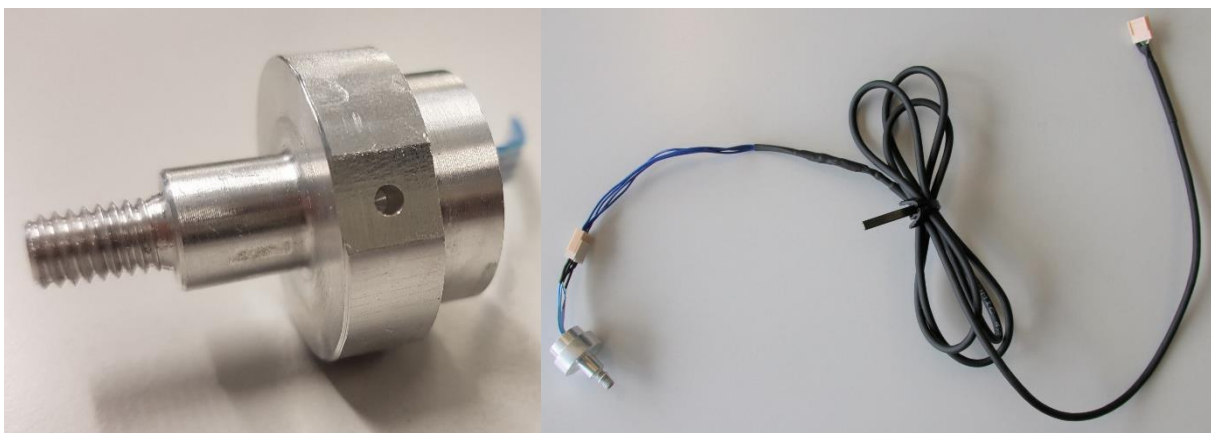


Abbildung 14: Druckmessadapter (links), Fertiger Sensor, samt Verkabelung (rechts)

Verklebung:

Um die Verklebung vorzunehmen sind Vorbereitungsschritte zu treffen. Zunächst gilt es die zu verklebenden Oberflächen von Messadapter und Drucksensor zu reinigen. Dazu wird ein Reinigungsalkohol (Isopropanol) verwendet. Anschließend müssen die Flächen mithilfe eines Flüssigaktivators (Cyberbond) vorbereitet werden. Nach dem Aktivieren muss eine Stunde gewartet werden.

Nachdem alles vorbereitet ist, können der Drucksensor und der Sensoradapter verklebt werden. Dazu muss zunächst der Zweikomponentenkleber (Methylmetacrylat [Bezeichnung: X60 Schnellklebstoff]) gemischt werden. Als Faustregel zur Mischung gibt der Hersteller an auf eine Kelle des Pulvers (Komponente A), 10 – 12 Tropfen der Flüssigkeit (Komponente B) anzurühren. Das Anrühren findet in dem vom Hersteller mitgeführten Teflonbechern mithilfe eines Holzstäbchens statt. Zum Verkleben gilt

es die Fügeflächen (siehe Abbildung 15) mit einer reichlichen Schicht Klebstoff zu bestreichen (ca. 0,5 mm). Es bietet sich an die Flächen auf dem Druckmessadapter zu bestreichen. Um ein Verkleben der Druckbohrung zu verhindern, muss eine Verblockung, Bsp. mit einem Stück Kabel in der Bohrung, erzeugt werden. Das Aushärten der Verbindung ist ca. 30 min nach dem Fügen abgeschlossen. [10]

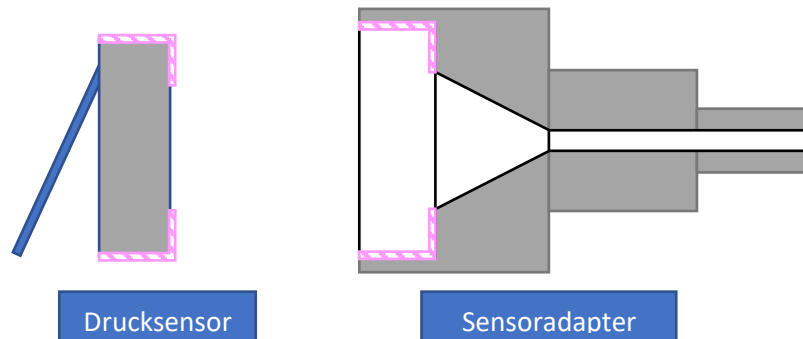


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Fügeflächen des Drucksensors im Sensoradapter

Verkabelung

Die Litzen des Drucksensors sind zur besseren Handhabung verlängert und an einem Zwischenstecker angeschlossen. Der Zwischenstecker ermöglicht es den Sensor separat an der Brühgruppe zu befestigen, ohne die gesamte Verkabelung mitdrehen zu müssen. Sowohl die Stromversorgung als auch das Signal der Messbrücke wird über das 4-adrige Mikrofonkabel an den Raspberry weitergegeben. Der Anschluss und die Verkabelung ist im Detail dem Verkabelungsplan zu entnehmen [3].

3.2 Ermittlung der Nennwerte

Um die Platine zu definieren, mussten die Nullpunktwerte sowie die Nennwerte ermittelt werden. Die Nullpunktwerte geben den Offset, also die Abweichung von Null, des Sensors im Nullpunkt an. Die Nennwerte zeigen den elektrischen Messwert im Endbereich des Sensors an.

Die Messungen wurden im Labor mithilfe eines Druckbehälters, einer Luftpumpe, einem Referenzdrucksensors und einer mit MATLAB® verbundenen NI – Messkarte aufgenommen. Der Endbereich des Sensors konnte so eingestellt und die Werte gemessen werden. Die Nullpunktwerte wurden im Ruhezustand bestimmt. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst.

Tabelle 4: Mittelwerte der Nullpunkt und Nennwerte

Messpunkt	Drucksensor p_v_KP (E61)	Drucksensor p_v_KP (nE61)
Nullpunkt (0bar) $\left[\frac{mV}{V}\right]$	-0,0761	-0,0999
Nennwert (20 bar) $\left[\frac{mV}{V}\right]$	1,8000	1,6634

Die Ergebnisse zeigen die erwartete Verschiebung der Nullpunkte. Die Werte konnten dafür genutzt werden die Platinen Konfiguration zu erstellen. Während der Messungen zeigt sich, ob der Sensor druckdicht gefertigt wurde.

Im Rahmen der Kalibrierung muss über das Verfahren die Kennlinie der Sensoren aufgenommen werden. Diese wird für die Umrechnung der elektrischen in physikalische Werte gebraucht.



4 MATLAB® GUI

(Patricia Viebke)

Um dem User die Bedienung des Messsystems zu ermöglichen, galt es eine GUI mit dem MATLAB® Appdesigner zu programmieren. Die GUI dient zur Aufnahme und Weiterverarbeitung von Messsignalen, die durch Sensoren über das Raspberry Pi an MATLAB® übertragen werden. Im folgenden Abschnitt werden der Aufbau des Programmcodes und die richtige Benutzung der GUI erläutert.



4.1 Aufbau des Programmcodes

Der Programmcodes setzt sich aus mehreren Abschnitten zusammen, die nachfolgend stückweise erklärt werden. Variablen- und Funktionsnamen aus dem Programmcodes werden aus Gründen der besseren Lesbarkeit kursiv hervorgehoben.

4.1.1 Properties

Zu Beginn des Codes müssen die globalen Variablen (*properties*) bestimmt werden. Globale Variable bedeutet, dass diese Art der Variable im ganzen Programmcodes benutzt werden kann, ohne sie neu definieren zu müssen. Ist eine Variable nicht als global bzw. nicht in den *properties* definiert, so kann sie nur innerhalb eines Callbacks definiert und benutzt werden. Ein Callback ist eine komponentenabhängige Funktion, die ausgeführt wird, wenn die Komponente vom User bedient wird.

```
properties (Access = private)

    rpi           % Raspberry Pi
    dauer         % Messdauer für SHOT Messung (Kurzzeitmessung)

    ...

end
```

Abbildung 16: Beispielhafte Darstellung der *properties* Funktion

Im Abbildung 9 ist ein Ausschnitt des Programmcodes zu sehen. Unter anderem sind die Variablen *rpi* und *dauer* als global definiert. Globale Variablen müssen mit *app.variable* aufgerufen werden.

4.1.2 Methods

Die *methods* haben den gleichen Aufbau und Aufgabe wie die *properties*, jedoch bezieht sich die Globalisierung hier nicht auf einzelne Variablen, sondern auf ganze Funktionen, um diese später in den Callbacks aufrufen zu können. Auch aus Gründen der Übersichtlichkeit werden längere Funktionen vorab in den *methods* definiert und nicht bei den Callbacks.

Funktion für die SHOT Messung (*shotmessung(app)*)

Die Funktion für die SHOT Messung ist in den *methods* definiert und ist mit folgender Struktur aufgebaut:

1. Vordefinieren der csv - Datei bzw. txt - Datei
2. Informationen zur Messung anzeigen lassen
3. Messwerte aufnehmen und in MATLAB® übertragen
4. Messwerte in physikalische Werte umwandeln und Buffer aufbauen
5. Werte visualisieren lassen

Das Vordefinieren der csv - Datei ist notwendig, um die mit den Sensoren gemessenen Werte aufnehmen und auf dem Raspberry Pi zwischenspeichern zu können. Für den Durchflusssensor wird extra eine txt - Datei vordefiniert, da das Flowmeter digital und nicht analog misst wie die anderen Sensoren. Des Weiteren ist die Länge der Vektoren nicht gleich. Es werden mehr Flowmeter Zeitstempel aufgenommen als Messwerte der anderen Sensoren. Daher ist eine zusätzliche Datei für das Flowmeter notwendig. Abbildung 17 zeigt das Definieren der txt - Datei für das Flowmeter mithilfe von *opts* (Options).

```
opts2 = delimitedTextImportOptions("NumVariables", 1);  
opts2.DataLines = [1, Inf];  
opts2.Delimiter = ",";  
opts2.VariableNames = "VarName1";  
opts2.VariableTypes = "double";  
opts2.ExtraColumnsRule = "ignore";  
opts2.EmptyLineRule = "read";
```

Abbildung 17: Vordefinieren der txt Datei mit Options

Analog ist das Vorgehen für die csv – Datei programmiert. Die csv - Datei nimmt insgesamt 9 Spalten mit Werten auf, weshalb die „1“ in der ersten Zeile zu 9 geändert werden muss und die `opts2.VariableNames` muss um 8 Einträge erweitert werden. Die erste Spalte beinhaltet die Zeitstempel der aufgenommenen Messwerte und die restlichen acht Spalten sind jeweils einem Sensor zugeteilt.

Nachdem die SHOT – Messung gestartet wurde, findet nicht direkt die Aufnahme der Messdaten statt. Vor Messdatenerfassung wurde ein Countdown programmiert, der von 5 herunterzählt. Des Weiteren wurde eine for Schleife programmiert, die dem User während der Messung die restliche Messdauer anzeigen lässt. Beide for Schleifen sind in Abbildung 18 zu sehen.

```
% Countdown  
for xi = 1:5  
    app.Status.Text = ['Start in ' num2str(6-xi) ' Sekunden'];  
    pause(1);  
end  
  
% Anzeigen der verbleibenden Messdauer  
for t = 0:app.dauer  
    zeit = app.dauer;  
    rest = zeit - t;  
    app.Status.Text = ['SHOT - Messung läuft. Abgeschlossen in ' num2str(rest) '  
    Sekunden'];  
    pause(1)  
end
```

Abbildung 18: Informationen während SHOT Messung

Für die Aufnahme der Messwerte werden dem Raspberry Pi Anweisungen gegeben, die in Abbildung 19 dargestellt werden.

```
system(app.rpi,['sudo /home/pi/espresso/ads1256_fast.py 7500 '  
num2str(app.dauer)]); % Messdaten [V] nicht [mV]!  
  
getFile(app.rpi, '/home/pi/espresso/buffer.csv');  
system(app.rpi, 'sudo rm /home/pi/espresso/buffer.csv');  
messdaten = table2array(readtable('buffer.csv', opts1));  
  
getFile(app.rpi, '/home/pi/espresso/flowtimes.txt');  
system(app.rpi, 'sudo rm /home/pi/espresso/flowtimes.txt');  
flowtimes = table2array(readtable('flowtimes.txt', opts2));
```

Abbildung 19: Aufnahme der Messdaten SHOT Messung

Mit der ersten `system` Anweisung werden die Messwerte von den Sensoren aufgenommen. Die Aufnahmedauer wird durch den User in der GUI eingegeben und als `app.dauer` abgespeichert. Während der Aufnahme der Messdaten bei der SHOT Messung **hängt sich die GUI auf** und die Messdaten werden nach Ablauf der Messdauer als ganzer Block importiert. Die Messwerte werden anschließend in den



vordefinierten Zwischenspeicher abgelegt, welchen sich MATLAB® mit *getFile* holt. Nachdem die Daten übertragen worden sind, wird die csv – Datei vom Raspberry Pi gelöscht. Abschließend werden die Daten der csv – Datei gelesen und unter der Variable *messdaten* gespeichert. Analog wird bei den Daten für das Flowmeter vorgegangen. Aufgrund von Datenverarbeitungsproblemen mit dem Raspberry Pi, funktioniert das Messen mit dem Flowmeter aktuell nicht, wie in 0 ausgeführt.

Für die Umwandlung in physikalische Messwerte wird die Funktion *physWerteSHOT(app, messdaten)* aufgerufen. Die Funktion wandelt die Messwerte mit der Einheit Volt in physikalische Messwerte um. Die aufgenommenen Messwerte müssen vorab mit dem Faktor 1000 multipliziert werden für die Umrechnung in die Einheit Millivolt. Die Funktion läuft mit einer for Schleife und einem switch – case, wie in Abbildung 20 zu erkennen ist. Das switch – case ist für die Kanalzuordnung zuständig. Die Variable *messdaten* ist als Input der Funktion definiert, während die Funktion die Variable *wert* den Output der Funktion darstellt.

```
function wert = physWerteSHOT(app,messdaten)
    for xi2 = 1:9
        switch xi2
            case 1
                wert(:,xi2) = messdaten(:,1);
            case 2
                wert(:,xi2) = app.Kali.NTC4(ceil(messdaten(:,xi2)*1000));
                ...
            case 9
                wert(:,xi2) = messdaten(:,xi2)*1000*650/10000-8;
        end
    end
end
```

Abbildung 20: Funktion zur Umwandlung der Messwerte in phys. Werte (SHOT)

Bei z.B. case 2 ist die erste Spalte der aufgenommenen Messdaten gemeint, dessen Werte in physikalische Werte umgewandelt werden müssen, bevor sie dem Buffer hinzugefügt werden können. Da es sich hierbei um die Messwerte eines NTCs handelt, ist die dazugehörige physikalische Einheit °C. Die Formel zur Umrechnung ergibt sich aus der Kalibrierkurve *app.Kali.NTC4*. Analog gilt dieses für die anderen Kanäle, außer für case 1. Die erste Spalte beinhaltet die Zeitstempel in Mikrosekunden, die nicht umgewandelt, sondern nur übertragen werden müssen. Für die Drucksensoren und die Wägezelle sind noch keine Umrechnungen bekannt, **aufgrund nicht vorhandener Kennlinien**. Die Umrechnung für den IR Sensor ergibt sich aus dem Datenblatt (siehe Anhang). Dem Datenblatt ist der physikalische Messbereich von 650 °C zu entnehmen, welcher durch den elektrischen Messbereich von 10000 mV dividiert wird. Der elektrische Messbereich hat seine Grenzen bei 0 V und 10 V, woraus sich die 10000 mV ergeben. Durch die Division wird der Kalibrierwert von $0,065 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mV}}$ berechnet, der für die Umrechnung notwendig ist. Die physikalischen Werte folgen aus der Multiplikation des Kalibrierwertes mit den aufgenommenen Messdaten in mV. **Die subtrahierte 8 steht für die durch Experimentieren festgestellte Nullpunktverschiebung.**

Nach der Umwandlung werden die Werte in einen Buffer geschrieben. Der Buffer dient als Zwischenspeicher in MATLAB®, um die Daten graphisch in der GUI ausgeben zu können. Auch für das Abspeichern der aufgenommenen Daten ist der Buffer relevant. Hieraus werden den einzelnen Spalten im struct die Messdaten zugeteilt.

```
for xi=1:zeilen
    wert = physWerteSHOT(app, messdaten(xi,:));
```

```
    if xi == 1
        app.Buffer = wert;
    else
        app.Buffer = vertcat(app.Buffer,wert);
    end
end
```

Abbildung 21: Füllen des Buffers (SHOT)

Wie in Abbildung 21 sichtbar, wird der Buffer mithilfe einer for Schleife und einer zusätzlichen if Bedingung gefüllt. Die umgewandelten Werte werden zeilenweise im Buffer abgespeichert, bis die maximale Anzahl an Zeilen von *messdaten* erreicht wurde. Mit der if Bedingung soll festgestellt werden, ob die erste Zeile vom Buffer schon vorhanden ist, wenn nicht, dann wird die erste Zeile von *wert* dem Buffer zugeschrieben. Falls die Zählvariable *xi* größer als 1 ist, wird der Buffer mit der entsprechenden Zeile der umgewandelten physikalischen Werte erweitert.

Der letzte Abschnitt der Funktion für die SHOT Messung ist die graphische Darstellung der Daten. Die importierten und umgewandelten Messwerte werden im „MESSEN“ – Tab in den entsprechenden Diagrammen angezeigt. Da sich die GUI während der SHOT Messung **aufhängt**, werden die Verläufe in den Diagrammen erst nach Beenden der Messwertaufnahme angezeigt. Um die graphische Darstellung zu ermöglichen, wurde die Funktion *darstellung(app)* programmiert und wird am Ende der *shotmessung(app)* aufgerufen.

```
function darstellung(app)

    plot(app.graphT, 0,0);

    for xi=2:9
        if xi == 2 || xi == 3 || xi == 4 || xi == 5 || xi == 9
            hold(app.graphT, 'on');

            if app.NTCvorBrhgruppeCheckBox.Value == 1
                NTC1 = plot(app.graphT, app.Buffer(:,1), app.Buffer(:,2),
'DisplayName', 'vor BG');

                NTC1;
            else
                NTC1 = {};
            end
            ...

            % Visualisierung beenden
            hold(app.graphT, 'off');
            ...

            legend(app.graphT,[NTC1, NTC2, NTC3, NTC4,
IR], 'Location', 'southeast');
        end
    end
```

Abbildung 22: Funktion zur Darstellung der Messwerte

In Abbildung 15 ist ein Ausschnitt der Funktion für die Darstellung der Messwerte abgebildet. Zu Beginn der Funktion muss für die Graphen, bei denen mehrere Kurven dargestellt werden, eine Pseudokurve bzw. -punkt erstellt werden, damit das *hold* zuverlässig funktioniert. Das *hold* lässt mehrere Kurven gleichzeitig darstellen. Die for Schleife und die zusätzliche if Bedingung geben zusammen an, wo die Werte geplottet werden. Innerhalb der for Schleife wird geprüft, ob die Zählvariable *xi* die if Bedingung erfüllt und ob die Checkbox vom Sensor ausgewählt wurde. Treffen beide Fälle zu, so wird beispielsweise für *xi* gleich 2 der Verlauf der Messwerte des NTC vor der BG

im Temperaturdiagramm geplottet. Analog gilt dies für die anderen Sensoren. Da im Diagramm für die Temperaturen mehrere Kurven, je nach Auswahl der Sensoren, dargestellt werden können, ist hier zusätzlich eine Legende programmiert worden. Die Benennung der Sensoren ist am Ende der jeweiligen *plot* Anweisung zu finden und erscheint so in der Legende.

Funktion für die CUSTOM Messung (*TimerFcn(app)*)



Die *TimerFcn* ist für das Messen mit der CUSTOM Messung zuständig. Ihr Aufbau ist ähnlich aufgebaut, wie der der *shotmessung(app)*:

1. Messwerte erfassen mit dem Raspberry Pi
2. Vorbereitung der Messwerte zur Weiterverarbeitung
3. Umwandlung in physikalische Werte
4. Aufbauen eines Buffers
5. Visualisierung der Daten

Die Messdaten der ausgewählten Sensoren werden mit einer *system* Anweisung mit dem Raspberry Pi erfasst. Im Vergleich zu der SHOT Messung hängt sich die GUI hier nicht auf, sondern die *TimerFcn* wird mit einer bestimmten Frequenz ausgeführt. Die Frequenz wird durch den User auf der Startseite mit dem DropDown Menü zum Zeitabstand festgelegt. Dadurch werden die Messdaten nicht erst nach Beendigung der Messdatenerfassung in MATLAB® importiert, sondern direkt nach dem Erfassen von 10 Messwerten pro Sensor. Pro ausgeführter *TimerFcn* werden 10 Zeitstempel mit den dazugehörigen Messwerten vom Raspberry Pi aufgenommen. Diese Zeilen werden nach der Aufnahme in MATLAB® unter *werte* gespeichert, dargestellt in Abbildung 23.



```
% Messwerte vom Raspberry Pi holen
werte = system(app.rpi, 'sudo /home/pi/espresso/ads1256_short.py 10');

% Aufsplitten der aufgenommenen Messwerte in Zeilen und Spalten
zeilen = split(werte, ';');
zeilenNr = 0;

for xi=1:length(zeilen)
    spalten = split(zeilen(xi), ' ');

    if length(spalten) > 1
        zeilenNr = zeilenNr + 1;
        for xi2=1:9
            messwerte(zeilenNr,xi2) = str2double(spalten{xi2})*1000;
        end
    end
end
```

Abbildung 23: Messwerte aufnehmen mit *TimerFcn*

Die Daten liegen nach der Aufnahme als Text vor und müssen aufbereitet werden, so dass sie als Zahlenwerte genutzt werden können. Dafür werden die aufgenommenen *werte* zuerst in Zeilen gesplittet. Durch die in Abbildung 16 dargestellte for Schleife werden die einzelnen Zeilen in Spalten aufgeteilt. Wenn mehr als eine Spalte pro Zeile vorliegen, werden die einzelnen Werte in eine Matrix *messwerte* überführt.

Für die Umwandlung der Messwerte von mV in die physikalischen Werte, wurde eine Funktion *physWerte(app, messwerte)* programmiert. Wie in Abbildung 24 dargestellt, hat diese Funktion einen ähnlichen Aufbau wie *physWerteSHOT*.

Die jeweils 10 aufgenommenen und aufbereiteten Messwerte müssen zu Beginn der Umwandlung gemittelt werden, so dass es sich danach nur um eine Zeile pro Durchlaufen der *TimerFcn* handelt. Als

nächster Schritt folgt eine Begrenzung für den mV-Wert bei den NTCs. Die NTCs belegen beim nachfolgenden switch – case die cases 2 bis 5. Die Begrenzung ist für die Umwandlung notwendig, da die Kalibrierkurven *app.Kali.NTC* nur für den Bereich zwischen 0 und 4096 mV reichen. Bringt der Sensor einen höheren Wert als 4096 mV, so kann dieser keinem physikalischen Wert zugewiesen werden. Daher werden Werte über 4096 mV gleich 4096 mV gesetzt.

```
function wert = physwerte(app, messwerte)
    for xi=1:9
        wert(1,xi) = mean(messwerte(:,xi));           % Mittelwerte

        % Messwert der NTCs auf 4096 mV begrenzen
        if xi > 1 && xi < 6
            if wert(1,xi) > 4096
                wert(1,xi) = 4096;
            end
        end

        switch xi
            case 1
                wert(1,xi) = wert(1,xi)/1000;
            case 2
                wert(1,xi) = app.Kali.NTC4(ceil(wert(1,xi)));
                ...
            case 9
                wert(1,xi) = wert(1,xi)*650/10000-8;   % IR
        end
    end
end
```

Abbildung 24: Funktion zur Umwandlung der Messwerte in phys. Werte (CUSTOM)

Da die Sensoren nicht alle vom gleichen Typ sind und nicht alle die gleiche physikalische Einheit besitzen, muss hier unterschieden werden. Dies wird mit der for Schleife in Abbildung 24 geregelt. Die erste Spalte enthält, den Zeitstempel in Nanosekunden, der in Millisekunden umgewandelt wird. Die nachfolgenden cases enthalten jeweils passende Umrechnung für die Spalten der jeweiligen Sensoren.

Nachdem die Umwandlung in physikalische Werte erfolgt ist, wird der Buffer gebildet.

```
if app.StartTime == 0           % wenn die Startzeit = 0 ist, dann
    das erste Element aus wert übernehmen
    app.StartTime = wert(1,1);
    wert(1,1) = 0;
    app.Buffer = wert;
else
    wert(1,1) = wert(1,1) - app.StartTime; % ansonsten die Zeit abziehen um die
    Messzeit zu erhalten
    app.Buffer = vertcat(app.Buffer, wert);
end
```

Abbildung 25: Buffer bilden in der TimerFcn

Mit einer if Bedingung muss überprüft werden, ob es sich um eine neue Messung handelt. Wenn es sich um eine neue Messung handelt, entspricht Buffer gleich *werte*. Handelt es sich um ein erneutes Durchlaufen der *TimerFcn*, so wird der Buffer mit der neuen Zeile *werte* erweitert. Außerdem muss beim Erweitern des Buffers die Messzeit angepasst werden, indem der Zeitstempel der Startzeit vom aktuellen Zeitstempel subtrahiert wird.

Abschließend ruft die *TimerFcn* die Funktion *darstellung(app)* auf, um die Messdaten zu visualisieren. Da hier die Daten nur schrittweise aufgenommen und zeilenweise verarbeitet werden, findet die

Visualisierung dynamisch während der Messung statt. Der User kann beim Messen den Verlauf der Messgrößen in der GUI sehen.

4.1.3 Callbacks

Für den Abschnitt Callbacks werden die relevantesten Ausschnitte des Programmcodes erläutert. Innerhalb eines Callbacks können neu definierte bzw. globale Variablen benutzt werden. Es können GUI Komponenten angesprochen und z.B. aktiviert bzw. deaktiviert werden. Der Programmcode innerhalb eines Callbacks wird ausgeführt beim Betätigen der GUI Komponente.



Startup Function

Die *startupFcn* ist ein Callback der ausgeführt wird, wenn die GUI gestartet wird. In der *startupFcn* wurden unter anderem alle Auswahlmöglichkeiten der GUI deaktiviert mit *variable.Enable = 0*.

```
function startupFcn(app)
    % Alles deaktivieren, wird schrittweise aktiviert im Weiteren
    % Verlauf der Benutzung
    app.Vorname.Enable = 0;
    app.Nachname.Enable = 0;
    app.BruehgruppeDropDown.Enable = 0;
    app.MessartDropDown.Enable = 0;
    ...
    % load Matlab Skripte für Kennlinien der Sensoren
    load('Kali-MicroBeta.mat');
    app.Kali.NTC1 = Kali_MicroBeta;
    app.Kali.NTC2 = Kali_MicroBeta;
    app.Kali.NTC3 = Kali_MicroBeta;
    app.Kali.NTC4 = Kali_MicroBeta;

    % Dropdowns initialisieren
    app.MessartDropDown.Items = {'Bitte Auswählen' 'SHOT' 'CUSTOM'};
    app.MessartDropDown.ItemsData = [1 2 3];
    ...
    app.ZeitabstandDropDown.Items = {'Bitte Auswählen' '1/4' '1/2' '1', '2', '4'};
    app.ZeitabstandDropDown.ItemsData = [0 4 2 1 0.5 0.25];
    % hier 1/ZeitabstandDropDown.Items
end
```

Abbildung 26: Callback zur StartupFcn

Hier wurden neben dem Deaktivieren aller Funktionen, die MATLAB® Skripte für die Kalibrierkurven der NTCs geladen und definiert. Außerdem mussten hier die DropDown Menüs initialisiert werden, damit die Auswahl des Textes Funktionalität bekommt. Für den Zeitabstand DropDown wurde den Auswahlmöglichkeiten ein numerischer Wert zugewiesen. Wird 4 auf der Startseite ausgewählt, wird die *TimerFcn* nur alle 4 s ausgeführt. Der Auswahl 4 ist der Wert $\frac{1}{4}$ zugewiesen, da dieser Wert später die Periode der *TimerFcn* definiert. Bei dem DropDown Menü wird für die Auswahl der Messart ein Zahlenwert benötigt, um im späteren Verlauf des Programmes mit einem switch – case arbeiten zu können.



```
function MessartDropDownValueChanged(app, event)
    wert = app.MessartDropDown.Value;
    switch wert
        case 1
            app.zustand = '';
            app.flagMessart = 1; % "Bitte Auswählen"
        ...
        case 2
            app.zustand = 'SHOT';
            app.flagMessart = 2; % "SHOT Messung"
        ...
    end
```

```
        case 3
            app.zustand = 'CUSTOM';
            app.flagMessart = 3;                % "CUSTOM Messung"
        ...
    end
end
```

Abbildung 27: Callback MessartDropDown

Dadurch, dass in der *StartupFcn* den Auswahlmöglichkeiten im DropDown Menü ein *value* zugeordnet wurde, kann mit diesen im Callback für das MessartDropDown Menü in Abbildung 27 gearbeitet werden. Hier werden je nach Auswahl unter anderem **flags** definiert. Diese flags kommen bei dem Callback START Button in Abbildung 28 zum Einsatz. Jeder Messart wird ein Zustand in Form einer flag zugeordnet.



START Button Pushed

Dieser Callback wird ausgeführt, wenn der User den START Button betätigt.

```
function STARTButtonPushed(app, event)
    ...
    switch app.flagMessart
        case 1                % keine Messart
            app.Status.Text = 'keine Messart ausgewählt';

        case 2                % SHOT - Messung
            app.STARTButton.Enable = 0;

            shotmessung(app);
            ...

        case 3                % CUSTOM - Messung

            % Parameter für TimerFcn festlegen
            app.Timer = timer;
            app.Timer.ExecutionMode = 'fixedRate'; % mit fester Rate
            %app.Timer.StartDelay = 5;
            app.Timer.Period = app.TimerFreq;

            app.Timer.Timerfcn = @app.TimerFcn;
            app.Status.Text = 'Timer angelegt';
            start(app.Timer);
            app.flagTimer = 1;
            app.Status.Text = 'Timer angelegt, Messung ist gestartet';
            ...

    end
end
```

Abbildung 28: Callback START Button

Dem Programm muss mithilfe der flags kommuniziert werden, welche Art der Messart ausgewählt wurde, da für das Messen verschiedene Funktionen aufgerufen werden müssen. Wählt der User die SHOT Messung aus, so ist die flag für die Messart auf 2 gesetzt und die bereits erläuterte Funktion *shotmessung* wird ausgeführt. Ist keine Messart ausgewählt, so kann auch keine Messung gestartet werden. Stattdessen ändert sich die Statuszeile entsprechend. Wenn eine CUSTOM Messung durchgeführt werden soll, müssen vor dem Ausführen der *TimerFcn* dessen Parameter festgelegt werden. Die *TimerFcn* wird mit einer bestimmten Rate ausgeführt, die vom User ausgewählt wird, daher ist der *ExecutionMode* auf *fixedRate* gesetzt. Die Periode wird festgelegt anhand des ausgewählten Zeitabstandes auf der Startseite. Die Variable *app.TimerFreq* ist der Umkehrbruch der Eingabe des



Zeitabstandes. Die Periodenlänge der *TimerFcn* ist bei der Eingabe von 4 s ist somit $\frac{1}{4}$. Der *StartDelay*, also die Start Verzögerung, wurde hier auskommentiert. Ist dies aktiviert, beginnt die Messdatenerfassung erst nach 5 s. Mit *app.Timer.Timerfcn* wird dem Programm kommuniziert, wie die programmierte Timerfcn heißt, in diesem Fall *TimerFcn*. Mit dem *start* Befehl wird die *TimerFcn* ausgeführt. Des Weiteren wurde bei case 3 (CUSTOM Messung) eine *flagTimer* definiert. Ist die *flagTimer* auf 1 gesetzt, ist ein Timer aktiv.

Beim Betätigen des STOP Buttons wird mithilfe der *flagTimer* überprüft, ob ein Timer aktiv ist. Ist die CUSTOM Messung aktiv, so muss der Timer gestoppt werden mit *stop(app.Timer)* und anschließend gelöscht werden mit *delete(app.Timer)*. Außerdem muss die *flagTimer* erneut auf 0 gesetzt werden, um bei erneutem Starten des Timers die *flag* wieder auf 1 setzen zu können.

Callback MESSUNGSICHERN Button Pushed

Nach dem Beenden einer Messung steht dem User die Möglichkeit zur Verfügung die Messung abzuspeichern. Dies wurde mit dem nachfolgendem Programmcode umgesetzt beim Betätigen des „MESSUNG SICHERN“ Buttons.

```
function MESSUNGSICHERNButtonPushed(app, event)

    % Struktur für das struct "messung" definieren
    messung.Objekt = app.Objekt.Value;
    ...
    % User Eingaben im struct definieren
    messung.Vorname = app.Vorname.Value;
    messung.Nachname = app.Nachname.Value;
    messung.BG = app.BG;
    messung.Messart = app.zustand;
    [z, ~] = size(app.Buffer);
    messung.time = app.Buffer(z,1);           % Die Dauer der Messung

    % struct hat keine vorgegebene Anzahl an Zeilen und Spalten. Je
    % nachdem welche Sensoren ausgewählt wurden, so viele
    % Zeilen/Spalten sollen erzeugt werden.
    % Mit jedem ausgewählten Sensor wird xi eins mehr.
    xi = 0;

    if app.NTCvorKaffeepuckE61CheckBox.Value == 1
        xi = xi + 1;

        messung.chan(xi).ChanBezeichnung = 'Temperatur vor Kaffeepuck
(E61)'; % Sensorspezifische Informationen (analog für die weiteren
Sensoren)
        messung.chan(xi).Sensor = 'NTC';
        messung.chan(xi).Seriennr = 'fehlt';
    % müssen noch nachgeschaut werden
        messung.chan(xi).Kali = app.Kali.NTC1;
    % Kalibrierwerte
        messung.chan(xi).Kennlinie = 'fehlt';
    % noch nicht vorhanden?
        messung.chan(xi).Einheit = 'Celsius';
        messung.data(:,xi) = app.Buffer(:,2);
    % Daten vom Sensor aus den Buffer in data übertragen
    end
    ...

    % Messung abspeichern mit erzeugtem Dateinamen bei Drücken von "START"

    save(app.filename, 'messung', '-mat');
```

```
app.MESSUNGSICHERNButton.Enable = 0;  
...  
end
```

Abbildung 29: Callback MESSUNG SICHERN

Die Messdaten werden in einem struct gespeichert, dessen Aufbau mithilfe Abbildung 29 beschrieben wird. Das struct ist als eine mat-Datei definiert. Öffnet man dieses struct in MATLAB® so erscheint es im Workspace unter dem Namen *messung*. Der Aufbau eines structs ist mit dem eines Baumdiagramms zu vergleichen. Beim Öffnen des structs erscheinen zunächst der Name des Messobjekts, das Datum, Vor- und Nachname des Users, die Auswahl aus dem BG DropDown Menü, die Messart, die Messdauer, ein weiterer Zweig mit den Kanalbezeichnungen und letztlich die aufgenommenen Messdaten. Da die Angaben alle vom User auf der Startseite getroffen wurden, können diese direkt dem struct zugewiesen werden. Die Angabe zu den Kanälen (Channels) hängt von der Auswahl der Sensoren ab. Es werden nur die Channels angezeigt, dessen Sensoren ausgewählt wurden. Beim Öffnen der Kanalbezeichnungen, ist jedem Sensor eine Zeile zur Verfügung gestellt, wo die jeweiligen Sensormerkmale dargestellt werden. Wird ein Sensor ausgewählt, zählt die Zählvariable *xi* um eins hoch und die Daten des nächsten Sensors werden in einer neuen Zeile im struct dargestellt. Zu den Merkmalen gehören die Kanalbezeichnung, die Art des Sensors, die Seriennummer des Sensors, die Kalibrierkurve, die Kennlinie und die Einheit der physikalischen Größe. Dies wurde durch *messung.chan(xi).merkmal* definiert, wie in Abbildung 29 deutlich erkennbar.

Für das Anzeigen der Messdaten wurde das gleiche Prinzip mit der Zählvariable angewendet. Hier wird jedem Sensor eine Spalte statt Zeile zugewiesen. Hier ist darauf zu achten, dass die Daten aus der richtigen Spalte aus dem Buffer in das struct übertragen werden. In Abbildung 29 ist dies beispielhaft für den NTC vor der BG dargestellt, für die weiteren Sensoren ist ein analoger Aufbau vorhanden.



4.2 Beschreibung der Benutzeroberfläche

Die GUI gliedert sich in zwei große Bereiche. Der erste Bereich ist unter dem Tab „STARTSEITE“ zu finden, wo der User vorbereitende Angaben zur Messung trifft. Unter dem Tab „MESSEN“ kann die eigentliche Messung gestartet und abgespeichert werden.

4.2.1 „STARTSEITE“ - TAB

Beim Ausführen des Programmcodes erscheint die GUI wie in Abbildung 30 dargestellt. Der meiste Teil der Oberfläche ist ausgegraut. Die Elemente werden schrittweise nacheinander aktiviert. Durch dieses Vorgehen wird die Wahrscheinlichkeit einer Fehlbedienung minimiert.

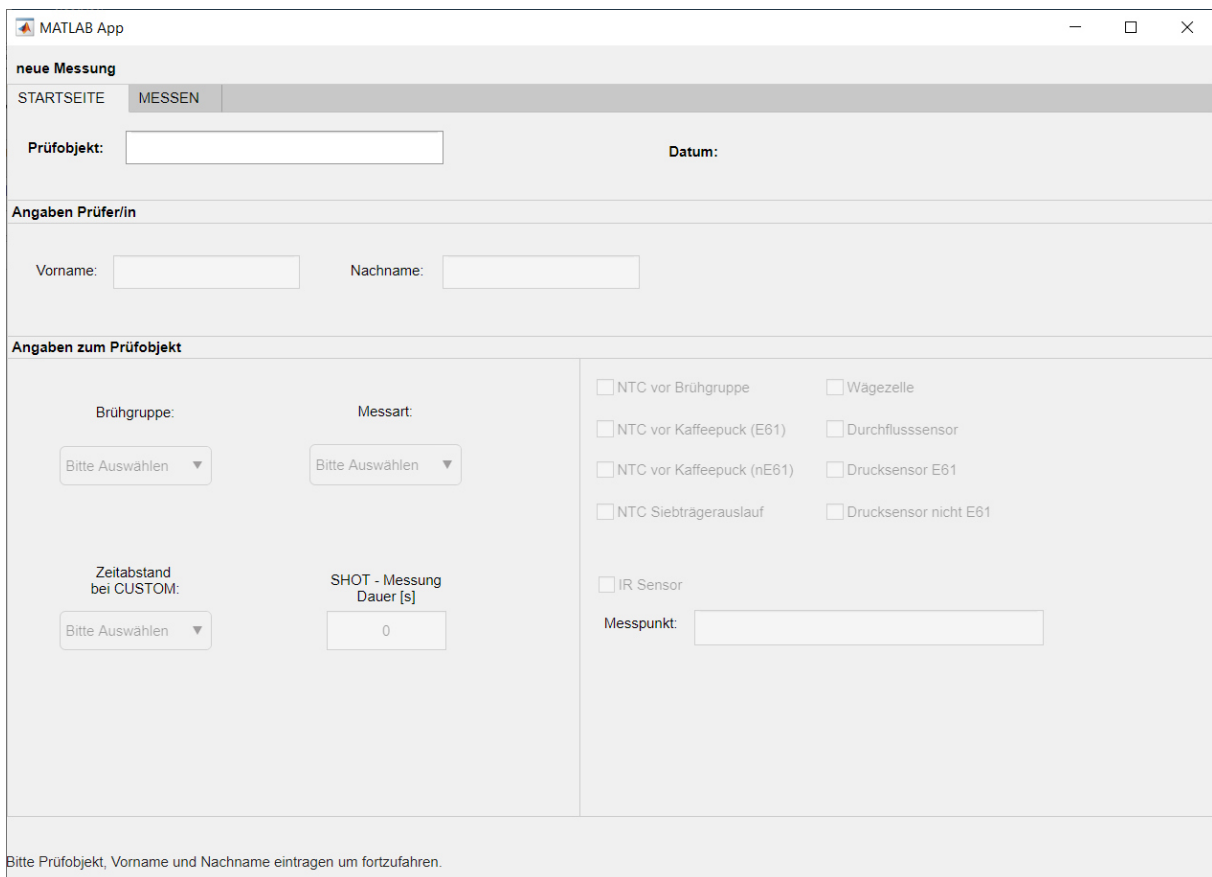


Abbildung 30: GUI – Startseite Tab

Angabe von Objekt- und Userdaten

Beim Starten der GUI ist nur das Eingabefeld für das Prüfobjekt freigeschaltet. Hier wird der User aufgefordert eine passende Bezeichnung einzugeben. Da sich dieser Name später im Dateinamen wiederfindet, muss hier eine konkrete Bezeichnung eingegeben werden, z.B. der Modellname der Espressomaschine und nicht nur „Espressomaschine“. Nachdem die Eingabe für das Prüfobjekt erfolgt ist, schaltet sich das Eingabefeld für den Vornamen des Prüfers bzw. der Prüferin frei. Hier wird der User dazu aufgefordert seinen Vornamen einzutragen. Nach Ausfüllen des Feldes für den Vornamen muss der Nachname angegeben werden bevor weitere Angaben zum Prüfobjekt getroffen werden können. Das Eingeben des vollständigen Vor- und Nachnamens dient der Nachverfolgung der Messung. Bei Defekten oder Problemen im Messsystem ist eine Kontaktaufnahme zum Verantwortlichen möglich.

Angaben zum Prüfobjekt

Nachdem die Angaben zum Prüfer eingegeben wurden, erscheint das aktuelle Datum und es wird ein Dropdown Menü aktiviert. Das Dropdown Menü „Brühgruppe“ gibt dem User drei Auswahlmöglichkeiten, wobei bei der Auswahl „Bitte Auswählen“ nichts weiter freigeschaltet wird. Der User muss eine Brühgruppe auswählen. Hier hat er die Möglichkeit zwischen „E61“ und „nicht

E61“. Ist eine Brühgruppe ausgewählt, so wird das Dropdown Menü zur Messart freigeschaltet. Hier hat der User ebenfalls drei Auswahlmöglichkeiten, wobei er zwischen „SHOT“ und „CUSTOM“ wählen muss, um weitere Einstellungen freizuschalten. Die SHOT Messung wird als eine Aufnahme von Parametern während eines Espressobezugs definiert. Wird die SHOT Messung ausgewählt, so wird das Eingabefeld für die Messdauer freigeschaltet und der User wird aufgefordert die Dauer der durchzuführenden Messung einzugeben. Es bietet sich hier an die Messdauer etwas länger einzutragen als der Espresso bezug dauert. Als Richtwert kann man 45 s bis 60 s festhalten. Die CUSTOM Messung hingegen steht für längere Messungen zur Verfügung. Nach dem Auswählen der CUSTOM Messung, aktiviert sich ein Dropdown Menü zur Angabe des Zeitabstands. Der Zeitabstand ist der zeitliche Abstand mit dem die Timerfunction ausgeführt wird. Die Timerfunction ist eine Funktion im Programmcode der GUI, die Werte der Sensoren über das Raspberry Pi an die GUI liefert. Der User hat hier die Auswahl zwischen ¼, ½, 1, 2, 4. Wird ¼ ausgewählt, so liefert das Raspberry Pi alle ¼ s Werte an die GUI. Wird 4 ausgewählt, so wird nur alle 4 s der aktuelle Wert der Sensoren an die GUI übertragen. Bei den langen Messungen wie z.B. das Aufnahmen des Aufheizverhaltens bietet es sich an einen höheren Wert auszuwählen, so dass nicht alle ¼ s ein Wert geliefert wird. Im Labor wurden zum Messen des Aufheizverhaltens mit einer Länge von ca. einer Stunde alle 4 s ein Messwert geliefert.

Sensorauswahl

Nachdem die Angaben zum Prüfobjekt vollständig sind, müssen noch die für die Messung relevanten Sensoren ausgewählt werden. Da nicht alle Sensoren gleichzeitig messen können, muss das bei der Auswahl mitberücksichtigt werden. Tabelle 5 zeigt die verschiedenen Kombinationen der Sensoren an, die sich allerdings nur auf die SHOT Messung beziehen, da der Durchflusssensor hier mitberücksichtigt wird. Bei einer CUSTOM Messung steht der Durchflusssensor nicht zur Auswahl, die Kombination der Sensoren erfolgt jedoch analog. Die Messarten wurden so definiert, dass die CUSTOM Messung für die Untersuchung des Aufheizverhaltens gilt. Da bei dem Aufheizverhalten kein Wasser befördert wird, ist hier der Einsatz eines Durchflusssensors nicht von Relevanz.

Tabelle 5: Kombinationsmöglichkeiten bei der Sensorauswahl

Kombi- nation	NTC vor BG	NTC vor Kaffeepuck E61	NTC vor Kaffeepuck nE61	NTC Auslauf	IR	Druck E61	Druck nE61	Durchfluss	Wäge- zelle
1.	x		x	x	x			x	x
2.	x			x	x	x		x	x
3.	x			x	x		x	x	x

Tabelle 5 zeigt die maximale Auswahl gleichzeitig eingesetzter Sensoren. Es ist auch möglich weniger Sensoren auszuwählen, jedoch ist darauf zu achten, ob die Kombination der einzelnen Sensoren möglich ist. Es ist zu erkennen, dass wenn die Temperatur vor dem Kaffeepuck gemessen wird, der Druck nicht aufgenommen werden kann. Dies liegt daran, dass der Drucksensor und der NTC vor dem Kaffeepuck die gleiche Messstelle haben. Des Weiteren ist zu beachten, dass man entweder ein Prüfobjekt mit E61 oder ohne E61 Brühgruppe vorliegen hat. Das heißt, dass nicht beide Temperaturen bzw. Drücke aufgenommen werden können. Außerdem ist darauf zu achten, dass der T-Adapter eingesetzt werden muss, wenn die Temperatur vor und an der Brühgruppe/vor Kaffeepuck gemessen wird. Der T-Adapter wird in Kapitel 2.3 genauer beschrieben.

Die Statusanzeige am untersten Ende der GUI führt den User schrittweise durch. Es werden Hinweise angegeben was zu tun ist.

4.2.2 „MESSEN“ - Tab

Sind alle Angaben auf der Startseite vollständig, so kann zum MESSEN – Tab übergegangen werden. Der Tab beinhaltet fünf Buttons, die den Messvorgang steuern. In den Diagrammen werden die ausgewählten Größen geplottet. Wie in Abbildung 31 zu sehen ist, ist nur der „SETUP“ Button

freigeschaltet und die „Raspberry Pi Connection“ Lampe leuchtet rot. Dies bedeutet, dass die GUI noch keine Verbindung mit dem Raspberry Pi aufgebaut hat.

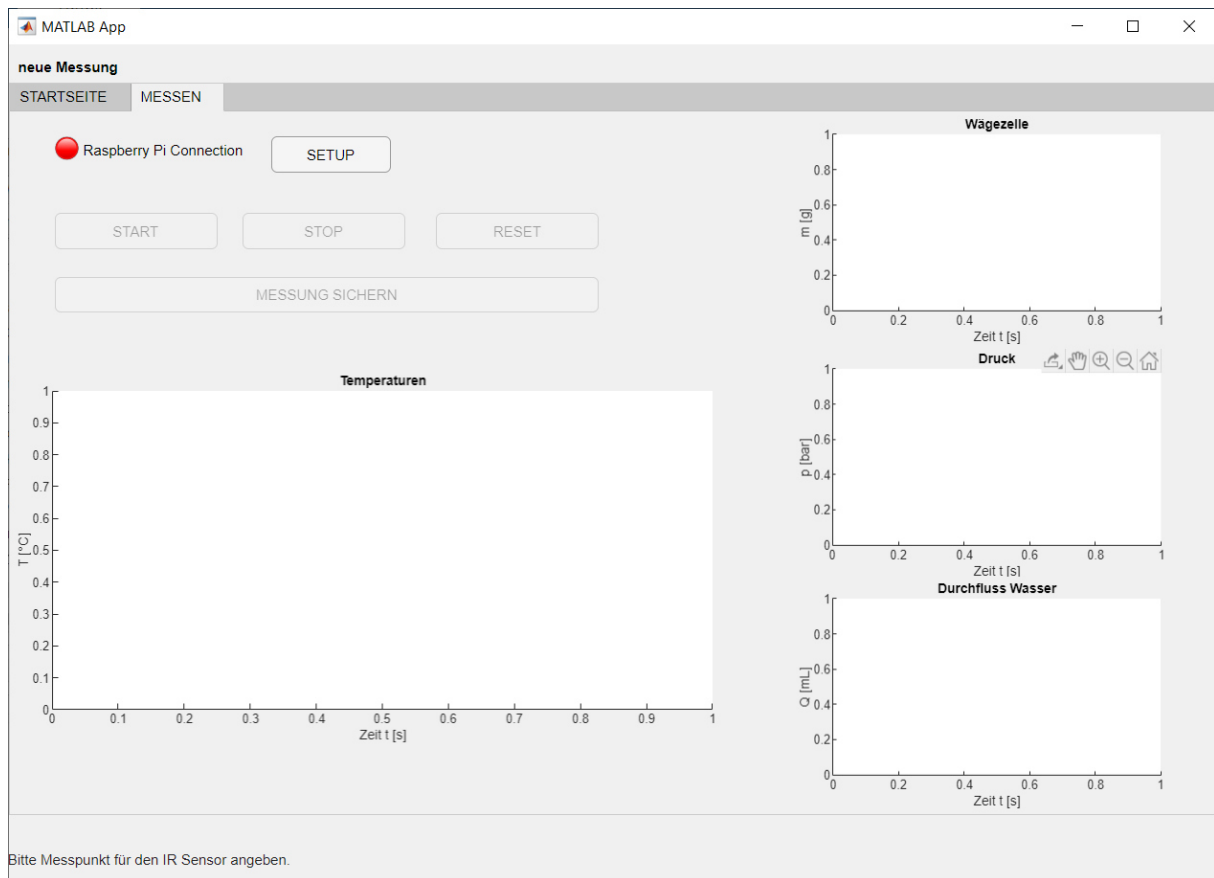


Abbildung 31: GUI – Messen Tab

Durch Betätigen des „SETUP“ Buttons wird eine Verbindung zum Raspberry Pi hergestellt, die Kontrollleuchte leuchtet bei erfolgreicher Verbindung grün und der Button für das Setup wird deaktiviert, während der „START“ Button freigeschaltet wird. Wird der „START“ Button betätigt, so wird eine Messung gestartet. Je nachdem, welche Art der Messung auf der Startseite ausgewählt wurde, wird hiermit gestartet.

SHOT Messung

Wurde die SHOT Messung ausgewählt, so erscheint unten in der Statuszeile ein Countdown, der von 5 herunterzählt und die Messung anschließend startet. Während der SHOT Messung kann der User die GUI nicht bedienen, bis alle Werte vom Raspberry Pi geholt wurden. Die Dauer des Prozesses entspricht der eingegebenen Dauer auf der Startseite plus etwas Verarbeitungszeit. Nachdem alle Werte vom Raspberry Pi geholt wurden, stoppt die Messung von selbst, das heißt der User muss nicht den „STOP“ Button betätigen. Nach Ende der Messung erscheinen die Parameterverläufe in den zugehörigen Diagrammen. Dem User stehen der „RESET“ Button und der „MESSUNG SICHERN“ Button zur Verfügung. Hier kann eigenständig entschieden werden, ob die Messung verworfen oder abgespeichert wird.

CUSTOM Messung

Wurde auf der Startseite die CUSTOM Messung gewählt, so wird die Messung mit dem „START“ Button gestartet und nach beliebiger Zeit manuell mit dem „STOP“ Button beendet. Sobald die Messung

gestartet wurde, erscheinen die Parameterverläufe der ausgewählten Sensoren in den dazugehörigen Diagrammen. Je nachdem welcher Zeitabstand gewählt wurde, erscheinen die Werte in den Diagrammen mit der ausgewählten Frequenz. Ist die Messung gestoppt, kann der User entscheiden, ob sie fortgesetzt wird durch erneutes Drücken des „START“ Buttons oder zurückgesetzt durch den „RESET“ Button. Eine weitere Möglichkeit ist das Abspeichern der aufgenommenen Messdaten durch den „MESSUNG SICHERN“ Button. Bei beiden Messarten werden nur die Werte der Sensoren geplottet, die auf der Startseite ausgewählt wurden. Bei dem Diagramm für die Temperaturen erscheint beim Starten der Messung eine Legende, um die verschiedenen Graphen den Sensoren zuordnen zu können.

Abspeichern der Messung

Unabhängig von der Messart, erscheint beim Starten der Messung der konfigurierte Dateiname in der Kopfzeile der GUI. Er setzt sich folgendermaßen zusammen:

JJJJMMTT_HHMMSS_Objekt_BG_VornameNachname_Messart.mat

Der Dateiname beginnt mit dem Zeitstempel zum Startzeitpunkt der Messung. Objekt ist die Beschreibung des Prüfobjekts, die auf der Startseite eingegeben wurde. BG steht für die Brühgruppenbezeichnung, also ob es sich um eine E61 Brühgruppe oder um eine nE61 Brühgruppe handelt. Es wird gefolgt von den Angaben zum Prüfer in Form von Vor- und Nachnamen aus der Startseite. Bei Messart steht entweder „SHOT“ oder „CUSTOM“, je nachdem welche Messart auf der Startseite ausgewählt wurde. Der Dateiname wird erzeugt, wenn eine neue Messung gestartet wird. Wird eine angehaltene Messung fortgesetzt, so bleibt der Dateiname gleich. Erst beim Zurücksetzen und Starten einer neuen Messung erscheint ein neuer Name in der Kopfzeile der GUI.

Beim Drücken des „MESSUNG SICHERN“ Buttons wird die Messung unter dem konfigurierten Dateinamen abgespeichert. Die Datei wird in demjenigen Ordner abgelegt, der in MATLAB® offen ist. Den Dateipfad des geöffneten Ordners kann man unter der Funktionsleiste in MATLAB® ablesen.

5 DURCHFLUSSENSENSOR

(Patricia Viebke)

Bei dem Durchflusssensor (Flowmeter) handelt es sich um den Digimesa Nano Brass. Dieser wurde ~~von der Vorgruppe vom WiSe 20/21~~ für das Messsystem ausgewählt aufgrund des linearen Messbereichs mit 35 bis 400 ml/min [1]. Da ein Kaffeebezug ca. 30 Sekunden dauert und um die 30 mL Flüssigkeit bringt, folgt eine Durchflussrate von 1 ml/s, was 60 ml/min entspricht. Die Durchflussrate von 60 ml/min liegt im linearen Messbereich des Sensors.

5.1 Adaption im Messsystem

Der Durchflusssensor Digimesa Nano Brass ist aufgrund seines Druckbereiches bis maximal 20 bar im Druckkreis des Systems einzubauen [1]. Mithilfe von Adapterstücken wird das Flowmeter zwischen Pumpe und Boiler verbaut. Der Durchflusssensor weist an beiden Enden ein G 1/8“ Innengewinde auf. Durch einen Schlauchadapter von G1/8“ von AVS Römer und einem Reduziernippel von G 1/4“ zu G 1/8“ wird es in das Messsystem integriert. Durch Teflonband wird die Dichtheit der Verbindungsstellen gewährleistet.



Abbildung 32: Integration des Durchflusssensors in das Messsystem

Am 3-Pin Anschluss wurde der Durchflusssensor mit Kabelschuhen laut dem Verkabelungsplan mit dem Raspberry Pi verbunden.



5.2 Problemanalyse des Messwertverarbeitung

Beim Testen des Messsystems ist aufgefallen, dass das Flowmeter falsche Werte liefert. Daher musste eine Analyse des Problems durchgeführt werden. Als Erstes wurde das Signal des Flowmeters mit einem Oszilloskop untersucht, um sich ein Bild davon zu machen, wie das Signal allgemein aussieht und ob es Auffälligkeiten gibt. Hier wurde untersucht, ob der Sensor die Signale richtig aufnimmt und ob die Signale sauber sind.

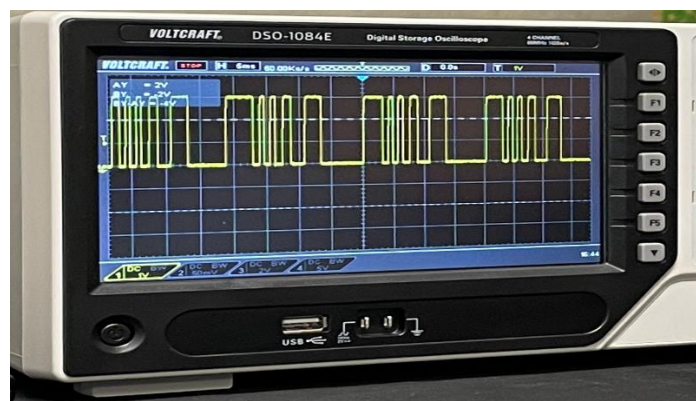


Abbildung 33: Untersuchen des Flowmeter Signals mit dem Oszilloskop

Mit dem Oszilloskop ist zu sehen, dass das Signal sauber ist und eine bestimmte Systematik aufweist. Nach 5-fachem Flankenwechsel erfolgt jeweils eine Pause, wie in Abbildung 32 zu erkennen. Die

Ursache für die Systematik des Signals stellt die in der Espressomaschine verbaute Vibrationspumpe dar. Die Pumpe arbeitet mit einem Kolben, der das Wasser fördert. Jedes Mal, wenn der Kolben ausfährt und das Wasser fördert, entstehen die Signale. Das Flowmeter **arbeitet mit einem Interrupt Service Request (ISR)** dass einen Impuls in Form eines Flankenwechsels auslöst, nachdem $\frac{1}{39,9} \text{ cm}^3 = 0,025 \text{ ml}$ Wasser befördert wurden. Es ist zu erkennen, dass bei jedem Neubeginn und Ende des Hubes die Pumpe länger braucht 0,025 ml zu befördern. Zwischen Anfang und Ende eines Hubes wird das Wasser schneller befördert, da dort der Flankenwechsel schneller geschieht. Jeder Pumpenhub löst fünfmal den ISR aus. Das bedeutet, dass analog fünf Zeitstempel vom Raspberry Pi generiert werden müssten pro Pumpenhub.

Der Durchfluss V wird mithilfe der erzeugten Impulse und der Zeitabstände Δt zwischen den Impulsen errechnet. In (5) ist die Formel für die Berechnung des Durchflusses dargestellt. Um den gesamten Durchfluss zu ermitteln, müssen die Werte kumuliert werden.

$$V = \sum_{i=0}^{i-1} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{39,9}{\Delta t} \quad \text{mit } \Delta t = t_{i+1} - t_i \quad [\text{ml/s}] \quad (5)$$

Im nächsten Schritt wurde das Signal mithilfe einer NI – Messkarte aufgenommen, um das Signal in MATLAB auszuwerten. Mit den drei Grafiken in Abbildung 34 wird im Folgenden die Problematik erläutert. Aus Gründen der Vereinfachung wurden die drei Grafiken durchnummeriert.

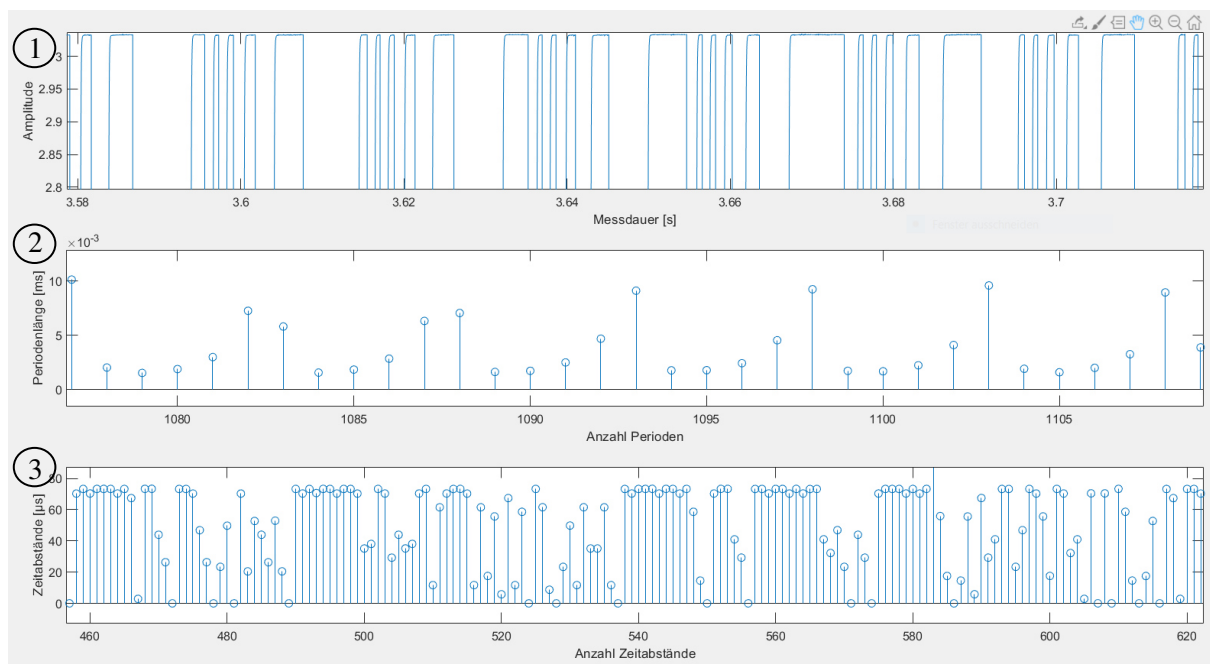


Abbildung 34: Signalauswertung Flowmeter

Die erste Grafik ① zeigt einen Ausschnitt des reinen Signals des Durchflusssensors, der einer NI-Messkarte aufgenommen wurde. Plot ② visualisiert einen Ausschnitt der Periodendauern von ① als Stabdiagramm. Hierfür wurden die Daten der ersten Grafik verwendet. Der unterste Plot ③ gibt die Zeitabstände des Durchflusssensors an, die aus den vom Raspberry Pi aufgenommenen Zeitstempeln folgen. Es ist deutlich zu erkennen, dass in ① und ② eine klare Systematik vorhanden ist, während der Plot der Zeitabstände strukturlos wirkt. Die Ausschnitte von ① und ② befinden sich nicht an der gleichen Stelle, das Schema lässt sich jedoch über die ganze Messdauer beobachten. Die Analyse zeigt, dass das Problem nicht an dem Durchflusssensor und seiner Messwerterfassung liegt, sondern an der Verarbeitung der Messdaten auf dem Raspberry Pi. Es wird vermutet, dass zu viele bzw. zu schnell

Impulse vom Sensor an das Raspberry geschickt werden, die es nicht verarbeiten kann. Dies wird dadurch begründet, dass die meisten Zeitabstände ca. $70 \mu\text{s}$ lang sind, das bedeutet es werden mehr längere Zeitabstände erfasst als die Kürzeren.

6 WÄGESYSTEM

(Tamiem Sediq)

Ein Bestandteil des Messsystems ist das Wägesystem, welches die Fördermenge am Siebträgerauslauf misst. Die Beschaffung der Wägezelle und dessen Gehäuse hat durch die Vorgruppe stattgefunden. [1] Um geeignete Messergebnisse mit dem Wägesystem zu erhalten, wurde eine erforderliche Genauigkeit von $\pm 0,1$ g festgelegt. Die Aufgabe lag darin, die Eignung des Wägesystems für das Messsystem nachzuweisen.

6.1 Zusammenbau des Wägesystems

Für den Endgültigen Zusammenbau des Wägesystems mussten außerdem drei M6 Innensechskantschrauben für die Standbeine, eine M3 Innensechskantschraube (Überlastschutz) und die Platine für die Leitungsverlängerung besorgt werden.

Anschließend erfolgte der Zusammenbau. Es wurden mit einem Gewindeschneider an den für die Standfüße vorgesehenen Stellen Gewinde geschnitten und anschließend die M6-Schrauben angeschraubt. Eine Platine wurde zurechtgeschnitten und die Leitungen wurden auf der Platine mit einem 4-adrigen Kabel zusammengelötet, welches aus dem Bodenkanal des Wägesystems herausgeführt wird. Die Platine wurde mit Sekundenkleber an die für die Platine vorgesehene Stelle im Gehäuse geklebt. Das andere Ende der Verlängerung ist mit einem Steckeraufsatz versehen worden.

Das Justieren der Überlastschraube erfolgte mit 325 g Kalibriergewicht. Das Gewicht wurde auf die in die Halterung montierte Wägezelle gelegt, wobei die Wägeplatte und der Wägebehälter nicht aufgesetzt wurden. Mit nicht aufgelegtem Gewicht wurde die Anschlagsschraube so weit in das Gehäuse gedreht, bis sie die Wägezelle berührte. Anschließend wurde das Gewicht aufgelegt und mit angeschlossener Messelektronik die Schraube so lange herausgedreht und gleichzeitig gemessen, bis keine Spannungserhöhung mehr zu verzeichnen war.

6.2 Prüfen auf Eignung des Wägesystems

Damit die Funktion des Wägesystems für das Messen der Fördermenge am Siebträgerauslauf, den Anforderungen bei der Messgenauigkeit erfüllt, muss sie vorher einen Testprozess durchgehen, um sicherzustellen, dass das System hierfür geeignet ist.

Bei dem Testprozess wird mit Kalibriergewichten von 0 g bis 300 g in 25 g - Schritten der Reihe nach mit jedem Gewicht über ein MATLAB® Skript eine Anzahl von fünfzig Messungen je Gewicht durchgeführt, um dann aus der statistischen Auswertung Informationen über die Wiederhol- und Messgenauigkeit zu erlangen.

Um sinnvolle Werte für die Fördermenge am Siebträgerausfluss und dessen Massenstrom zu erhalten, muss für das Wägesystem eine Genauigkeit von maximal $\pm 0,1$ g Abweichung gewährleistet sein.

Das MATLAB® Skript, welches über eine NI Messkarte die Messwerte aufnimmt, wird im Folgenden näher erklärt. Bei jedem Gewicht werden insgesamt 50 Messwerte gespeichert in einer Spaltenmatrix. Bei einem Durchgang werden mit einer Rate von 2 Werten pro Sekunde zehn Sekunden lang 20 Werte aufgezeichnet, anschließend mit 1000 multipliziert, um mV/V Werte zu erhalten, und gemittelt. Das Ganze wird 50 mal wiederholt mit einer Pause von 10 Sekunden zwischen jedem Durchgang.

Das Ganze wird mit jedem Teilgewicht wiederholt.

Damit bei der statistischen Auswertung die Abweichungen in Gramm angegeben werden, müssen die Nullpunktbereinigten Werte mit den vorher bestimmten jeweiligen Kennwerten dividiert werden. Anschließend wird der wahre Wert noch subtrahiert, um die Abweichung um den Punkt Null zu erhalten. Die Kennwerte besitzen die Einheit mV/V/g. Somit kürzen sich die mV/V und es bleiben g übrig.

$$\text{Messwert/Kennwert} = \left[\frac{mV}{V} \cdot \frac{V \cdot g}{mV} \right] = [g]$$

6.2.1 Statistische Auswertung des ersten Testdurchlaufs

Zuerst wurden Messungen mit der in das Gehäuse integrierten Wägezelle gemacht und der darauf montierten Wägeplatte. (siehe Abbildung 24)

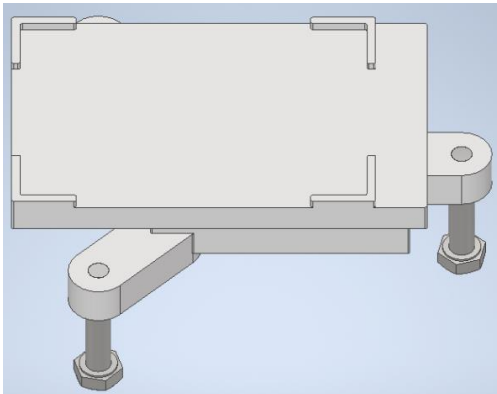


Abbildung 35: Wägesystem mit Wägeplattform / ohne Auffangbehälter

Der Auffangbehälter wurde in diesem Fall weggelassen, da dieser zunächst für die Auswertung nicht notwendig war.

Die Auswertung der aufgenommenen Messwerte ergab, dass das Wägesystem nicht mit der zulässigen Genauigkeit misst. Aus den Messungen geht hervor, dass sich die Messwerte über die Messzeit verändern und somit zu größeren Abweichungen von bis zu $\pm 0,5$ g führen.

Eine Abweichung von $\pm 0,3$ g ergibt sich in einem Vertrauensbereich von 95,45%, was immer noch zu viel ist.

Durch die Instabilität der Messwerte ist ebenfalls die Reproduzierbarkeit der Messwerte nicht gegeben.

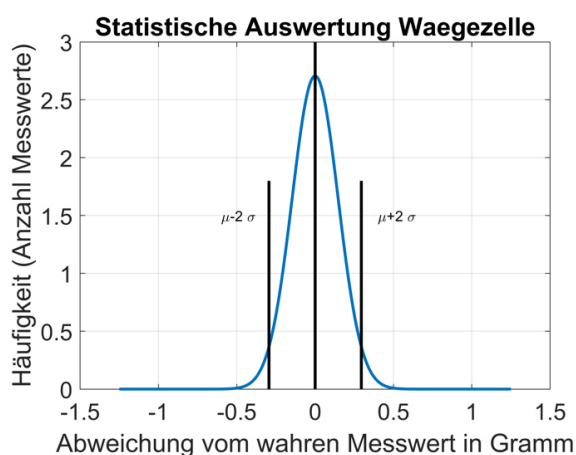


Abbildung 36: Gaußsche Verteilungskurve der Messwerte bzw. Wahrscheinlichkeitsverteilung (mit Wägeplatte)

6.2.2 Statistische Auswertung des zweiten Testdurchlaufs

Um einen Defekt der Wägezelle auszuschließen, wurde anschließend dieselbe Testreihe diesmal ausschließlich mit der Wägezelle auf dem Gehäuse durchgeführt.

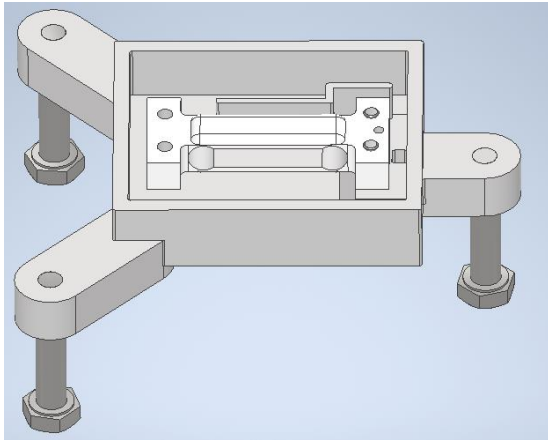


Abbildung 37: Wägesystem ohne Wägeplatte und Auffangbehälter

Die Statistische Auswertung der Messwerte bestätigt in diesem Fall die Eignung der Wägezelle in Verbindung mit dem Behälter. Aus der Auswertung geht hervor, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,73% alle Werte innerhalb einer Abweichung von $\pm 0,052\text{g}$ liegen.

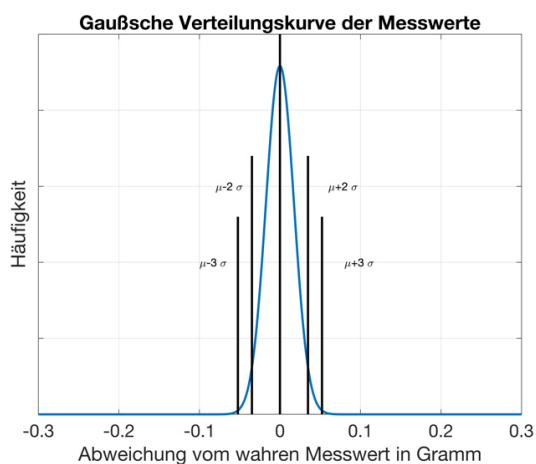


Abbildung 38: Gaußsche Verteilungskurve der Messwerte bzw. Wahrscheinlichkeitsverteilung (ohne Wägeplatte)

6.3 Problemanalyse

Die statistische Auswertung zeigt, dass die Wägezelle mit montierter Wägeplattform nicht mit der zulässigen Genauigkeit misst. Des Weiteren ergab eine wiederholte Messung eine mangelhafte Reproduzierbarkeit der Messwerte.

Der Drift und die mangelhafte Reproduzierbarkeit der Messwerte mit aufgesetzter Wägeplattform weisen entweder auf ein Problem an der Verbindungsstelle zwischen Wägeplattform und Wägezelle hin oder auf mangelhafte statische Eigenschaften der gesamten Halteeinrichtung für die Wägezelle.

Da nach dem Entfernen der Wägeplattform sowohl die Genauigkeit als auch die Reproduzierbarkeit gegeben war, liegt es nahe, dass die Verbindungsstelle zwischen Wägezelle und Wägeplattform die Ursache für den Drift und die mangelhafte Reproduzierbarkeit der Messwerte ist. Damit sichergestellt wird, dass die Halteeinrichtung der Wägezelle keinen Verformungen ausgesetzt wird, welche die Messwerte verfälschen, wird im Folgenden eine FEM Analyse der Bauteile durchgeführt.

6.4 FEM-Analyse des Gestells

Eine FEM-Analyse des Gestells ergibt, dass eine Verformung des Gestells ausgeschlossen werden kann bei den hier wirkenden Kräften. Für die Simulation wurde mit einer Kraft von 3N gerechnet. Diese ergeben sich aus einer Überschlagsrechnung, in der die 300 g mit der die Wägezelle maximal belastet werden darf multipliziert mit der Erdbeschleunigung $9,81 \frac{m}{s^2}$.

Das Material des Gestells, welches für den 3D-Druck verwendet wird, ist PA12 (Polyamid 12). Die Eigenschaften von PA12 können aus dem Datenblatt im Anhang entnommen werden.

Im Folgenden (Abbildung 29) wird die in das Gehäuse eingeschraubte Wägezelle auf der linken Seite mit einer Kraft von 3 Newton belastet. Die Lagerung wird jeweils an den Standfüßen realisiert. Die Simulation ergibt eine Durchbiegung der Wägezelle samt Gehäuse von 0,1444 mm.

Im Vergleich dazu kann man in der Abbildung 30 sehen, dass die fest gelagerte Wägezelle bei der gleichen Belastung 0,1429 mm nachgibt.

Aus dem Vergleich der beiden Durchbiegungen geht hervor, dass das Gehäuse durch die Belastung der Wägezelle minimal nachgibt und folglich eine ausreichende Steifigkeit vorweist. Ebenfalls beweist die statistische Auswertung der Testmessungen, welche nur mit der Wägezelle auf dem Gehäuse durchgeführt worden sind, dass der Drift der Messwerte und die daraus folgende Ungenauigkeit nicht auf eine fehlende Steifigkeit des Gehäuses zurückgeführt werden kann.

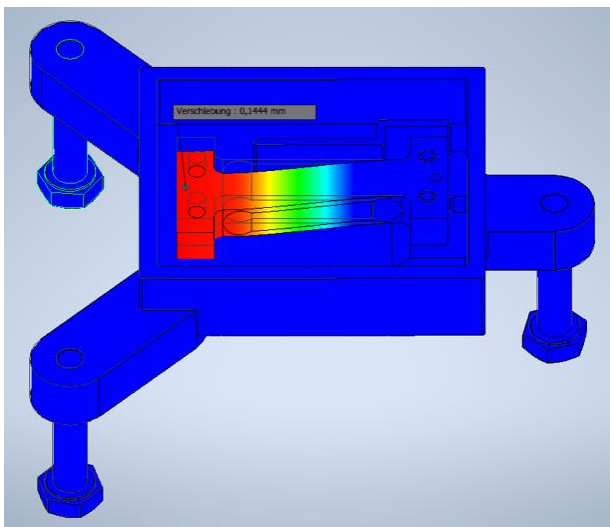


Abbildung 39: Wägezelle im Gehäuse

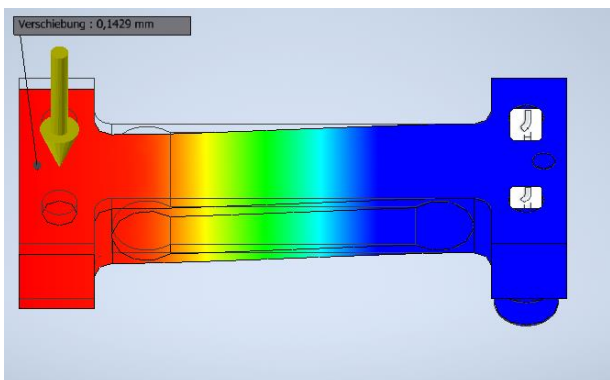


Abbildung 40: Wägezelle

Eine FEM-Analyse der Verbindung zwischen der Wägezelle und der Wägeplattform ist nicht sinnvoll, da in der Realität durch Toleranzen beim 3D-Druck andere Bedingungen vorherrschen als in der Simulation.

Bei den Test-Messungen ~~im Labor~~ fiel die mangelhafte Verbindung der Wägezelle und Wägeplattform ebenfalls auf. Somit bleibt als Ursache für den Drift der Messwerte und die mangelnde Reproduzierbarkeit nur noch die Verbindung zwischen der Wägezelle und der Wägeplattform.

6.5 Ansätze zur Problemlösung

Um das Problem mit der mangelhaften Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu lösen, werden im Folgenden drei Konzepte vorgestellt, wie man die Kontaktstelle zwischen der Wägezelle und der Wägeplattform gestalten kann.

Beim ersten Konzept wird die jetzige Steckverbindung durch eine Schraubenverbindung realisiert, und schafft somit mehr Stabilität und Kippschutz in das System und verhindert eine Verfälschung der Messwerte durch Reibung. Ähnlich ist das zweite Konzept, hier wird die Kontaktstelle geklebt. Das Kleben hätte den einzigen Nachteil, dass das System danach nicht mehr zerlegbar wäre. Das dritte Konzept bietet ebenfalls eine gute Lösung mit integriertem Kippschutz. Durch die schlanke und einfache Bauweise könnte das Gehäuse aus diesem Konzept aus Aluminium gefertigt werden und würde somit dem System noch mehr Stabilität verleihen. Dieses müsste jedoch komplett neu konstruiert und gefertigt werden.

In diesem Fall wäre die Lösung des ersten Konzeptes die naheliegende Lösung, da hierfür lediglich zwei Gewinde in die Wägezelle geschnitten werden und zwei Bohrungen durch die Wägeplattform gebohrt werden.

Konzepte:

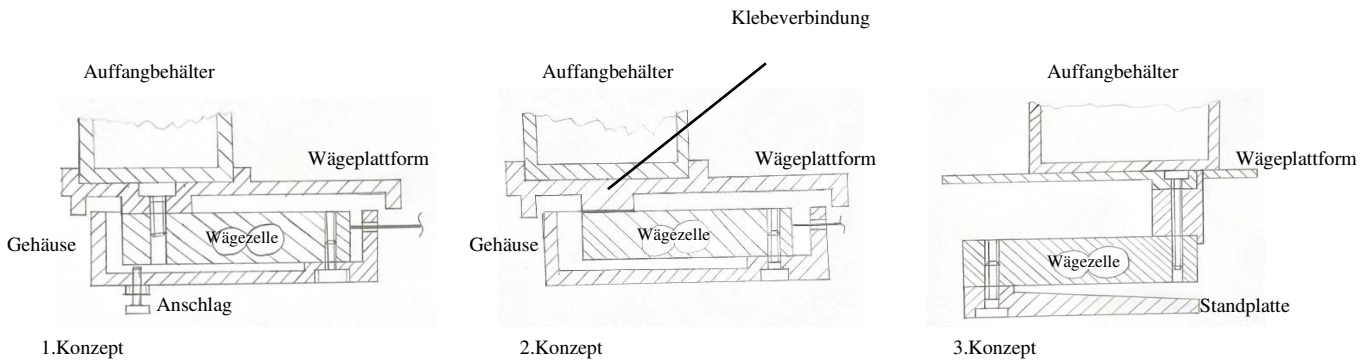


Abbildung 41: Konzepte des Wägesystems

7 LÖSUNGSVORSCHLÄGE



(Patricia Viebke)

Um mit dem Durchflusssensor erfolgreich Messen zu können, muss die in 0 dargestellte Problematik behoben werden. Dies kann beispielsweise mit einem Mikrocontroller wie z.B. dem Raspberry Pi Pico umgesetzt werden, da ein Mikrocontroller im Vergleich zum Raspberry Pi ohne Betriebssystem arbeitet. Das Raspberry Pi läuft mit Linux und durch die Kommunikation zwischen Soft- und Hardware entstehen Zeitverzögerungen in der Signalverarbeitung. Durch die Zeitverzögerungen kann das Raspberry Pi nicht schnell genug neue Daten aufnehmen, da es die Vorherigen noch verarbeiten muss. Der Vorteil des Mikrocontrollers ist, dass es statt einem Betriebssystem eine Laufzeitumgebung besitzt, die die Kommunikation zur Hardware zur Aufgabe hat [11]. Mithilfe dieser werden die Aufgaben der Datenverarbeitung über einzelne Module auf Hardwarekomponenten aufgeteilt. Dadurch wird eine schnellere Datenverarbeitung und somit eine detailliertere Aufnahme der Impulse erwartet. Die Programmierung der Module für die einzelnen Hardwarekomponenten erfolgt durch die Programmiersprache MicroPython. Zusätzlich zu dem Mikrocontroller ist ein AD-Wandler in Form von Hardware (z.B. ADS1115-Board) und ein Multiplexer notwendig. Der Mikrocontroller verfügt über eine UART Schnittstelle, die den Datenaustausch zum PC ermöglicht [11]. Die zweite Option ist ebenfalls ein Mikrocontroller eines anderen Typs wie der NUCLEO H743ZI2. Dieser funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie das Raspberry Pi Pico. Hier ist jedoch keine zusätzliche Hardware notwendig. Der NUCLEO kann direkt mit MATLAB® verbunden werden über die UART Schnittstelle.

Die dritte Option stellt eine NI Messkarte des Typs USB-6210 dar. Diese zeigt 8 analoge Eingänge für die Sensoren auf. Die Anzahl der analogen Eingänge ist aufgrund der eingeschränkten Kombinationsmöglichkeiten ausreichend (siehe Tabelle 5: Kombinationsmöglichkeiten bei der Sensorauswahl). Der Vorteil ist, dass das unter 2.5.1 beschriebene Probleme mit der 50 Hz Störfrequenz hiermit behoben wird. Der Nachteil ist, dass die NI Messkarte nicht mit dem ISR bei Flankenwechsel des Flowmetersignals arbeiten kann. Sie kann das Rechteck Signal des Durchflusssensors aufnehmen, jedoch keine Zeitstempel beim Auslösen des ISR konfigurieren.

Eine professionellere Datenerfassung am Raspberry Pi durch HAT (Hardware Attached to Top) bietet eine vierte Möglichkeit da, die jedoch die gleichen Vor- und Nachteile wie die dritte Option liefert. Ein HAT ist ein Bauteil, das über die 40-polige GPIO Schnittstelle mit dem Raspberry Pi verbunden wird. Speziell die DAQ HATs von MCC (Measurement Computing) übernehmen je nach Modell die Aufgaben eines AD/DA Wandlers bzw. die In- und Outputs eines Digitalen Signals [12]. Mit dem MCC 152 lassen sich digitale Input und Outputs verarbeiten. Dieser HAT hat allerdings nur 2 analoge Eingänge, was für dieses Messsystem nicht ausreichend ist. Andere MCC Module besitzen ausreichen analoge Ausgänge, die aber keinen Digitalen I/O haben. Hier ist fraglich, ob durch Einsetzen eines MCC Moduls für die analogen Messsignale die 50 Hz Problematik gelöst würde. Auch ob das Einsetzen des MCC 152 die Impulsaufnahme des Flowmeters verbessert, ist nicht klar. Die Frage, ob sich verschiedene MCC HATs kombinieren lassen muss noch abgeklärt werden.

Die fünfte Option hat den Fokus auf die Datenerfassung des Flowmeters. Hier ist die Idee, die Frequenz des Flowmetersignals in Spannungswerte umzuwandeln am Raspberry Pi mit zwei Python Skripten. Das erste Python Skript nimmt dafür die Zeitstempel bei fallender Flanke auf und speichert diese in einem Zwischenspeicher ab. Ein zweites Python Skript ist dafür zuständig die aufgenommenen Daten aus dem Zwischenspeicher im Raspberry Pi an den angeschlossenen PC zu übertragen. Die Besonderheit ist, dass der Zwischenspeicher als FIFO Datei im Raspberry Pi definiert ist. Das bedeutet, dass nur dann Zeitstempel der Impulse in den Zwischenspeicher aufgenommen werden, wenn gleichzeitig die Zeitstempel ausgelesen und an den PC übertragen werden. Dies hat den Vorteil, dass das Raspberry Pi nicht überlastet wird [13].

8 ZUSAMMENFASSUNG

(Andreas Turbanisch)

Das Messsystem wurde von der Projektgruppe aufgebaut und an der vom Projektpartner zur Verfügung gestellten Espressomaschine Lelit Mara X getestet. Das Testen offenbarte Probleme, welche im Laufe der Projektgruppe gelöst wurden, beziehungsweise zu lösen sind.

Die NTC's sind gefertigt und messbereit. Die notwendige Adaption ist in die vorliegende Espressomaschine eingebaut. Dadurch dass die Kennlinie in der MATLAB® GUI implementiert ist, lassen sich genaue Messwerte aufnehmen. Der Infrarotsensor B+B CT LT 15 wurde aufgebaut und getestet. Mithilfe des Sensors konnten bereits das Aufheizverhalten, sowie Bauteiltemperaturen aufgenommen werden. Da die Kennlinie im Zuge einer Probemessung grob abgeschätzt wurde, entsteht bei den Ergebnissen ein Messfehler. Das Konzept zur Messung der Siebträgerausflusstemperatur wurde geändert und der neue Sensor aufgebaut. Probemessungen zeigten die Problematik der Hitzeentwicklung, woraufhin ein Temperaturschutzgriff entwickelt wurde.

Bei der Montage des E61 Drucksensors an einer Brühgruppe ist das Einschraubgewinde dieses Sensors abgerissen. Um dies zukünftig zu verhindern wurde der Messadapter leicht umgestaltet, um ein Einschrauben mit geringerem Drehmoment zu garantieren. Da der Drucksensor für nicht E61 Brühgruppen baugleich ist, konnte er für die folgenden Messungen verwendet werden. Für beide Sensoren ist die Verkabelung vorhanden. Die Kennlinie der Sensoren ist noch nicht ermittelt, wodurch die Ergebnisse der Messungen ausschließlich quantitativ zu bewerten sind.

Der Durchflusssensor ist in der vorliegenden Espressomaschine verbaut und ans Messsystem anschließbar. Da nach den ersten Messungen nicht klar war, ob der Sensor intakt ist, wurde das Signal des Sensors mithilfe eines Oszilloskops überprüft. Aus der Problemanalyse lässt sich schlussfolgern, dass der Sensor funktioniert, jedoch die Datenaufnahme bzw. Verarbeitung mit dem Raspberry Pi Probleme bereitet.

Im Zuge der Testmessungen wurden ebenso die Messsignale anhand der Temperatursensoren untersucht. Durch eine Frequenzanalyse wurde festgestellt, dass dem Messsignal eine Störfrequenz von 50 Hz aufgeprägt ist. Weitere Versuche bestätigen die Vermutung, dass ein Erdungsproblem Ursache für die Störfrequenz ist. Die Betrachtung des Signals des geerdeten Messsystems offenbart ein Grundrauschen mit einer Amplitude von 10 mV. Der dadurch verursachte Fehler kann zum Nichterreichen der geforderten Messgenauigkeit führen.

Um das Wägesystem zu testen wurden Probemessungen mit Kalibriergewichten durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass das Gehäuse der Wägezelle, sowie die Befestigung der Wägezelle den Belastungen standhält. Eine rechnerische Analyse des Problems stützt die Erkenntnisse aus den Versuchen. Grund für das Verfehlen der Messgenauigkeit ist die Kontaktstelle zwischen der Wägezelle und der Wägeplattform.

9 AUSBLICK

(Patricia Viebke, Andreas Turbanisch)

Das Messsystem ist aktuell nur für Espressomaschinen mit einer E61 Brühgruppe ausgestattet. Um das Messsystem auch an Espressomaschinen mit anders ausgeführten Brühgruppen verwenden zu können, muss die zweite Brühgruppe gedruckt und getestet werden. Die Adaption der Sensoren muss für die vorliegenden Espressomaschinen anhand der dokumentierten Adaptionen verglichen werden. Bei abweichenden Maschinen gilt es die Adaption herauszufinden. Die nötigen Bauteile sind über den Laborbedarf zu decken, gegebenenfalls zu bestellen.

Um die Genauigkeit der Temperaturmessung mithilfe des Infrarotthermometers zu verbessern, muss die Kennlinie zur Umrechnung des Messsignals in physikalische Größen verbessert werden.

Um den defekten Drucksensor zu ersetzen, muss ein neuer Messadapter gefertigt und der Sensor darin verklebt werden. Für die Umrechnung der Messsignale in physikalische Größen gilt es eine Kennlinie der Sensoren aufzunehmen.

Da die Analyse des Durchflusssensors die Funktionalität des Sensors bestätigt hat, gilt es eine Lösung für das Messsystem zu finden. Es muss eine Lösung für die richtige Aufnahme der Flowmeter Impulse erarbeitet werden. Hierfür müssen die unter Kapitel 6 vorgestellten Lösungsvorschläge einzeln analysiert werden.

Für die vollständige Inbetriebnahme des Messsystems ist die saubere und richtige Signalaufnahme Grundvoraussetzung. Für die 50 Hz Problematik, die an den Temperatursensoren festgestellt wurde, gilt es eine Lösung zu finden. Es muss überprüft werden, ob die Störfrequenz auch bei anderen Sensoren auftritt, z.B. bei den Drucksensoren und der Wägezelle mit Brückenschaltung. Bezüglich des Grundrauschens gilt es auszuarbeiten, ob die Messgenauigkeit der Sensoren erreicht werden kann. Da diese Thematik ein generelles Problem des Messsystems offenbart, müssen die Lösungsansätze auch bezüglich dieses Problems bewertet werden.

Für die Verbesserung des Wägesystems müssen die Konzepte weiter erarbeitet werden. Das Umgehen der Schwachstellen des aktuellen Konzepts bildet die Grundlage für die Entwicklung des neuen Konzepts. Um die Änderungen zu prüfen, gilt es umfangreiche Berechnungen zur Steifigkeit und Festigkeit zu erstellen. Das erneute Verfehlen der Messgenauigkeit soll dadurch reduziert werden. Im Zuge einer Bewertung muss die endgültige Konstruktion herausgefunden und in Auftrag gegeben werden. Um die Verbesserung zu Validieren, ist es notwendig die Probemessungen erneut durchzuführen. Nach Erreichen der geforderten Messgenauigkeit, kann das Wägesystem final aufgebaut und verkabelt werden.

Sobald das finale Messsystem aufgebaut und getestet ist, können die analog messenden Sensoren kalibriert werden. Die Kalibrierung dient dazu die Messgenauigkeit zu verbessern, um die geforderten Toleranzen einzuhalten. Das Flowmeter bedarf aufgrund der digitalen Signale keiner Kalibrierung.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus der Sensoren.....	2
Abbildung 2: Fertiger Sensor zur Messung der Temperatur vor dem Kaffeepuck (T_v_KP (nE61))	3
Abbildung 3: Verkabelung des Temperatursensors (links), Anschluss am Raspberry Pi (rechts).....	3
Abbildung 4: Infrarotthermometer B+B CT LT 15 samt Verkabelung.....	4
Abbildung 5: Darstellung des Optischen Auflösungsverhältnisses [4].....	5
Abbildung 6: Mikrofonständer und Halblech zur Ausrichtung des Sensorkopfes	6
Abbildung 7: Aufbau des T – Adapters.....	7
Abbildung 8: Skizze des Rohrs zur Darstellung des Problems	8
Abbildung 9: Aufbau des Messsiebträgers.....	10
Abbildung 10: Messsiebträger mit Temperaturschutzgriff und Verkabelung (links), Schraube zur axialen Befestigung (rechts)	11
Abbildung 11: Signal NTC Raspberry ohne Erdung (oben), Signal NTC Raspberry mit Erdung (unten)	12
Abbildung 12: 20 mV Rauschen im geerdeten Messsignal	13
Abbildung 13: Plot des Fehlers durch das 20 mV Rauschen (rechts)	13
Abbildung 14: Druckmessadapter (links), Fertiger Sensor, samt Verkabelung (rechts).....	14
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Fügeflächen des Drucksensors im Sensoradapter.....	15
Abbildung 16: Beispielhafte Darstellung der properties Funktion.....	16
Abbildung 17: Vordefinieren der txt Datei mit Options.....	17
Abbildung 18: Informationen während SHOT Messung	17
Abbildung 19: Aufnahme der Messdaten SHOT Messung	17
Abbildung 20: Funktion zur Umwandlung der Messwerte in phys. Werte (SHOT).....	18
Abbildung 21: Füllen des Buffers (SHOT)	19
Abbildung 22: Funktion zur Darstellung der Messwerte	19
Abbildung 23: Messwerte aufnehmen mit TimerFcn.....	20
Abbildung 24: Funktion zur Umwandlung der Messwerte in phys. Werte (CUSTOM).....	21
Abbildung 25: Buffer bilden in der TimerFcn	21
Abbildung 26: Callback zur StartupFcn	22
Abbildung 27: Callback MessartDropDown	23
Abbildung 28: Callback START Button	23
Abbildung 29: Callback MESSUNG SICHERN	25
Abbildung 30: GUI – Startseite Tab.....	26
Abbildung 31: GUI – Messen Tab	28
Abbildung 32: Integration des Durchflusssensors in das Messsystem.....	30
Abbildung 33: Untersuchen des Flowmeter Signals mit dem Oszilloskop	30
Abbildung 34: Signalauswertung Flowmeter	31
Abbildung 35: Wägesystem mit Wägeplattform / ohne Auffangbehälter	34
Abbildung 36: Gaußsche Verteilungskurve der Messwerte bzw. Wahrscheinlichkeitsverteilung (mit Wägeplatte)	34
Abbildung 37: Wägesystem ohne Wägeplatte und Auffangbehälter	35
Abbildung 38: Gaußsche Verteilungskurve der Messwerte bzw. Wahrscheinlichkeitsverteilung (ohne Wägeplatte)	35
Abbildung 39: Wägezelle im Gehäuse	36
Abbildung 40: Wägezelle.....	36
Abbildung 41: Konzepte des Wägesystems	37

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Spezifikationen B+B CT LT 15 [4].....	4
Tabelle 2: Annahmen für die Berechnung.....	9
Tabelle 3: Berechnung des Fehlers durch das 10 mV Rauschen.....	13
Tabelle 4: Mittelwerte der Nullpunkt und Nennwerte.....	15
Tabelle 5: Kombinationsmöglichkeiten bei der Sensorauswahl.....	27

FORMELVERZEICHNIS

(1)	8
(2)	8
(3)	8
(4)	8
(5)	31



LITERATURVERZEICHNIS

- [1] S. Czernin, J. Pytlik und M. Zanziger, „Mess-System zur Ermittlung der Betriebsparameter von Espressomaschinen,“ München, 2021.
- [2] T. Acar, A. Huber, K. Ragab und K. Seitz, „Konstruktion der Brühgruppen und zugehöriger Siebträger für den 3D-Druck,“ München, 2021.
- [3] P. Viebke , T. Sediq und A. Turbanisch , *Verkabelungsplan der Sensoren für das Messsystem*, München, 2021.
- [4] „LT / KTF / FTH / 1M / 2M / 3M / 4M / G5 / P3 / P7 Infrarot-Thermometer,“ B+B Thermo-Technik GmbH, Donaueschingen.
- [5] „Grundlagen der Temperatur Infrarotmessung,“ Keller, [Online]. Available: <https://www.keller.de/de/its/pyrometer/applikationen/grundlagen/grundlagen-der-infrarot-temperaturmessung.htm>. [Zugriff am 11 August 2021].
- [6] „Wie man hervorragende Ergebnisse mit einem Infrarot-Thermometer erzielt,“ Fluke, 09 Mai 2021. [Online]. Available: <https://www.fluke.com/de-de/mehr-erfahren/blog/temperatur/wie-man-hervorragende-ergebnisse-mit-einem-infrarot-thermometer-erzielt>. [Zugriff am 14 August 2021].
- [7] H. Kuchling, Taschenbuch der Physik, München: Carl Hanser Verlag, 2014.
- [8] F. D. P. Henze, *Thermodynamik 1 Skriptum*, München, WISE 20/21.
- [9] B+B Thermo-Technik GmbH , „Datenblatt Keramische Drucksensoren,“ Donaueschingen , 2015.
- [10] HBM, *Gebrauchsanweisung X60 Schnellklebstoff*, HBM.
- [11] A. Rohnen, „MATLAB meets MicroPython,“ München, 2021.
- [12] „MCDAQ,“ Measurement Computing, [Online]. Available: <https://www.mccdaq.de/DAQ-HAT.aspx>. [Zugriff am 30 08 2021].
- [13] A. Rohnen und T. Kuttner, *Praxis der Schwingungsmessung*, Springer Vieweg, 2019.
- [14] „IR sensors DM21 / 101 / 151 / 201 / 401 / 601,“ B+B Thermo-Technik GmbH , Donaueschingen.

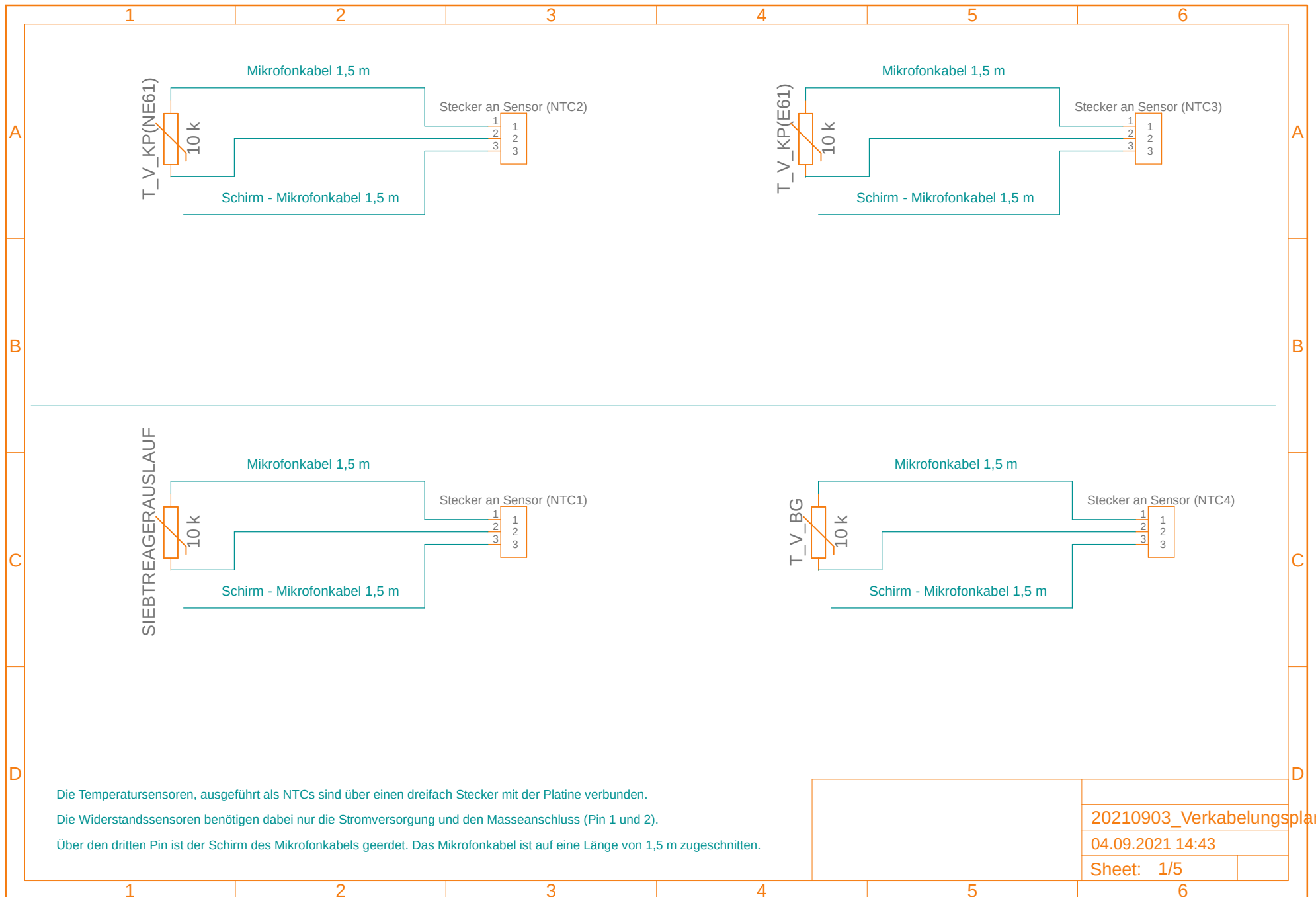
1.5 Modellübersicht

Die Sensoren der CT-Serie sind in folgenden Basisvarianten lieferbar:

Modell	Kurzbezeichnungen	Messbereich	Spektrale Empfindlichkeit	Typische Anwendungen
CT LT	LT02	-50 bis 600 °C	8-14 µm	nichtmetallische Oberflächen
	LT15			
	LT22	-50 bis 975 °C		
CT fast	LT15F	-50 bis 975 °C	8-14 µm	schnelle Prozesse
	LT25F			
CT hot	LT02H	-40 bis 975 °C	8-14 µm	hohe Umgebungstemperaturen (bis 250 °C)
	LT10H			
CT1M	1ML	485 bis 1050 °C	1,0 µm	Metalle und Keramiken
	1MH	650 bis 1800 °C		
	1MH1	800 bis 2200 °C		
CT 2M	2ML	250 bis 800 °C	1,6 µm	Metalle und Keramiken
	2MH	385 bis 1600 °C		
	2MH1	490 bis 2000 °C		

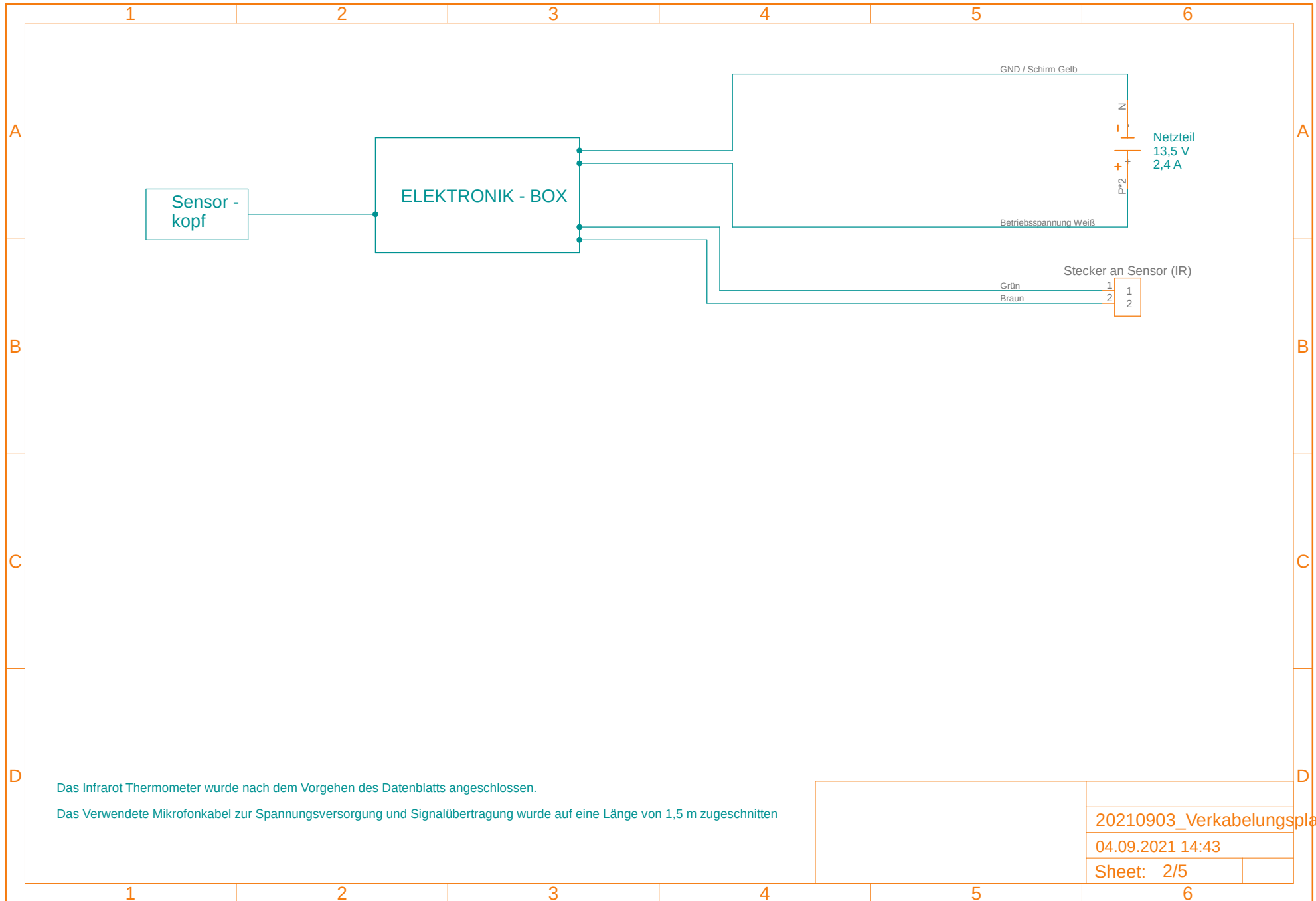
2.2 Elektrische Spezifikation

Spannungsversorgung	8–36 VDC CT 4M: 8-30 VDC / 5 V USB / max. 1,2 W
Ausgänge/ analog	(Für CT 4M ist Ausgang 1 und 2 frei wählbar: Analog mA/mV, Alarm mA/mV, TCK)
Kanal 1	wahlweise: 0/ 4–20 mA, 0–5/ 10 V, Thermoelement (J oder K) bzw. Alarmausgang (Signalquelle: Objekttemperatur)
Kanal 2 [nur LT/ G5/ P3/ P7]	Messkopftemperatur [-20...180 °C/ -20...250 °C bei LT02H und LT10H] als 0–5 V oder 0–10 V bzw. Alarmausgang (Signalquelle umschaltbar auf Objekttemperatur oder Elektronikboxtemperatur bei Nutzung als Alarmausgang)
Alarmausgang	Open-collector-Ausgang (NPN-Typ) am Pin AL2 [24 V/ 50 mA]
Ausgangsimpedanzen	
mA	max. Schleifenwiderstand 500 Ω (bei 8 -36 VDC)
mV	min. 100 kΩ Lastwiderstand
Thermoelement	20 Ω
Digitale Schnittstellen	USB, RS232, RS485, Profibus DP, Ethernet, Modbus RTU (über optionale Steckmodule)
Relaisausgang	2 x 60 VDC/ 42 VAC _{eff} , 0,4 A; potentialfrei (optionales Steckmodul)
Funktionseingänge / I/O Pins	F1 bis F3 über Software programmierbar für folgende Funktionen: <ul style="list-style-type: none"> • externe Emissionsgradeinstellung • Hintergrundstrahlungskompensation • Trigger (Rücksetzen der Haltefunktionen) Eingangsimpedanz F2 und F3: 43 kΩ CT 4M: I/O1-3 Pins über Software frei wählbar



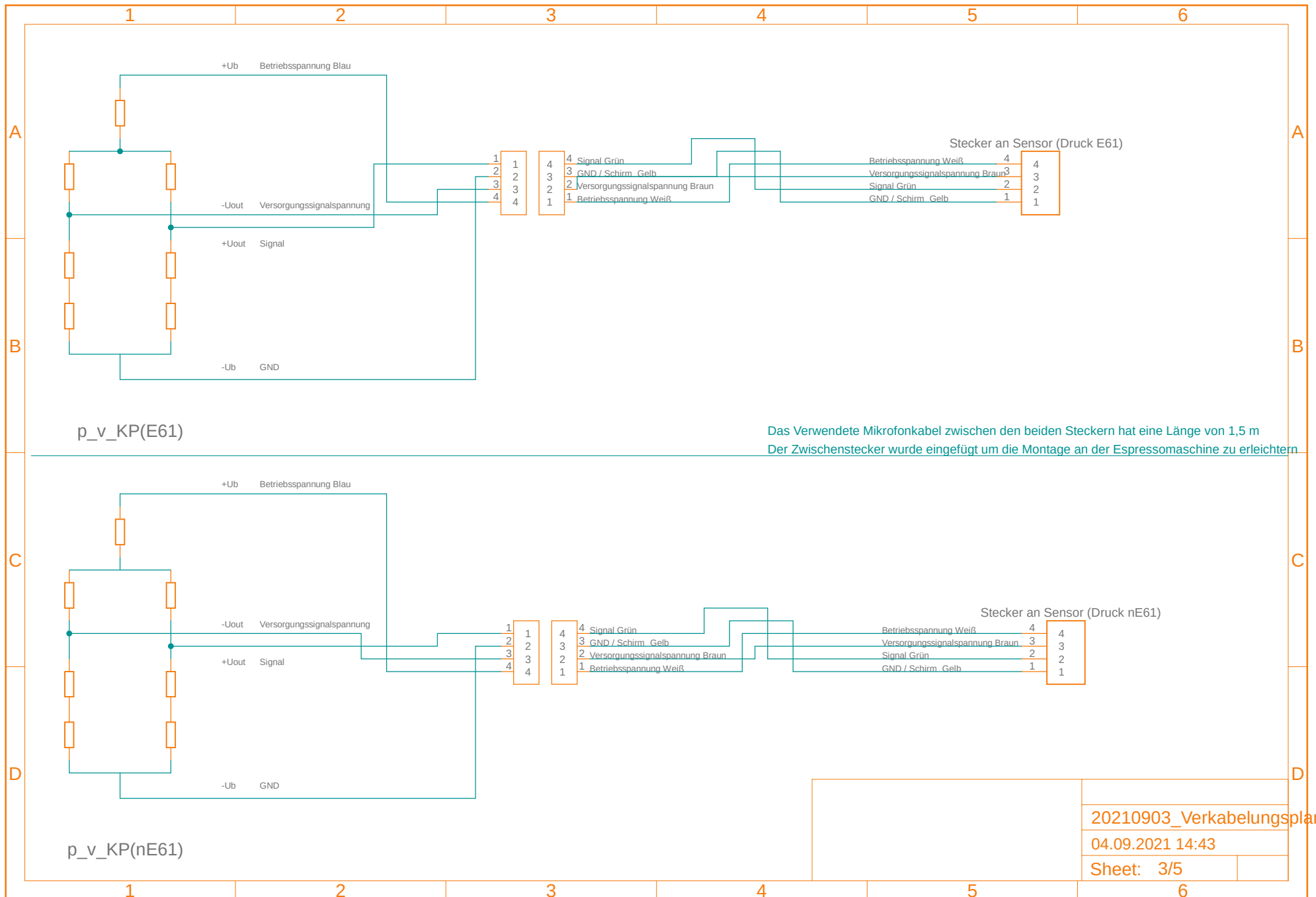
Die Temperatursensoren, ausgeführt als NTCs sind über einen dreifach Stecker mit der Platine verbunden.
 Die Widerstandssensoren benötigen dabei nur die Stromversorgung und den Masseanschluss (Pin 1 und 2).
 Über den dritten Pin ist der Schirm des Mikrofonkabels geerdet. Das Mikrofonkabel ist auf eine Länge von 1,5 m zugeschnitten.

20210903_Verkabelungsplan	
04.09.2021 14:43	
Sheet: 1/5	

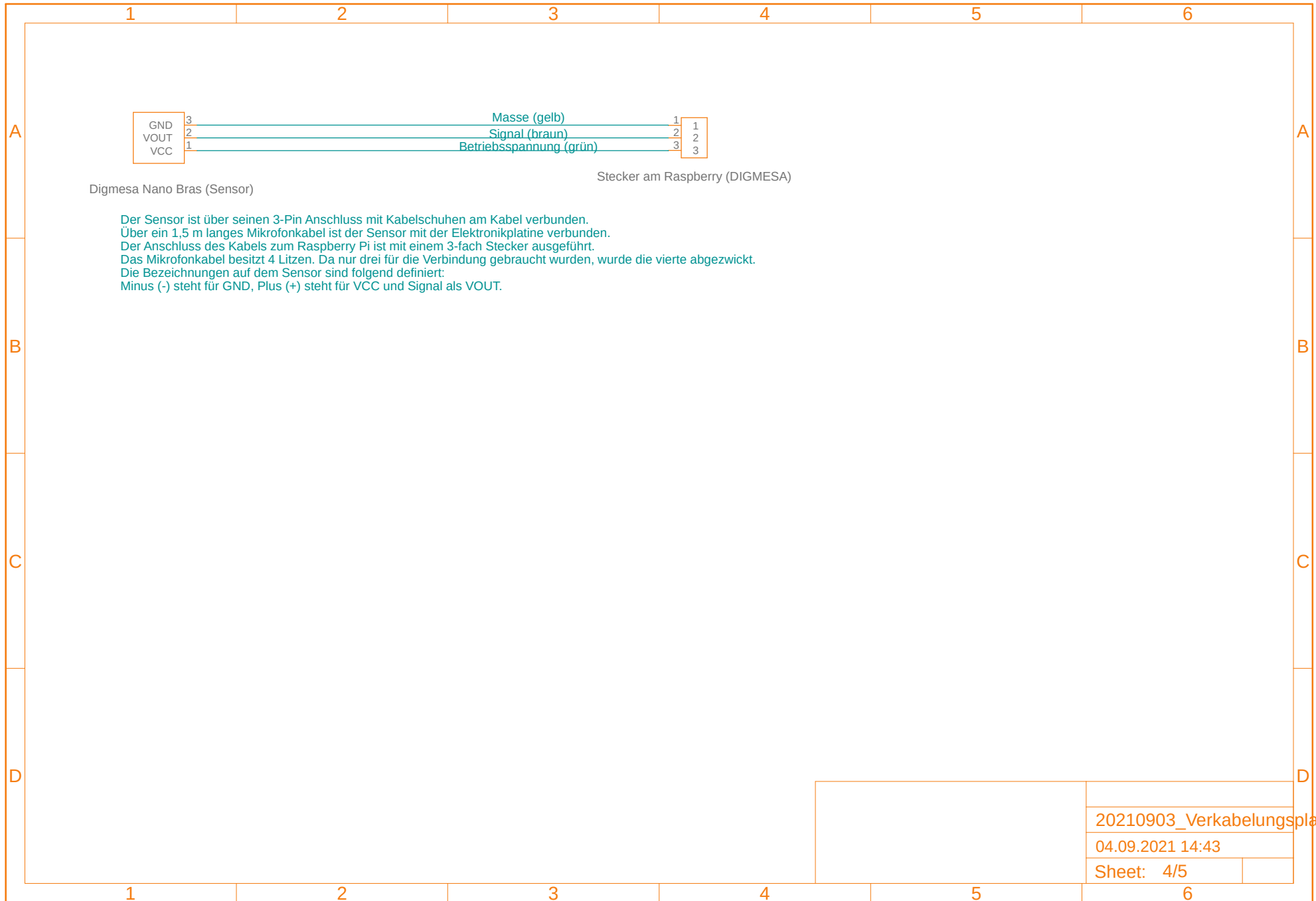


Das Infrarot Thermometer wurde nach dem Vorgehen des Datenblatts angeschlossen.
 Das Verwendete Mikrofonkabel zur Spannungsversorgung und Signalübertragung wurde auf eine Länge von 1,5 m zugeschnitten

20210903_Verkabelungsplan	
04.09.2021 14:43	
Sheet: 2/5	

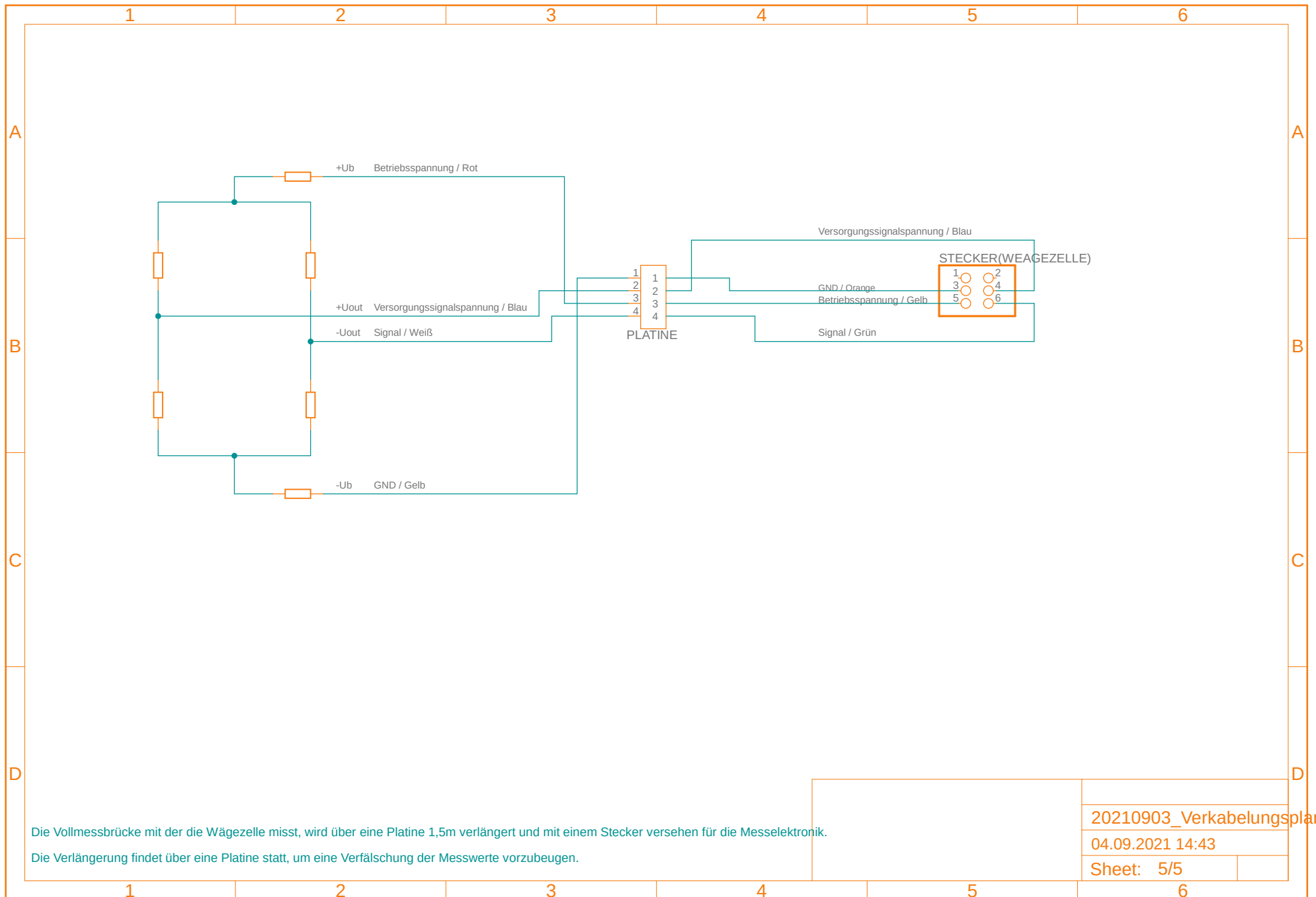


20210903_Verkabelungsplan
 04.09.2021 14:43
 Sheet: 3/5



Der Sensor ist über seinen 3-Pin Anschluss mit Kabelschuhen am Kabel verbunden.
 Über ein 1,5 m langes Mikrofonkabel ist der Sensor mit der Elektronikplatine verbunden.
 Der Anschluss des Kabels zum Raspberry Pi ist mit einem 3-fach Stecker ausgeführt.
 Das Mikrofonkabel besitzt 4 Litzen. Da nur drei für die Verbindung gebraucht wurden, wurde die vierte abgewickelt.
 Die Bezeichnungen auf dem Sensor sind folgend definiert:
 Minus (-) steht für GND, Plus (+) steht für VCC und Signal als VOUT.

20210903_Verkabelungsplan	
04.09.2021 14:43	
Sheet: 4/5	



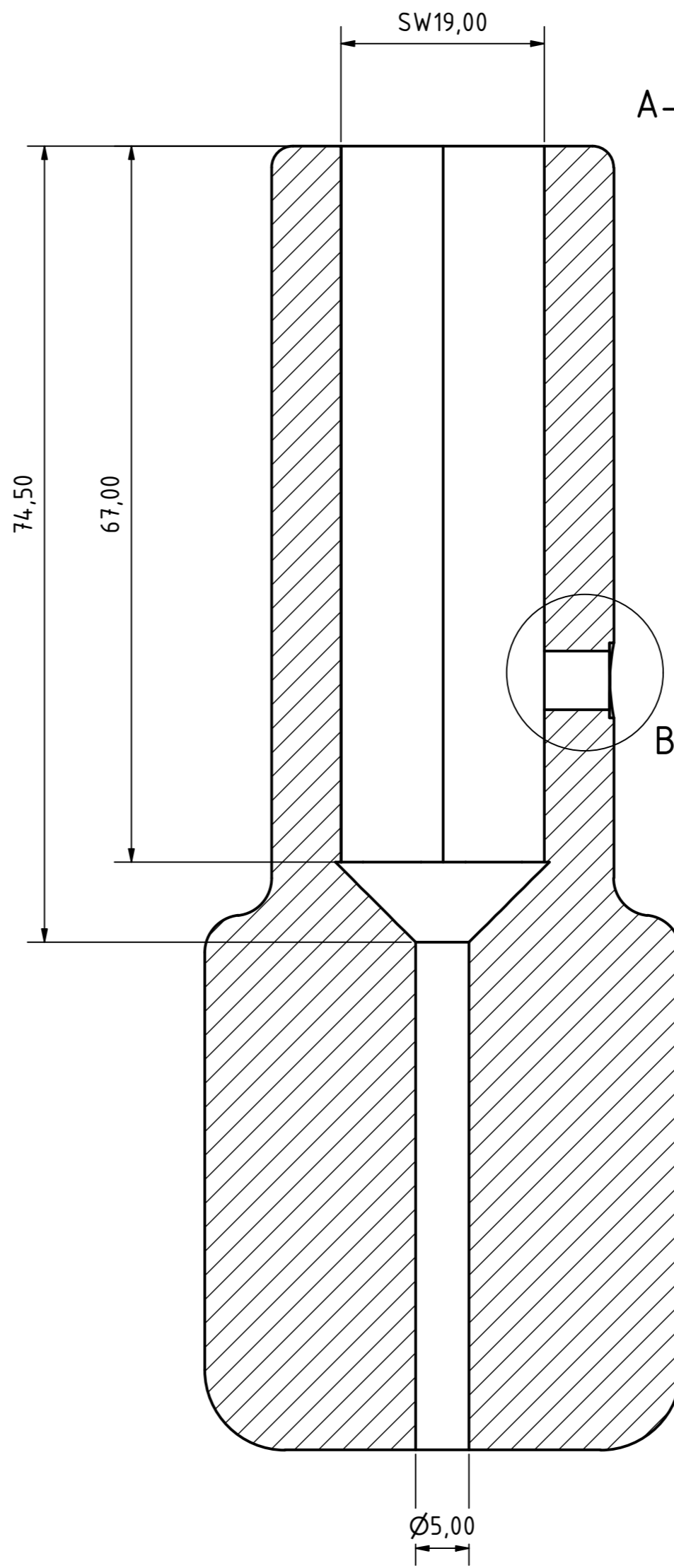
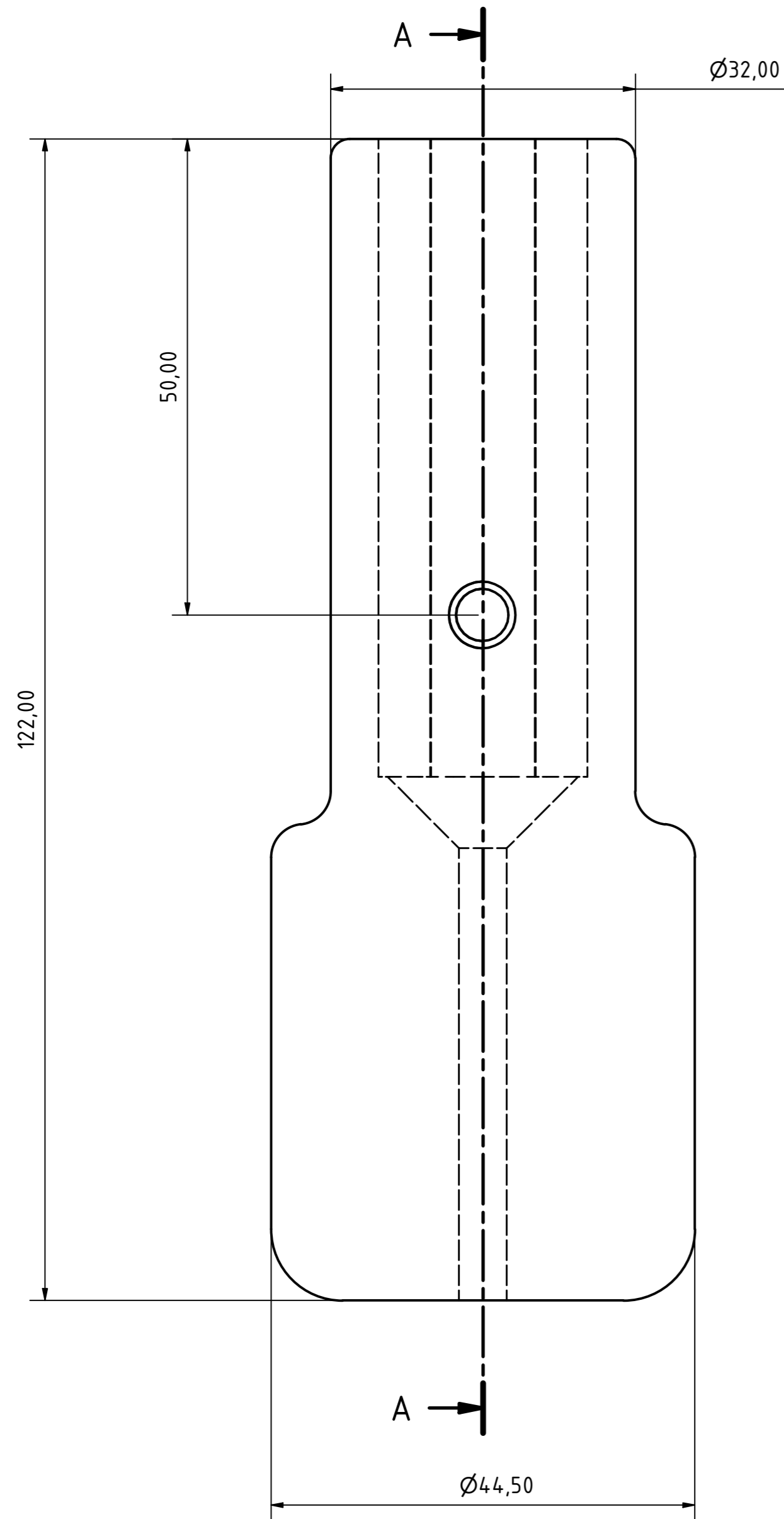
Die Vollmessbrücke mit der die Wägezelle misst, wird über eine Platine 1,5m verlängert und mit einem Stecker versehen für die Messelektronik.

Die Verlängerung findet über eine Platine statt, um eine Verfälschung der Messwerte vorzubeugen.

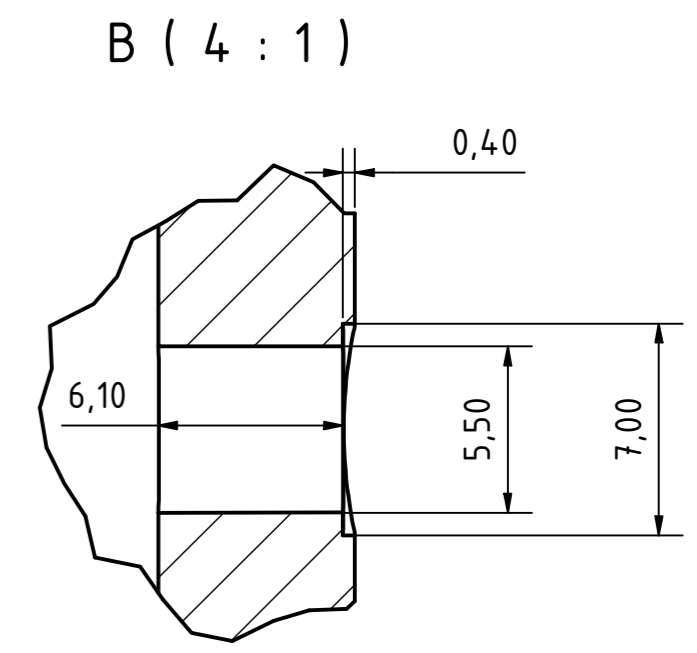
20210903_Verkabelungsplan

04.09.2021 14:43

Sheet: 5/5



A-A (2 : 1)



B (4 : 1)

Fertigungsverfahren: 3D Druck		Material: PA 12		Allgemeintoleranz 2768-mk		Maßstab 2:1	
				Andreas Turbanisch			
		Datum		Name		Temperaturschutzgriff	
		24.07.2021		Andreas			
		Gezeichnet		Kontrolliert			
		Norm					
						1	
						A2	
Status	Änderungen	Datum	Name				

Bedienungsanleitung



optris[®] CT

LT/ LTF/ LTH/ 1M/ 2M/ 3M/ 4M/ G5/ P3/ P7

Infrarot-Thermometer

Optris GmbH

Ferdinand-Buisson-Str. 14
13127 Berlin
Deutschland

Tel.: +49 30 500 197-0
Fax: +49 30 500 197-10

E-mail: info@optris.de
Internet: www.optris.de



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Allgemeine Informationen	8
1.1 Beschreibung	8
1.2 Gewährleistung	9
1.3 Lieferumfang	9
1.4 Wartung	10
1.5 Modellübersicht	11
1.6 Werksvoreinstellung	13
2 Technische Daten	15
2.1 Allgemeine Spezifikation	15
2.2 Elektrische Spezifikation	17
2.3 Messtechnische Spezifikation [LT-Modelle]	18
2.4 Messtechnische Spezifikation [CTfast/ CThot]	20

2.5	Messtechnische Spezifikation [1M/ 2M/ 3M/ 4M-Modelle]	22
2.6	Messtechnische Spezifikation [G5/ P3/ P7-Modelle]	25
2.7	Optische Diagramme.....	26
2.8	CF-Vorsatzoptik und Schutzfenster	38
3	Mechanische Installation	42
3.1	Montagezubehör	46
3.2	Freiblasvorsätze	48
3.3	Weiteres Zubehör.....	50
4	Elektrische Installation.....	57
4.1	Anschluss der Kabel.....	57
4.1.1	Anschlusskennzeichnung [Modelle LT/ G5/ P3/ P7].....	57
4.1.2	Anschlusskennzeichnung [Modelle 1M/ 2M/ 3M].....	58
4.1.3	Anschlusskennzeichnung [Modelle 4M].....	59
4.1.4	Spannungsversorgung.....	60

4.1.5	Kabelmontage	61
4.2	Masseverbindung	62
4.2.1	1M, 2M, 3M Modelle	62
4.2.2	4M Modell.....	62
4.2.3	LT, LTF, LTH, G5, P3, P7 Modelle	63
4.3	Austauschen des Messkopfes	64
4.3.1	Eingabe des Kalibriercodes	64
4.3.2	Messkopfkabel	65
5	Aus- und Eingänge	66
5.1	Analogausgänge	66
5.1.1	Ausgabekanal 1	66
5.1.2	Ausgabekanal 2 [nur LT/ G5/ P3/ P7]	66
5.2	Digitale Schnittstellen	67
5.3	Relaisausgänge.....	67

5.4	Funktionseingänge (nicht für CT 4M).....	68
5.5	I/O Pins (nur für CT 4M).....	69
5.6	Alarmer.....	70
5.6.1	Ausgabekanal 1 und 2 [Kanal 2 nur bei LT/ G5/ P3/ P7].....	70
5.6.2	Open-collector-Ausgang / AL2:.....	72
6	Bedienung.....	73
6.1	Sensoreinstellungen.....	73
6.2	Fehlermeldungen.....	84
7	IRmobile App.....	85
8	Software CompactConnect/ CompactPlus Connect.....	87
8.1	Installation.....	87
8.2	Kommunikationseinstellungen.....	89
8.2.1	Serieller Interface.....	89
8.2.2	Protokoll.....	89

8.2.3	ASCII-Protokoll	90
8.2.4	Speichern von Parametereinstellungen	91
9	Prinzip der Infrarot-Temperaturmessung	92
10	Emissionsgrad	93
10.1	Definition.....	93
10.2	Bestimmung eines unbekanntem Emissionsgrades	94
10.3	Charakteristische Emissionsgrade	95
Anhang A – Emissionsgradtabelle Metalle		96
Anhang B – Emissionsgradtabelle Nichtmetalle		98
Anhang C – Adaptive Mittelwertbildung		99
Anhang D – Konformitätserklärung		100

1 Allgemeine Informationen

1.1 Beschreibung

Vielen Dank, dass Sie sich für das **optris® CT** Infrarot-Thermometer entschieden haben.

Die Sensoren der Serie optris CT sind berührungslos messende Infrarot-Temperatur Sensoren.

Sie messen die von Objekten emittierte Infrarotstrahlung und berechnen auf dieser Grundlage die Oberflächentemperatur [**► 9 Prinzip der Infrarot-Temperaturmessung**]. Das Sensorgehäuse des CT-Messkopfes besteht aus Edelstahl (Schutzgrad IP65/ NEMA-4) – die Auswerteelektronik ist in einem separaten Zink-Druckgussgehäuse untergebracht.



Die CT - Sensoren sind empfindliche optische Systeme. Die Montage sollte deshalb ausschließlich über das vorhandene Gewinde erfolgen.



- Vermeiden Sie abrupte Änderungen der Umgebungstemperatur.
- Vermeiden Sie grobe mechanische Gewalt am Messkopf, da dies zur Zerstörung führen kann und in diesem Fall jegliche Gewährleistungsansprüche entfallen.
- Bei Problemen oder Fragen wenden Sie sich an die Mitarbeiter unserer Serviceabteilung.



Lesen Sie diese Bedienungsanleitung vor der ersten Inbetriebnahme aufmerksam durch. Der Hersteller behält sich im Interesse der technischen Weiterentwicklung das Recht auf Änderungen der in dieser Anleitung angegebenen Spezifikationen vor.



► Alle Zubehörteile können unter Verwendung der in Klammern [] angegebenen Artikelnummern bestellt werden.

1.2 Gewährleistung

Sollten trotz sorgfältiger Qualitätskontrolle Gerätedefekte auftreten, bitten wir Sie, sich umgehend mit unserem Kundendienst in Verbindung zu setzen. Die Gewährleistungsfrist beträgt 24 Monate ab Lieferdatum. Nach diesem Zeitraum gibt der Hersteller im Reparaturfall eine 6-monatige Gewährleistung auf alle reparierten oder ausgetauschten Gerätekomponten. Nicht unter die Gewährleistung fallen Schäden, die durch unsachgemäße Behandlung, Öffnung des Gerätes oder Gewalteinwirkung entstanden sind. Der Hersteller haftet nicht für etwaige Folgeschäden oder bei nicht bestimmungsgemäßem Einsatz des Produktes. Im Falle eines Gerätefehlers während der Gewährleistungszeit erfolgt eine kostenlose Instandsetzung bzw. Kalibrierung des Gerätes. Die Frachtkosten werden vom jeweiligen Absender getragen. Der Hersteller behält sich den Umtausch des Gerätes oder von Teilen des Gerätes anstelle einer Reparatur vor. Ist der Fehler auf eine missbräuchliche Verwendung oder auf Gewalteinwirkung zurückzuführen, werden die Kosten vom Hersteller in Rechnung gestellt. In diesem Fall wird vor Beginn der Reparatur auf Wunsch ein Kostenvoranschlag erstellt.

1.3 Lieferumfang

- CT-Messkopf mit Anschlusskabel und Auswerteelektronik
- Montagemutter
- Bedienungsanleitung

1.4 Wartung

Linsenreinigung: Lose Partikel können mit sauberer Druckluft weggeblasen werden. Die Linsenoberfläche kann mit einem weichen, feuchten Tuch (befeuchtet mit Wasser) oder einem Linsenreiniger (z.B. Purosol oder B+W Lens Cleaner) gereinigt werden.



Benutzen Sie niemals lösungsmittelhaltige Reinigungsmittel (weder für die Optik, noch für das Gehäuse).

1.5 Modellübersicht

Die Sensoren der CT-Serie sind in folgenden Basisvarianten lieferbar:

Modell	Kurzbezeichnungen	Messbereich	Spektrale Empfindlichkeit	Typische Anwendungen
CT LT	LT02	-50 bis 600 °C	8-14 µm	nichtmetallische Oberflächen
	LT15			
	LT22	-50 bis 975 °C		
CT fast	LT15F	-50 bis 975 °C	8-14 µm	schnelle Prozesse
	LT25F			
CT hot	LT02H	-40 bis 975 °C	8-14 µm	hohe Umgebungstemperaturen (bis 250 °C)
	LT10H			
CT1M	1ML	485 bis 1050 °C	1,0 µm	Metalle und Keramiken
	1MH	650 bis 1800 °C		
	1MH1	800 bis 2200 °C		
CT 2M	2ML	250 bis 800 °C	1,6 µm	Metalle und Keramiken
	2MH	385 bis 1600 °C		
	2MH1	490 bis 2000 °C		

CT 3M	3ML	50 bis 400 °C	2,3 µm	Metalle bei geringen Objekttemperaturen (ab 50 °C)
	3MH	100 bis 600 °C		
	3MH1	150 bis 1000 °C		
	3MH2	200 bis 1500 °C		
	3MH3	250 bis 1800 °C		
CT 4M	4ML	0 bis 500 °C	2.2-6 µm	Metalle bei geringen Objekttemperaturen (ab 0 °C) und sehr schnellen Prozessen
CT G5	G5L	100 bis 1200 °C	5,0 µm	Glastemperaturen
	G5H	250 bis 1650 °C		
CT P3	P3	50 bis 400 °C	3,43 µm	Temperatur von dünnen Kunststofffolien
CT P7	P7	0 bis 710 °C	7,9 µm	

In dieser Bedienungsanleitung werden im Folgenden ausschließlich die Kurzbezeichnungen verwendet. Bei den Modellen 1M, 2M, 3M, 4M und G5 wird der Gesamtmessbereich jeweils in mehrere Teilbereiche (L, H, H1 usw.) unterteilt.

1.6 Werksvoreinstellung

Die Geräte haben bei Auslieferung folgende Voreinstellungen:

Signalausgabe Objekttemperatur	0-5 V								
Signalausgabe Kanal 2 (nur bei CT 4M)	Interne Kopftemperatur: 0-5 V = 0-70 °C								
Emissionsgrad	0,970 [LT/ G5/ P3/ P7] 1,000 [1M/ 2M/ 3M/ 4M]								
Transmission	1,000								
Mittelwertbildung (AVG)	0,2 s LT15F/ LT25F: 0,1 s 1M/ 2M/ 3M/ 4M: 0,001 s								
Smart Averaging	Inaktiv LT15F, LT25F: aktiv								
Maximalwerthaltung (MAX)	inaktiv								
Minimalwerthaltung (MIN)	inaktiv								
	LT	1ML	1MH	1MH1	2ML	2MH	2MH1	3ML	3MH
untere Grenze Temperaturbereich [°C]	0	485	650	800	250	385	490	50	100
obere Grenze Temperaturbereich [°C]	500	1050	1800	2200	800	1600	2000	400	600
untere Alarmgrenze [°C] (Normal geschlossen)	30	600	800	1200	350	500	800	100	250
obere Alarmgrenze [°C] (Normal offen)	100	900	1400	1600	600	1200	1400	300	500

	3MH1	3MH2	3MH3	4ML	G5L	G5H	P3	P7	
untere Grenze Temperaturbereich [°C]	150	200	250	0	100	250	50	0	
obere Grenze Temperaturbereich [°C]	1000	1500	1800	500	1200	1650	400	710	
untere Alarmgrenze [°C] (Normal geschlossen)	350	550	750	30	200	350	70	30	
obere Alarmgrenze [°C] (Normal offen)	600	1000	1200	100	500	900	200	100	
untere Grenze Ausgang	0 V								
obere Grenze Ausgang	5 V								
Temperatureinheit	°C								
Umgebungstemperaturkompensation (Ausgabe an OUT-AMB als 0-5 V-Signal bei LT, G5, P3 und P7)	interner Messkopftemperaturfühler								
Baudrate [kBaud]	115 921,6 [4M]								



Unter **Smart Averaging** oder **Adaptiver Mittelwertbildung** versteht man eine dynamische Anpassung der Mittelwertbildung an steile Signalflanken [Aktivierung nur über Software möglich].

► **Anhang C – Adaptive Mittelwertbildung**

2 Technische Daten

2.1 Allgemeine Spezifikation

	Messkopf	Elektronik-Box
Schutzgrad	IP65 (NEMA-4)	IP65 (NEMA-4)
Umgebungstemperatur	siehe: Messtechnische Spezifikation	-20...85 °C ¹⁾
Lagertemperatur	siehe: Messtechnische Spezifikation	-40...85 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	10...95 %, nicht kondensierend	
Material (Messkopf)	Edelstahl	Zink, gegossen
Abmessungen	28 mm x 14 mm bzw. 32 mm x 14 mm, M12x1	89 mm x 70 mm x 30 mm
Abmessungen CThot/ CT P3/ P7	55 mm x 29,5 mm, M18x1 (mit Massivgehäuse)	
Gewicht	40 g	420 g
Gewicht CThot/ CT P7	205 g (mit Massivgehäuse)	
Kabellänge	1 m (nur LT02, LT15, LT22, CTfast) 3 m (Standard bei CThot, 1M, 2M, 3M, 4M, G5, P3 und P7) ²⁾ 8 m 15 m	
Kabeldurchmesser	2,8 mm	
Umgebungstemperatur Kabel	max. 180 °C [Hochtemperaturkabel für CThot: 250 °C]	
Vibration	IEC 68-2-6: 3G, 11 – 200 Hz, jede Achse	
Schock	IEC 68-2-27: 50G, 11 ms, jede Achse	

Druckfestigkeit (Messkopf)	8 bar
Software / App (optional)	CompactConnect / CompactPlus Connect / IRmobile

¹⁾ Die Funktion der LCD-Anzeige kann bei Umgebungstemperaturen unter 0 °C eingeschränkt sein

²⁾ Die 3M-Modelle sind ausschließlich mit 3 m Kabel erhältlich.

2.2 Elektrische Spezifikation

Spannungsversorgung	8–36 VDC CT 4M: 8-30 VDC / 5 V USB / max. 1,2 W
Ausgänge/ analog	(Für CT 4M ist Ausgang 1 und 2 frei wählbar: Analog mA/mV, Alarm mA/mV, TCK)
Kanal 1	wahlweise: 0/ 4–20 mA, 0–5/ 10 V, Thermoelement (J oder K) bzw. Alarmausgang (Signalquelle: Objekttemperatur)
Kanal 2 [nur LT/ G5/ P3/ P7]	Messkopftemperatur [-20...180 °C/ -20...250 °C bei LT02H und LT10H] als 0–5 V oder 0–10 V bzw. Alarmausgang (Signalquelle umschaltbar auf Objekttemperatur oder Elektronikboxtemperatur bei Nutzung als Alarmausgang)
Alarmausgang	Open-collector-Ausgang (NPN-Typ) am Pin AL2 [24 V/ 50 mA]
Ausgangsimpedanzen	
mA	max. Schleifenwiderstand 500 Ω (bei 8 -36 VDC)
mV	min. 100 kΩ Lastwiderstand
Thermoelement	20 Ω
Digitale Schnittstellen	USB, RS232, RS485, Profibus DP, Ethernet, Modbus RTU (über optionale Steckmodule)
Relaisausgang	2 x 60 VDC/ 42 VAC _{eff} , 0,4 A; potentialfrei (optionales Steckmodul)
Funktionseingänge / I/O Pins	F1 bis F3 über Software programmierbar für folgende Funktionen: <ul style="list-style-type: none"> • externe Emissionsgradeinstellung • Hintergrundstrahlungskompensation • Trigger (Rücksetzen der Haltefunktionen) Eingangsimpedanz F2 und F3: 43 kΩ CT 4M: I/O1-3 Pins über Software frei wählbar

2.3 Messtechnische Spezifikation [LT-Modelle]

	LT02	LT15	LT22
Temperaturbereich (skalierbar)	-50...600 °C		-50...975 °C
Umgebungstemperatur (Messkopf)	-20...130 °C		-20...180 °C
Lagertemperatur (Messkopf)	-40...130 °C		-40...180 °C
Spektralbereich	8...14 µm		
Optische Auflösung	2:1	15:1	22:1
Systemgenauigkeit ^{1) 2) 3)}	±1,0 °C oder ±1,0 %		
Reproduzierbarkeit ^{1) 3)}	±0,5 °C oder ±0,5 %		
Temperaturkoeffizient ⁴⁾	±0,05 K/ K oder ±0,05 %/ K		
NETD ^{3) 5)}	100 mK	50 mK	
Einstellzeit (95% Signal)	150 ms		
Aufwärmzeit	10 min		
Emissionsgrad/ Verstärkung	0,100...1,100 (einstellbar über Software)		
Transmissionsgrad	0,100...1,100 (einstellbar über Software)		
Schnittstelle (optional)	USB (Programmieradapter)		
Signalverarbeitung	Mittelwert, MAX, MIN (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)		

¹⁾ bei Umgebungstemperatur 23±5 °C; der jeweils größere Wert gilt; bei Objekttemperaturen >0; Einstellzeit=1s

²⁾ Genauigkeit bei Nutzung des Thermoelement-Ausgangs: ±2,5°C oder ±1%

- ³⁾ $\varepsilon = 1$
- ⁴⁾ für Umgebungstemperaturen (Messkopf) $<18\text{ °C}$ und $>28\text{ °C}$; der jeweils größere Wert gilt
- ⁵⁾ bei einer Einstellzeit von 200 ms und einer Objekttemperatur von 25 °C



Bei den LT02-Modellen darf das Messkopfkabel während der Messung nicht bewegt werden.

2.4 Messtechnische Spezifikation [CTfast/ CThot]

	LT15F	LT25F	LT02H	LT10H
Temperaturbereich (skalierbar)	-50...975 °C		-40...975 °C	
Umgebungstemperatur (Messkopf)	-20...120 °C		-20...250 °C	
Lagertemperatur (Messkopf)	-40...120 °C		-40...250 °C	
Spektralbereich	8...14 µm			
Optische Auflösung	15:1	25:1	2:1	10:1
Systemgenauigkeit ^{1) 2) 3)}	±2°C oder ±1%		±1,5°C oder ±1%	
Reproduzierbarkeit ^{1) 3)}	±0,75 °C oder ±0,75 %		±0,5 °C oder ±0,5 %	
Temperaturkoeffizient ⁴⁾	±0,05 K/ K oder ±0,05 %/ K			
NETD ^{3) 5)}	200 mK	400 mK	250 mK	
Einstellzeit (90% Signal)	9 ms	6 ms	100 ms	
Aufwärmzeit	10 min			
Emissionsgrad/ Verstärkung	0,100...1,100 (einstellbar über Software)			
Transmissionsgrad	0,100...1,100 (einstellbar über Software)			
Signalverarbeitung	Mittelwert, MAX, MIN (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			

¹⁾ bei Umgebungstemperatur 23±5 °C; der jeweils größere Wert gilt; bei Objekttemperaturen ≥ 20 °C, Einstellzeit=1s

²⁾ Genauigkeit bei Nutzung des Thermoelement-Ausgangs: ±2,5°C oder ±1%

³⁾ $\epsilon = 1$ ⁴⁾ für Umgebungstemperaturen (Messkopf) <18 °C und >28 °C; der jeweils größere Wert gilt

⁵⁾ bei einer Einstellzeit von 100 ms und einer Objekttemperatur von 25 °C



Bei den CThot-Modellen [LT02H/ LT10H] darf das Messkopfkabel während der Messung nicht bewegt werden.

2.5 Messtechnische Spezifikation [1M/ 2M/ 3M/ 4M-Modelle]

	1ML	1MH	1MH1	2ML
Temperaturbereich (skalierbar)	485...1050 °C	650...1800 °C	800...2200 °C	250...800 °C
Umgebungstemperatur (Messkopf)	-20...100 °C			-20...125 °C
Lagertemperatur (Messkopf)	-40...100 °C			-40...125 °C
Spektralbereich	1,0 µm			1,6 µm
Optische Auflösung	40:1	75:1		40:1
Systemgenauigkeit ¹⁾²⁾³⁾	±(0,3 % T _{Mess} +2°C)			
Reproduzierbarkeit ¹⁾³⁾	±(0,1 % T _{Mess} +1 °C)			
Temperaturkoeffizient ⁴⁾	±0,05 K/ K oder ±0,05 %/ K			
NETD ³⁾⁵⁾	100 mK	140 mK	85 mK	90 mK
Einstellzeit (90 % Signal)	1 ms ⁶⁾			
Emissionsgrad/ Verstärkung	0,100...1,100 (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			
Transmissionsgrad	0,100...1,000 (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			
Signalverarbeitung	Mittelwert, MAX, MIN (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			

¹⁾ bei Umgebungstemperatur 23±5 °C; der jeweils größere Wert gilt; Einstellzeit=1s

²⁾ Genauigkeit bei Nutzung des Thermoelement-Ausgangs: ±3,5°C oder ±1%

³⁾ ε = 1

⁴⁾ für Umgebungstemperaturen (Messkopf) <18 °C und >28 °C; der jeweils größere Wert gilt

⁵⁾ bei einer Einstellzeit von 1 ms und einer Objekttemperatur=Messbereichsanfang+50 °C

⁶⁾ mit dynamischer Anpassung bei geringen Signalpegeln

	2MH	2MH1	3ML	3MH
Temperaturbereich (skalierbar)	385...1600 °C	490...2000 °C	50...400 °C ¹⁾	100...600 °C ¹⁾
Umgebungstemperatur (Messkopf)	-20...125 °C		-20...85 °C	
Lagertemperatur (Messkopf)	-40...125 °C		-40...125 °C	
Spektralbereich	1,6 µm		2,3 µm	
Optische Auflösung	75:1		22:1	33:1
Systemgenauigkeit ^{2) 3) 4)}	±(0,3 % T _{Mess} +2°C)			
Reproduzierbarkeit ^{2) 4)}	±(0,1 % T _{Mess} +1 °C)			
Temperaturkoeffizient ⁵⁾	±0,05 K/ K oder ±0,05 %/ K			
NETD ^{4) 6)}	90 mK	160 mK	600 mK	60 mK
Einstellzeit (90 % Signal) ⁷⁾	1 ms			
Emissionsgrad/ Verstärkung	0,100...1,100 (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			
Transmissionsgrad	0,100...1,000 (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			
Signalverarbeitung	Mittelwert, MAX, MIN (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			

¹⁾ T_{Objekt} > T_{Messkopf}+25 °C

²⁾ bei Umgebungstemperatur 23±5 °C; der jeweils größere Wert gilt; Einstellzeit=1s

³⁾ Genauigkeit bei Nutzung des Thermoelement-Ausgangs: ±2,5°C oder ±1%

⁴⁾ ε = 1

⁵⁾ für Umgebungstemperaturen (Messkopf) <18 °C und >28 °C; der jeweils größere Wert gilt

⁶⁾ bei einer Einstellzeit von 1 ms und einer Objekttemperatur=Messbereichsanfang+50 °C

⁷⁾ mit dynamischer Anpassung bei geringen Signalpegeln

	3MH1	3MH2	3MH3	4ML
Temperaturbereich (skalierbar)	150...1000 °C ¹⁾	200...1500 °C ¹⁾	250...1800 °C ¹⁾	0...500 °C
Umgebungstemperatur (Messkopf)	-20...85 °C			0...70 °C
Lagertemperatur (Messkopf)	-40...125 °C			-40...85 °C
Spektralbereich	2,3 µm			2,2-6 µm
Optische Auflösung	75:1			10:1
Systemgenauigkeit ^{2) 3) 4)}	±(0,3 % T _{Mess} +2°C)			
Reproduzierbarkeit ^{2) 3) 4)}	±(0,1 % T _{Mess} +1 °C)			
Temperaturkoeffizient ⁵⁾	±0,05 K/ K oder ±0,05 %/ K			±0,05 K/ K oder ±0,03 %/ K ⁶⁾
NETD ⁴⁾	110 mK ⁷⁾	120 mK ⁷⁾	100 mK ⁷⁾	120 mK ⁸⁾
Einstellzeit (90 % Signal)	1 ms ⁹⁾			300 µs / 90 µs ¹⁰⁾
Emissionsgrad/ Verstärkung	0,100...1,100 (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			
Transmissionsgrad	0,100...1,000 (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			
Signalverarbeitung	Mittelwert, MAX, MIN (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			

¹⁾ Spezifikation gültig bei Objekttemperaturen \geq Messbereichsanfang + 50 °C

²⁾ bei Umgebungstemperatur 23±5 °C; der jeweils größere Wert gilt; Einstellzeit=1s

³⁾ Genauigkeit bei Nutzung des Thermoelement-Ausgangs: ±2,5°C oder ±1%

⁴⁾ $\varepsilon = 1$

⁵⁾ für Umgebungstemperaturen (Messkopf) <18 °C und >28 °C; der jeweils größere Wert gilt

⁶⁾ Für Umgebungstemperaturen >10 °C; es gilt der jeweils größere Wert

⁷⁾ bei einer Einstellzeit von 1 ms und einer Objekttemperatur=Messbereichsanfang+50 °C

⁸⁾ Bei Einstellzeit 1 ms und T_{Obj} = 50 °C ⁹⁾ mit dynamischer Anpassung bei geringen Signalpegeln ¹⁰⁾ 90 µs Erfassungszeit

2.6 Messtechnische Spezifikation [G5/ P3/ P7-Modelle]

	G5L	G5H	P3	P7
Temperaturbereich (skalierbar)	100...1200 °C	250...1650 °C	50...400 °C	0...710 °C
Umgebungstemperatur (Messkopf)	-20...85 °C		0...75 °C	-20...85 °C
Lagertemperatur (Messkopf)	-40...85 °C			
Spektralbereich	5,0 µm		3,43 µm	7,9 µm
Optische Auflösung	10:1	20:1	15:1	10:1
Systemgenauigkeit ¹⁾²⁾³⁾	±2 °C oder ±1 %		±3 °C oder ±1 %	±1,5 °C oder ±1 %
Reproduzierbarkeit ¹⁾³⁾	±0,5 °C oder ±0,5 %		±1,5 °C	±0,5 °C oder ±0,5 %
Temperaturkoeffizient ⁴⁾	±0,05 K/ K oder ±0,05 %/ K (es gilt der jeweils größere Wert)			
NETD ³⁾⁵⁾	100 mK	200 mK	140 mK	50 mK
Einstellzeit (90 % Signal)	120 ms	80 ms	100 ms	150 ms
Emissionsgrad/ Verstärkung	0,100...1,100 (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			
Transmissionsgrad	0,100...1,000 (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			
Signalverarbeitung	Mittelwert, MAX, MIN (einstellbar über Programmier Tasten oder Software)			

¹⁾ bei Umgebungstemperatur 23±5 °C; der jeweils größere Wert gilt; Einstellzeit=1s

²⁾ Genauigkeit bei Nutzung des Thermoelement-Ausgangs: ±2,5°C oder ±1%

³⁾ $\epsilon = 1$

⁴⁾ für Umgebungstemperaturen (Messkopf) <18 °C und >28 °C

⁵⁾ bei einer Einstellzeit von 200 ms und einer Objekttemperatur=Messbereichsanfang+50 °C

2.7 Optische Diagramme

Die folgenden optischen Diagramme zeigen den Durchmesser des Messflecks in Abhängigkeit von der Messentfernung. Die Messfleckgröße bezieht sich auf **90% der Strahlungsenergie**.

Die Entfernung wird jeweils von der Vorderkante des Messkopfes gemessen.

Alternativ zu den optischen Diagrammen kann auch der [Messfleck-Kalkulator](#) auf der Optris Internetseite verwendet werden oder die [Optris Optikkalkulator App](#). Die App kann kostenlos im Google Play Store (siehe QR Code) heruntergeladen werden.



D = Entfernung von der Vorderkante des Gerätes zum Messobjekt

S = Messfleckgröße



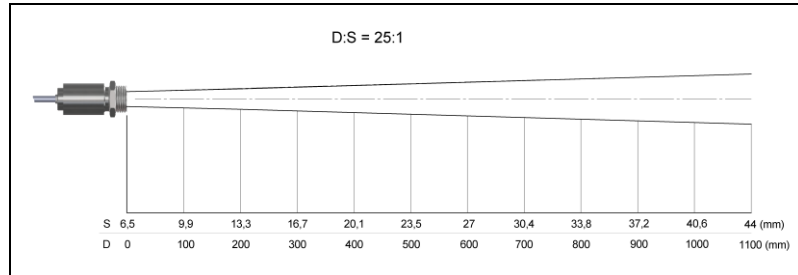
Die Größe des zu messenden Objektes und die optische Auflösung des IR-Thermometers bestimmen den Maximalabstand zwischen Messkopf und Objekt.

Zur Vermeidung von Messfehlern sollte das Messobjekt das Gesichtsfeld der Messkopfoptik vollständig ausfüllen.

Das bedeutet, der Messfleck muss immer mindestens **gleich groß wie** oder **kleiner als** das Messobjekt sein.

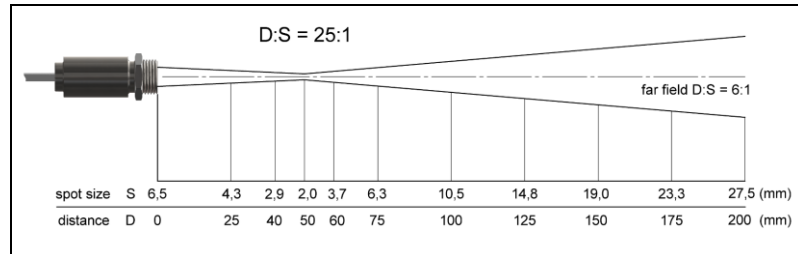
LT25F

Optik: SF
 D:S: 25:1



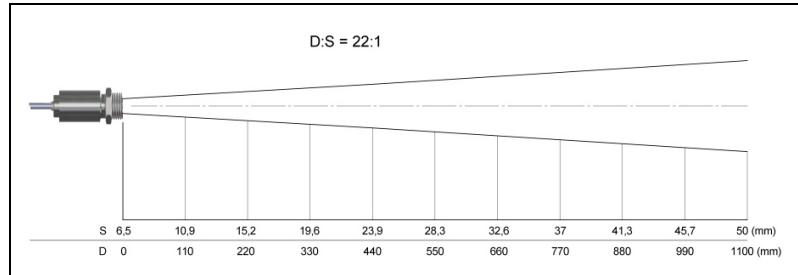
LT25F

Optik: CF
 D:S: 25:1
 2,0mm@ 50mm
 D:S (Fernfeld) = 6:1

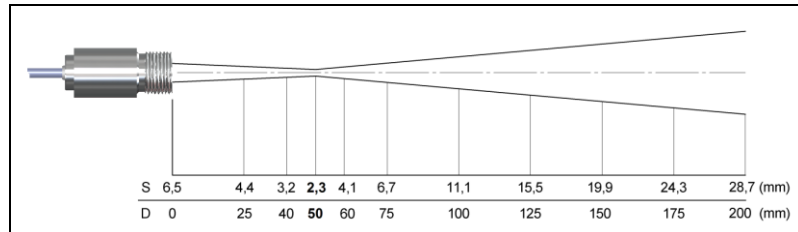


LT22

Optik: SF
D:S: 22:1

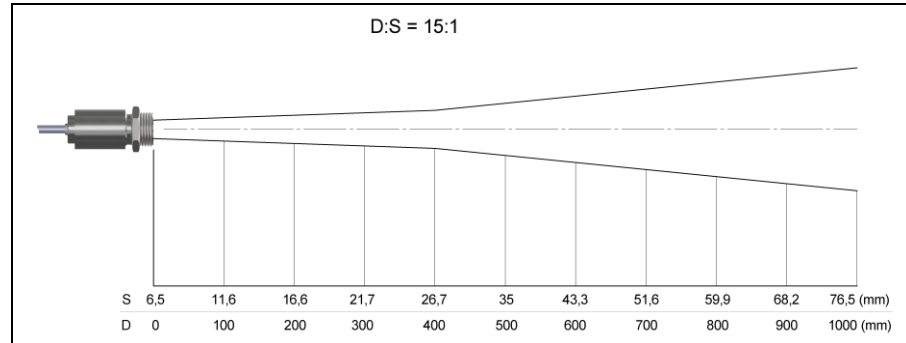
**LT22**

Optik: CF
D:S: 22:1
2,3mm@ 50mm
D:S (Fernfeld) = 6:1



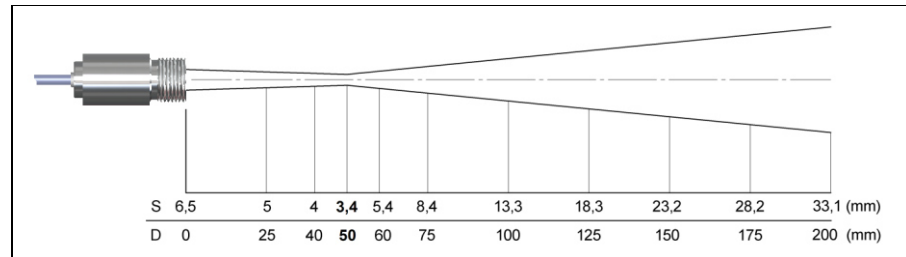
LT15 **LT15F**

Optik: SF
D:S: 15:1



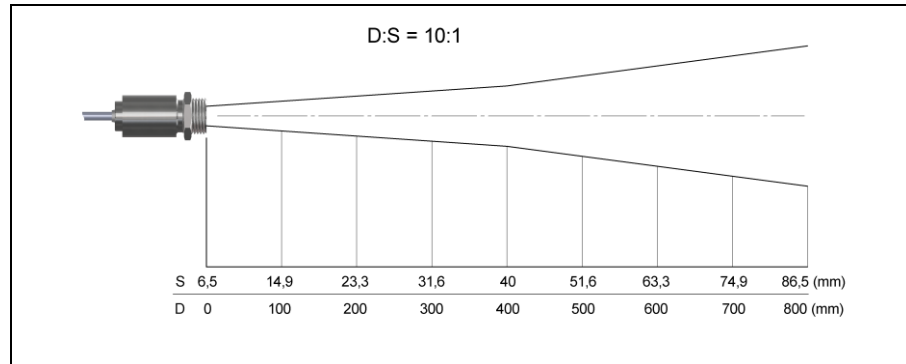
LT15 **LT15F**

Optik: CF
D:S: 15:1
3,0mm@ 50mm
D:S (Fernfeld) = 5:1



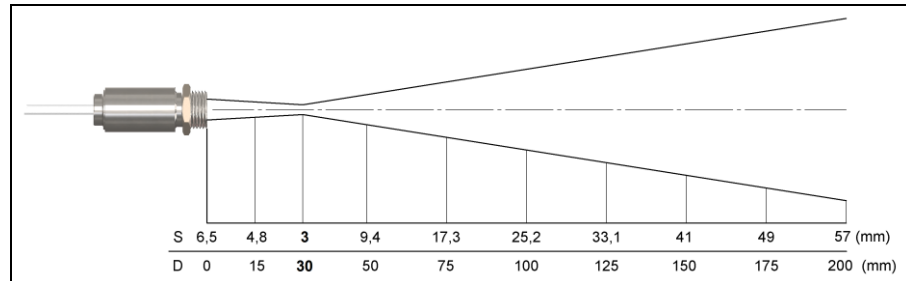
LT10H **4ML** **G5L** **P7**

Optik: SF
D:S: 10:1



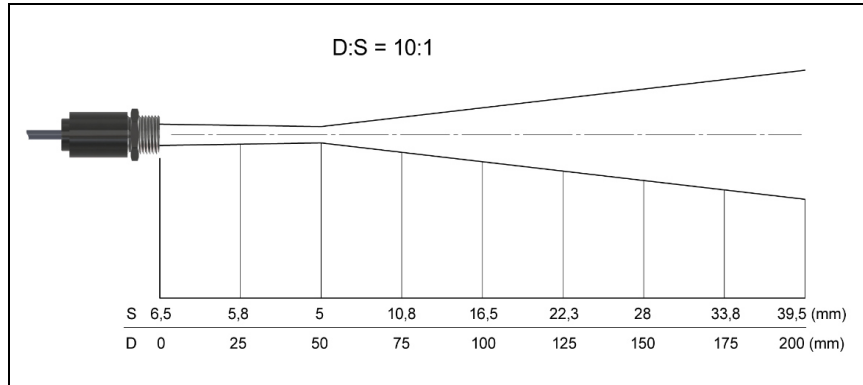
LT10H

Optik: CF1
D:S: 10:1
3,0mm@ 30mm
D:S (Fernfeld) = 3:1



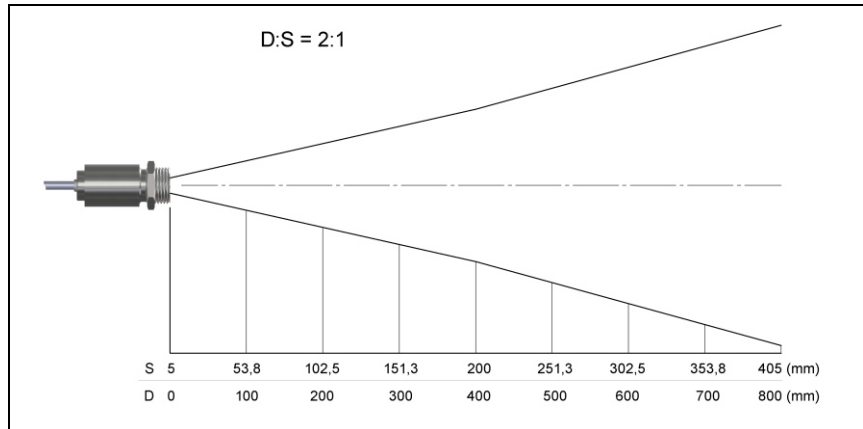
4ML

Optik: CF
 D:S: 10:1
 5,0mm@ 50mm
 D:S (Fernfeld) = 4:1



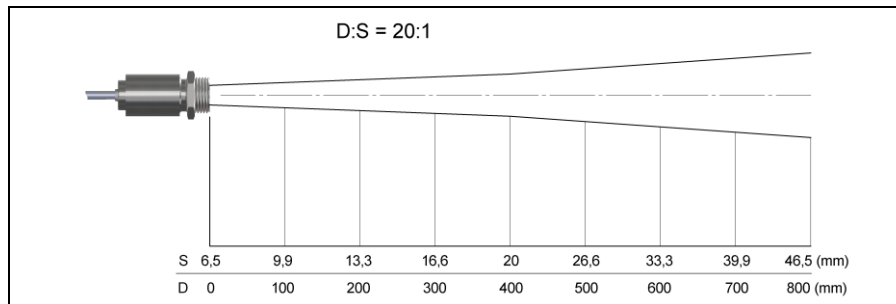
LT02 **LT02H**

Optik: SF
 D:S: 2:1

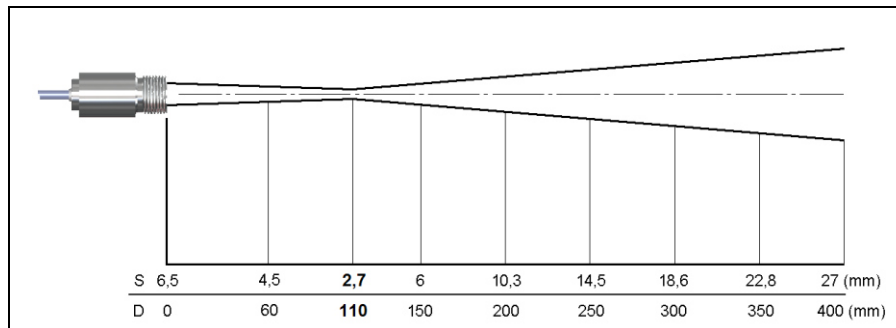


G5H

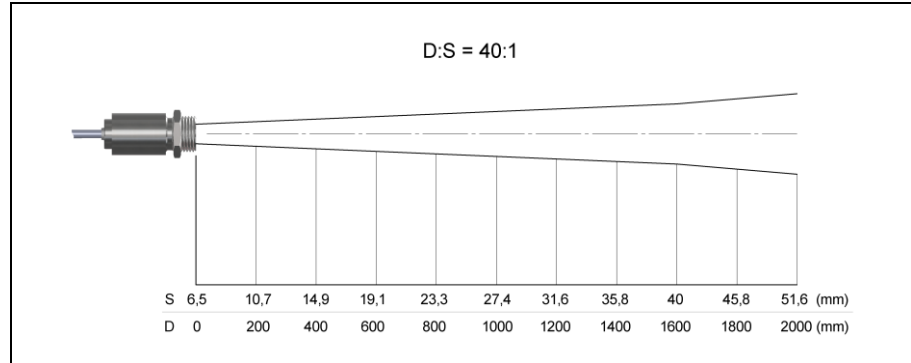
Optik: SF
 D:S: 20:1

**1ML****2ML**

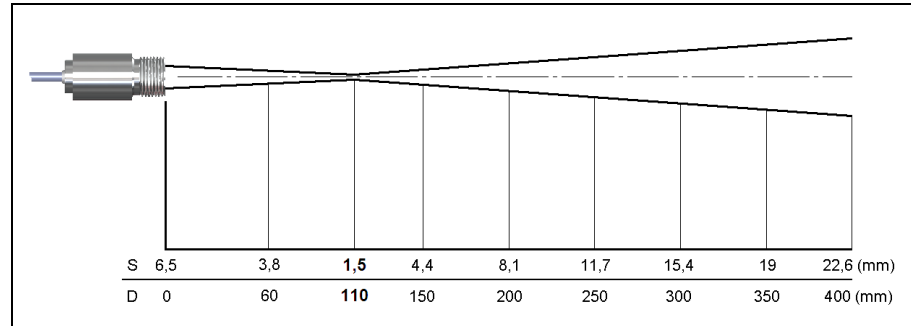
Optik: CF
 D:S: 40:1
 2,7mm@ 110mm
 D:S (Fernfeld) = 12:1



1ML **2ML**
Optik: SF
D:S: 40:1



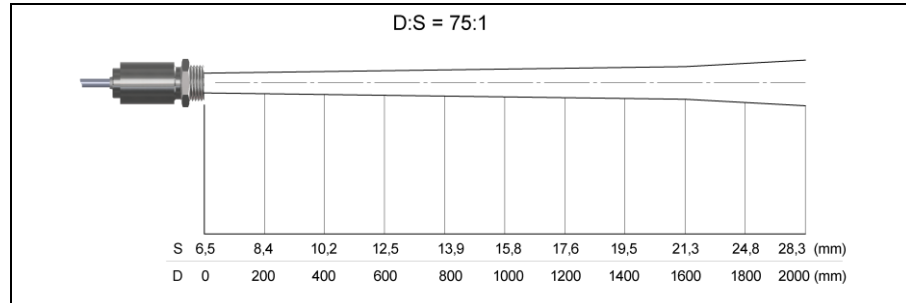
1MH **1MH1** **2MH**
2MH1 **3MH1-H3**
Optik: CF
D:S: 75:1
1,5mm@ 110mm
D:S (Fernfeld) = 14:1



1MH **1MH1** **2MH**

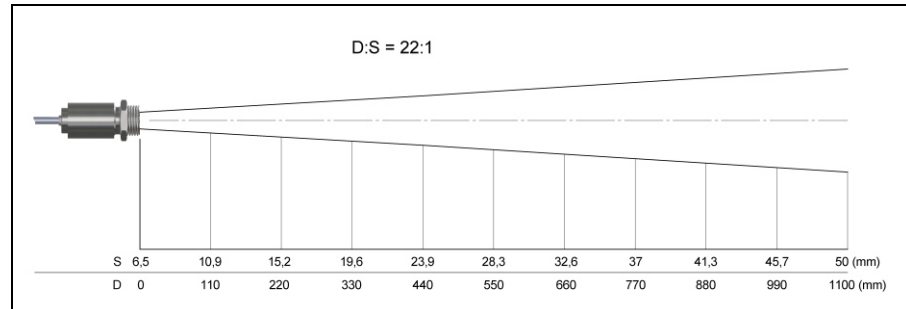
2MH1 **3MH1-H3**

Optik: SF
D:S: 75:1



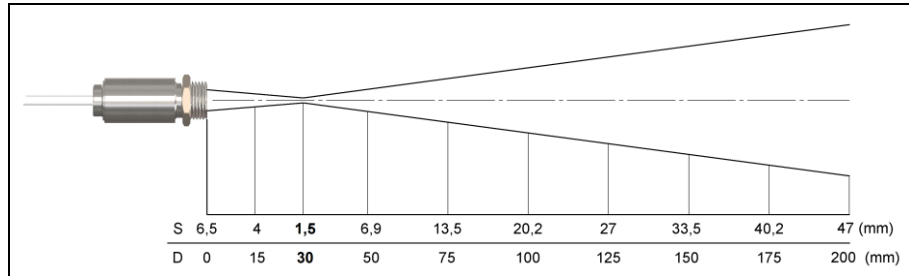
3ML

Optik: SF
D:S: 22:1



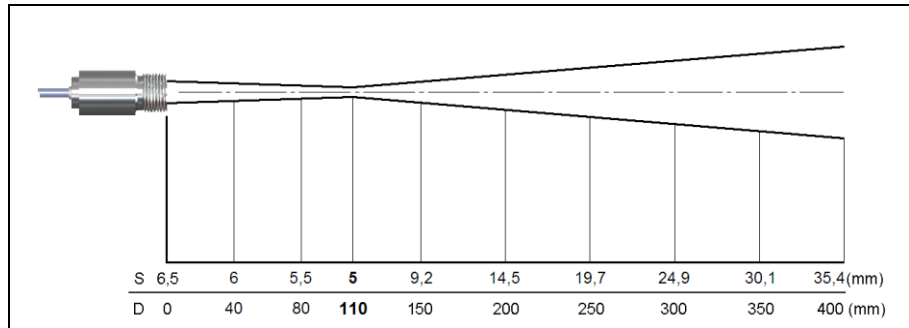
3ML

Optik: CF1
 D:S: 22:1
 1,5mm@ 30mm
 D:S (Fernfeld) = 3,5:1



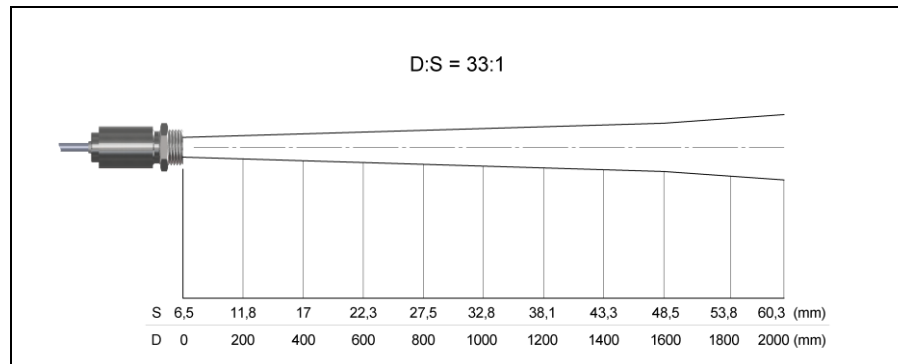
3ML

Optik: CF
 D:S: 22:1
 5mm@ 110mm
 D:S (Fernfeld) = 9:1

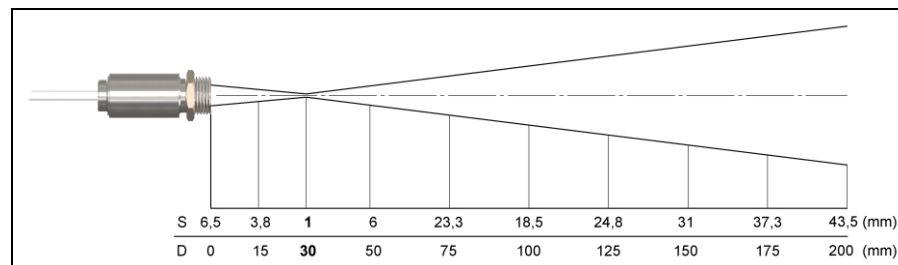


3MH

Optik: SF
 D:S: 33:1

**3MH**

Optik: CF1
 D:S: 33:1
 1,0mm@ 30mm
 D:S (Fernfeld) = 4:1



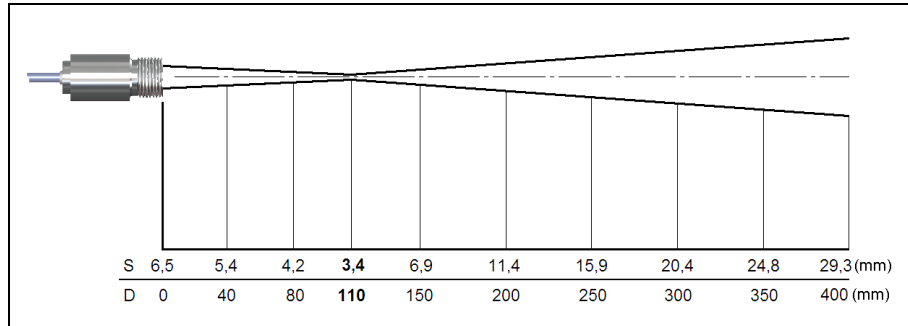
3MH

Optik: CF

D:S: 33:1

3,4mm@ 110mm

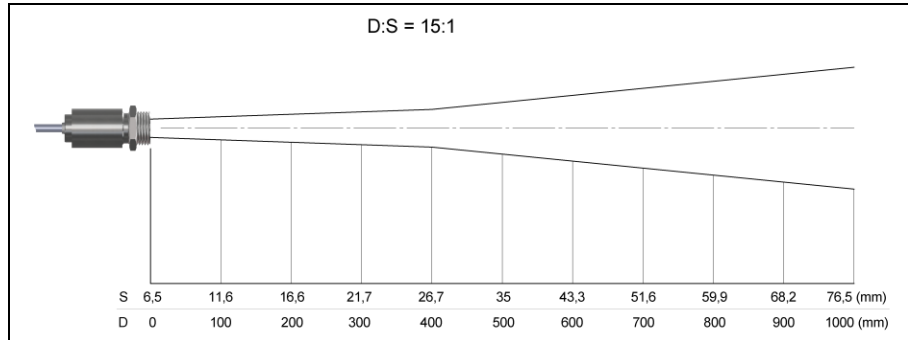
D:S (Fernfeld) = 11:1



P3

Optik: SF

D:S: 15:1



2.8 CF-Vorsatzoptik und Schutzfenster

Die CF-Vorsatzoptik (optional) ermöglicht die Messung kleinster Objekte und kann in Kombination mit den Modellen LT, 1M, 2M, 3M und 4M verwendet werden. Der minimale Messfleck ist abhängig von dem verwendeten Messkopf. Die Entfernung wird jeweils von der Vorderkante des CF-Linsenhalters bzw. Laminar-Freiblasvorsatzes gemessen.

Die Montage auf dem Messkopf erfolgt durch Aufschrauben der Vorsatzoptik bis zum Anschlag. Für die Kombination mit dem Massivgehäuse verwenden Sie bitte die Variante mit M12x1-Außengewinde.

Variantenübersicht:

ACCTCF	CF-Vorsatzoptik für Montage auf Messkopf [LT]
ACCTCFHT	CF-Vorsatzoptik für Montage auf Messkopf [1M/ 2M/ 3M]
ACCTCFE	CF-Vorsatzoptik mit Außengewinde zur Montage im Massivgehäuse [LT]
ACCTCFHTE	CF-Vorsatzoptik mit Außengewinde zur Montage im Massivgehäuse [1M/ 2M/ 3M]

Zum Schutz der Messkopfoptik ist ein Schutzfenster erhältlich. Dieses hat die gleichen mechanischen Abmessungen wie die CF-Optik und wird in folgenden Varianten angeboten:

ACCTPW	Schutzfenster für Montage auf Messkopf [LT]
ACCTPWHT	Schutzfenster für Montage auf Messkopf [1M/ 2M/ 3M]
ACCTPWE	Schutzfenster mit Außengewinde zur Montage im Massivgehäuse [LT]
ACCTPWHT E	Schutzfenster mit Außengewinde zur Montage im Massivgehäuse [1M/ 2M/ 3M]

Typische Transmissionswerte* bei Verwendung der CF-Vorsatzoptik (Mittelwerte):

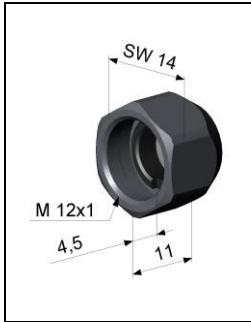
LT	0,78
1M	0,80
2M	0,87
3M	0,92
4M	0,93

* Abweichungen möglich

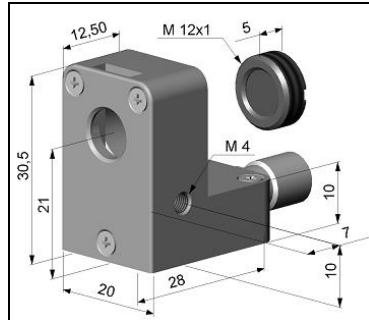
Typische Transmissionswerte* bei Verwendung des Schutzfensters (Mittelwerte):

LT	0,83
1M/ 2M/ 3M	0,93
4M	0,92

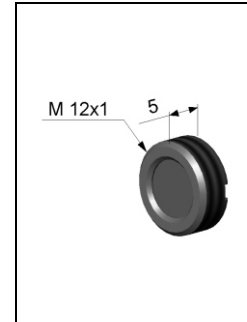
* Abweichungen möglich



CF-Vorsatzoptik:
ACCTCF/ ACCTCFHT
Schutzfenster
ACCTPWHT



Laminar-Freiblasvorsatz mit integrierter CF-Optik:
ACCTAPLCF/ ACCTAPLCFHT

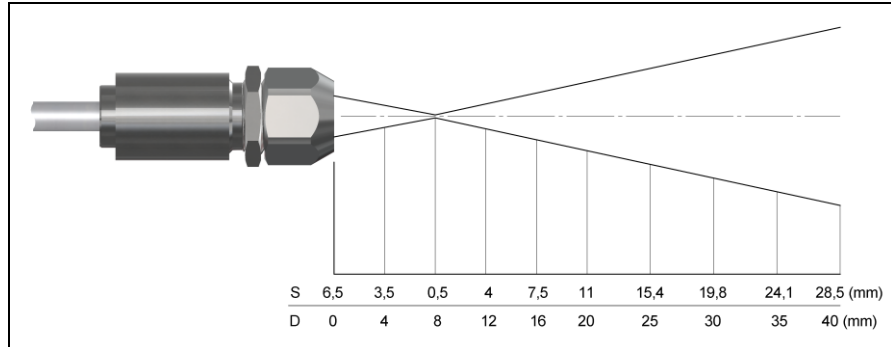


CF-Vorsatzoptik mit Außengewinde:
ACCTCFE/ ACCTCFHTE
Schutzfenster mit Außengewinde:
ACCTPWE/ ACCTPWHT

LT25F + CF-Optik

0,5 mm@ 8 mm
 0,5 mm@ 6 mm [ACCTAPLCF]

D:S (Fernfeld) = 1,6:1

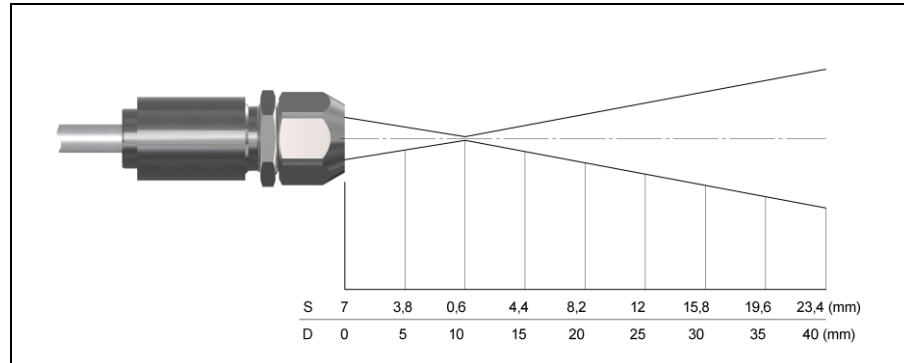


LT22/ 3ML + CF-Optik

0,6 mm@ 10 mm

0,6 mm@ 8 mm [ACCTAPLCF]

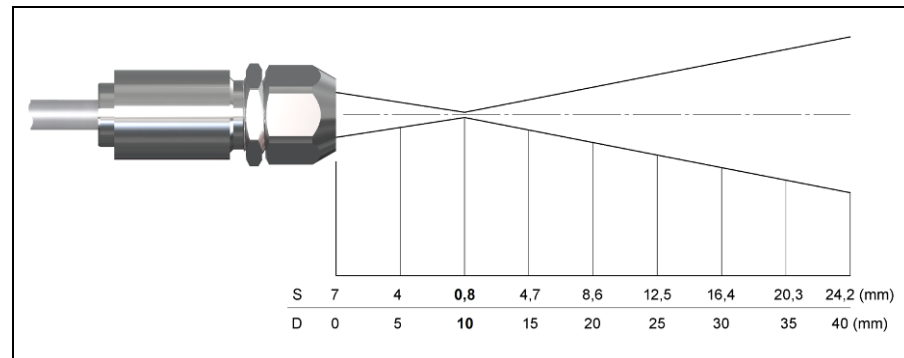
D:S (Fernfeld) = 1,5:1

**LT15/ LT15F + CF-Optik**

0,8 mm@ 10 mm

0,8 mm@ 8 mm [ACCTAPLCF]

D:S (Fernfeld) = 1,5:1

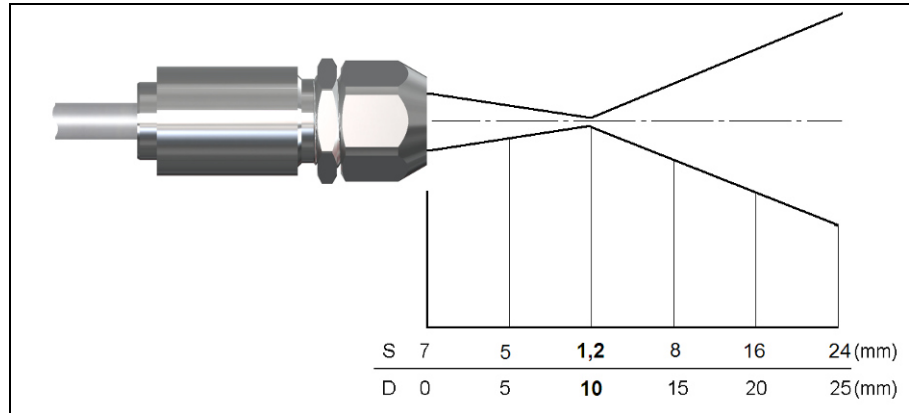


LT10H + CF-Optik

1,2 mm@ 10 mm

1,2 mm@ 8 mm [ACCTAPLCF]

D:S (Fernfeld) = 1,2:1

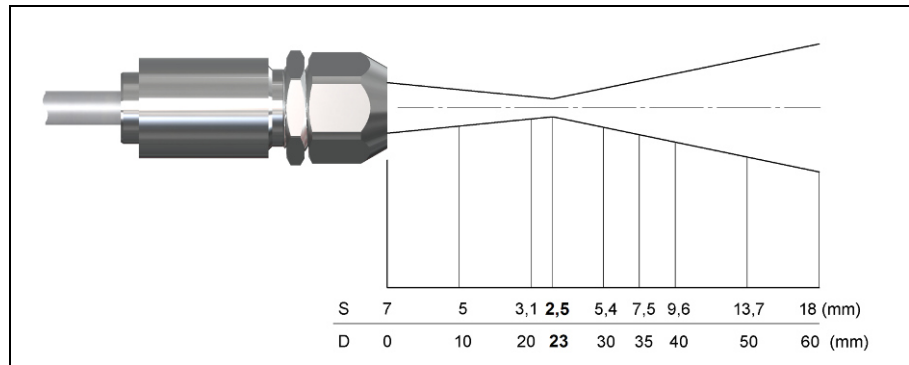


LT02/ LT02H + CF-Optik

2,5 mm@ 23 mm

2,5 mm@ 21 mm [ACCTAPLCF]

D:S (Fernfeld) = 2,5:1

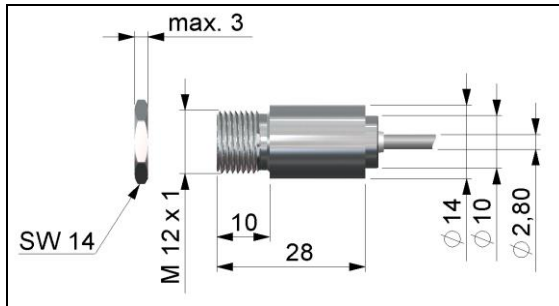


3 Mechanische Installation

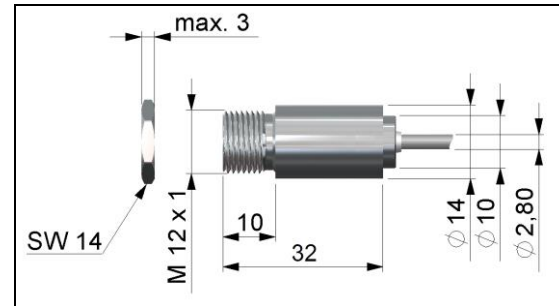
Die CT-Messköpfe verfügen über ein metrisches M12x1-Gewinde und lassen sich entweder direkt über das Sensorgewinde oder mit Hilfe der mitgelieferten Sechskantmutter an vorhandene Montagevorrichtungen installieren. Als Zubehör sind verschiedene Montagewinkel und -vorrichtungen erhältlich, die das Ausrichten des Messkopfes auf das Objekt erleichtern.



Alle Zubehörteile können unter Verwendung der in Klammern [] angegebenen Artikelnummern bestellt werden.

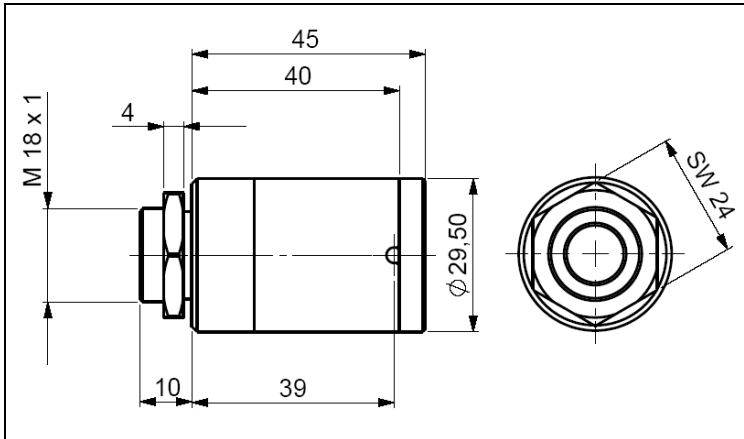


Messkopf



Messkopf LT15CF/ LT22CF/ 3MCF/ CTP7CF

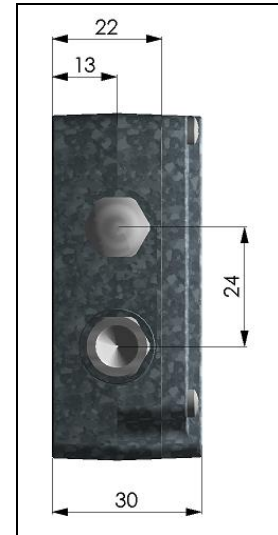
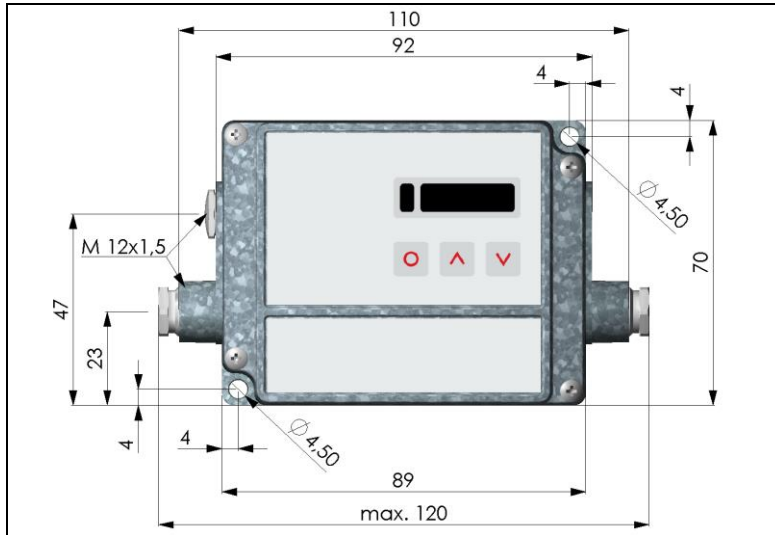
Die CThot- und CT P3/P7-Sensoren werden mit Massivgehäuse geliefert und können über das M18x1-Gewinde installiert werden.



Massivgehäuse (Standard bei CThot, P3 und P7)



Der optische Strahlengang muss frei von jeglichen Hindernissen sein.

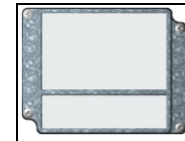


Elektronikbox

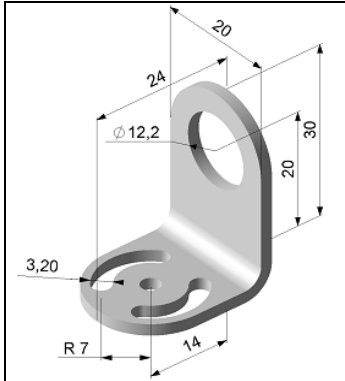
Die Elektronikbox kann wahlweise auch mit geschlossenem Gehäusedeckel (Display und Programmier Tasten von außen nicht zugänglich) bestellt werden [ACCTCOV].



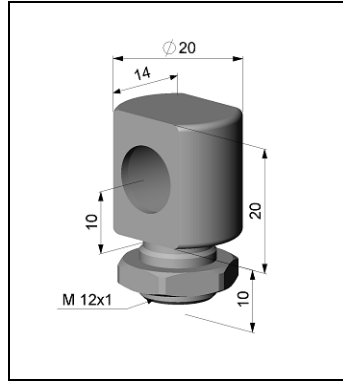
Bei den CT-Modellen LT02, LT02H und LT10H darf das Messkopfkabel während der Messung nicht bewegt werden.



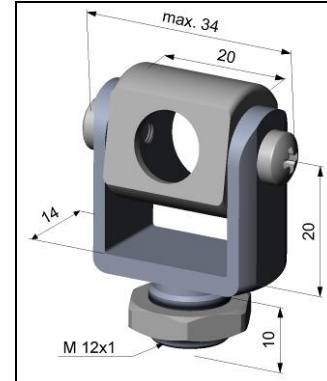
3.1 Montagezubehör



Montagewinkel, justierbar in einer Achse [ACCTFB]



Montagebolzen mit M12x1-Gewinde, justierbar in zwei Achsen [ACCTMB]

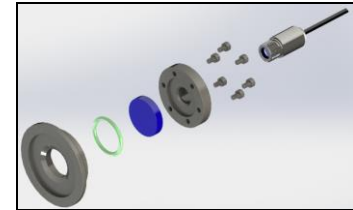
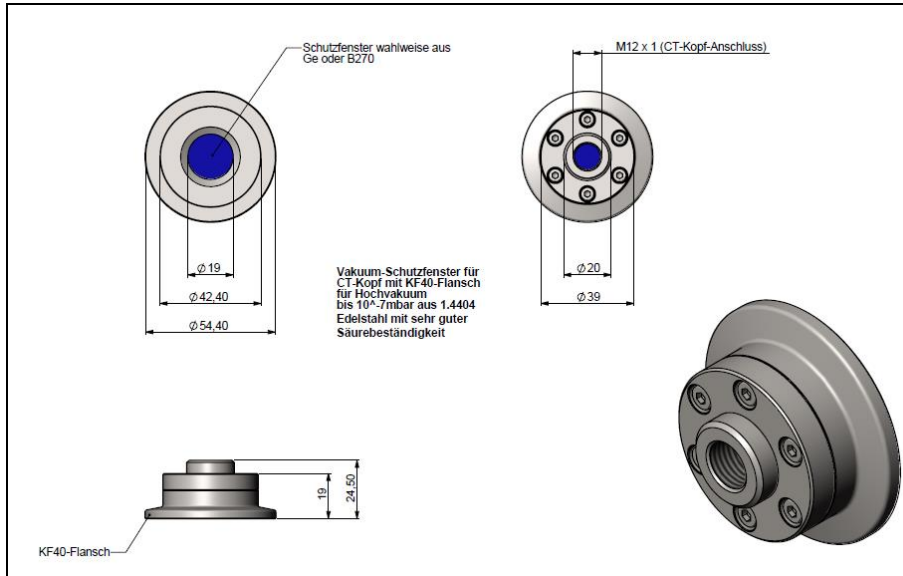


Montagegabel mit M12x1- Gewinde, justierbar in 2 Achsen [ACCTMG]



Montagewinkel, justierbar in zwei Achsen [ACCTAB] bestehend aus: ACCTFB und ACCTMB

Die Montagegabel kann über den M12x1-Fuß mit dem Montagewinkel [ACCTFB] kombiniert werden.



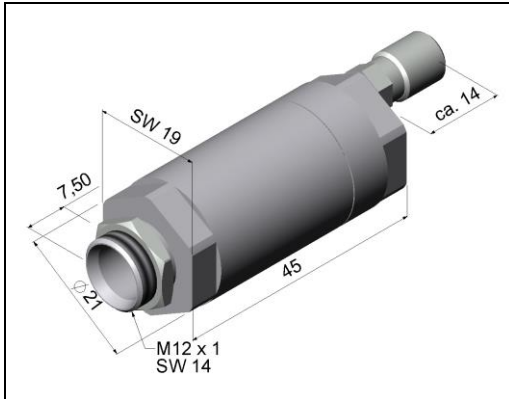
KF40-Flansch [ACCTKF40GE] für CTLT mit Ge-Fenster oder [ACCTKF40B270] für CT1M, 2M, 3M mit B270-Fenster



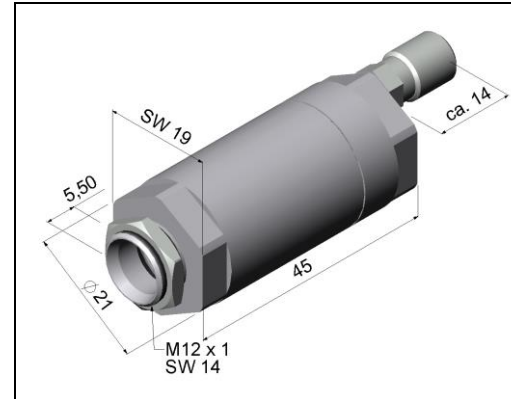
- Beim Wechseln der Fenster müssen die Schrauben bei der Montage mit 1 Nm Anziehdrehmoment angezogen werden.
- Transmission: Ge \approx 0,91 und B270 \approx 0,92 (Abweichungen möglich)

3.2 Freiblasvorsätze

Ablagerungen (Staub, Partikel) auf der Linse sowie Rauch, Dunst und hohe Luftfeuchtigkeit (Kondensation) können zu Fehlmessungen führen. Durch die Nutzung eines Freiblasvorsatzes werden diese Effekte vermieden bzw. reduziert. Achten Sie darauf ölfreie, technisch reine Luft zu verwenden.

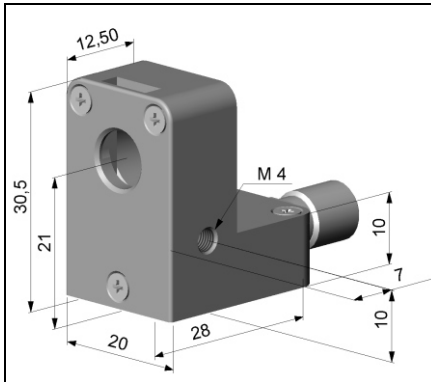


**Standard-Freiblasvorsatz [ACCTAP] für Optiken mit $D:S \geq 10:1$ (nicht für Messköpfe mit 32 mm Länge), kombinierbar mit Montagewinkel
Schlauchanschluss: 3x5 mm
Gewinde (Fitting): M5**



**Standard-Freiblasvorsatz [ACCTAP2] für Optiken mit $D:S \leq 2:1$ (nicht für Messköpfe mit 32 mm Länge), kombinierbar mit Montagewinkel
Schlauchanschluss: 3x5 mm
Gewinde (Fitting): M5**

Die benötigte Luftmenge (ca. 2...10 l/ min.) ist abhängig von der Applikation und den Bedingungen am Installationsort.



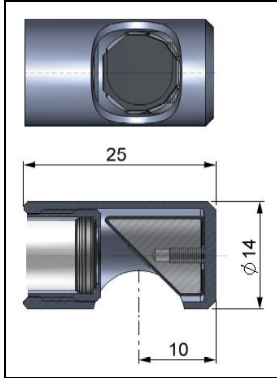
Laminar-Freiblasvorsatz [ACCTAPL]
Der seitliche Luftaustritt verhindert ein Herunterkühlen
des Objektes bei kleinen Messabständen.
Schlauchanschluss: 3x5 mm
Gewinde (Fitting): M5



Laminar-Freiblasvorsatz mit Montagegabel [ACCTAPLMF], justierbar in 2 Achsen

Die benötigte Luftmenge (ca. 2...10 l/ min.) ist abhängig von der Applikation und den Bedingungen am Installationsort.

3.3 Weiteres Zubehör



Rechtwinkel-Spiegelvorsatz [ACCTRAM]

für Optiken mit D:S \geq 10:1;
ermöglicht Messungen im 90°-Winkel zur Sensorachse.

Der Spiegel hat eine Reflexion von 96 % bei Verwendung mit LT22 und LT15 sowie 88 % bei LT15F.

Bei Verwendung des Spiegels muss dieser Wert mit dem Emissionsgrad des Messobjektes multipliziert werden.

Beispiel: LT22 und Objekt mit Emissionsgrad = 0,85

$0,85 \times 0,96 = 0,816$

Im CT muss somit als resultierender Emissionsgrad 0,816 eingestellt werden.



Laser-Visierhilfe [D08ACCTLST]

batteriebetrieben (2x Alkaline AA), zur Ausrichtung von CT-Messköpfen. Der Laserkopf hat die gleichen Abmessungen wie der CT-Messkopf.

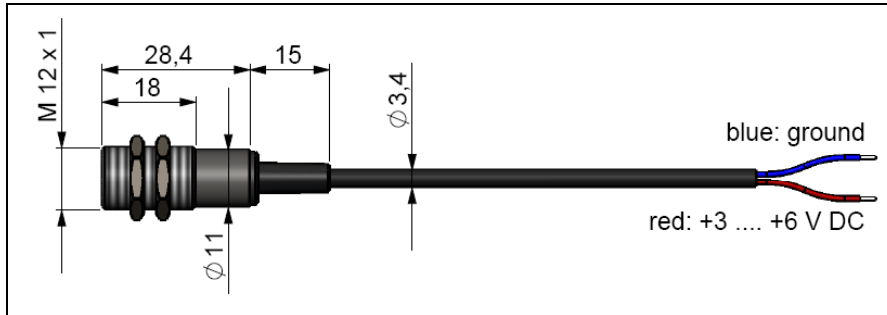
WARNUNG: Zielen Sie mit dem Laser nicht direkt in die Augen von Personen und Tieren! Blicken Sie nicht direkt bzw. indirekt über reflektierende Flächen in den Laserstrahl!



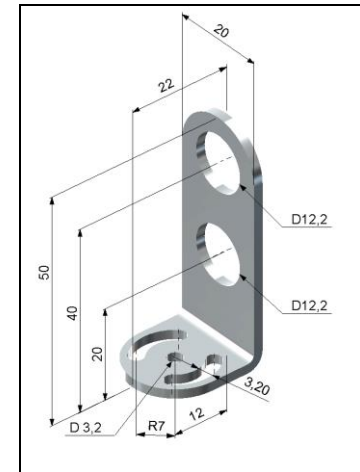
OEM-Laser-Visierhilfe

Die OEM-Laser-Visierhilfe ist mit 3,5 m **[ACCTOEMLST]** und 8 m Anschlusskabel **[ACCTOEMLSTCB8]** lieferbar. Der Laser kann an die Klemmen **3V SW** bzw. **PINK** (nur bei CT 4M) und **GND** **[► 4 Elektrische Installation]** angeschlossen werden und über das Bedienmenü am Gerät oder über die Software ein- und ausgeschaltet werden.

Eine Montage von CT-Messkopf und Laserkopf ist mit dem speziellen Doppellochmontagewinkel **[ACCTFB2]** möglich.

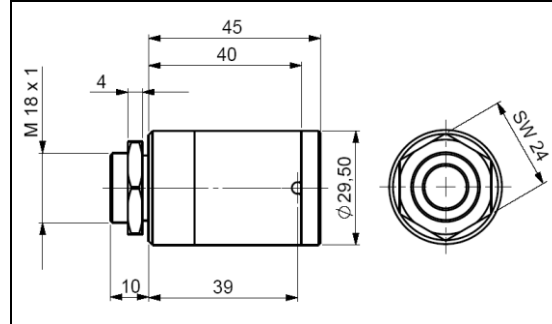


OEM-Laser-Visierhilfe **[ACCTOEMLST bzw. ACCTOEMLSTCB8]**

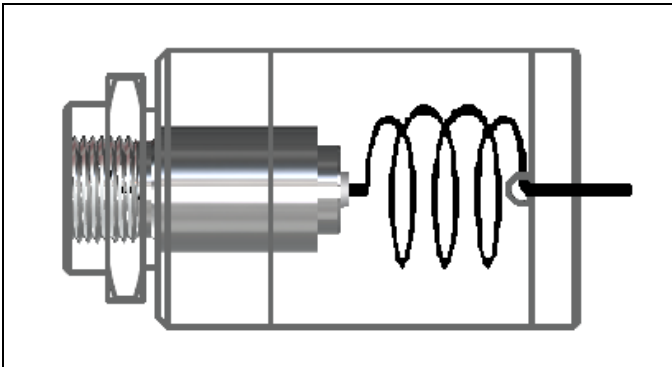


Montagewinkel **[ACCTFB2]**

Massivgehäuse



Massivgehäuse, Edelstahl [D06ACCTMHS] – alternativ auch in Aluminium (eloxiert) oder Messing lieferbar

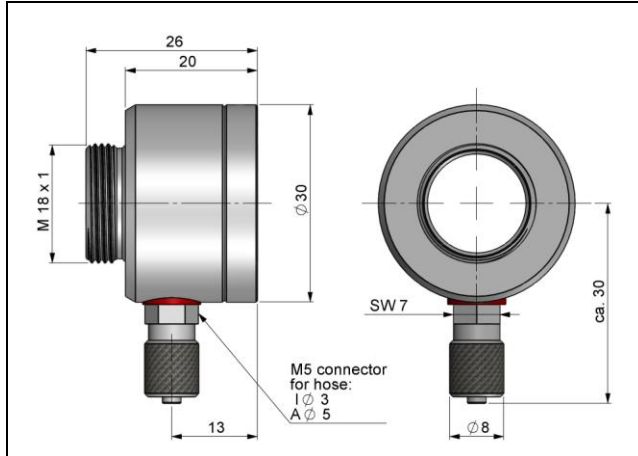


Das Massivgehäuse sorgt bei Applikationen mit dynamisch sich ändernden Umgebungstemperaturen für reproduzierbare und stabile Temperaturmessungen. Es ist kombinierbar mit der CF-Vorsatzoptik [ACCTCFE] oder mit dem Schutzfenster [ACCTPWE].

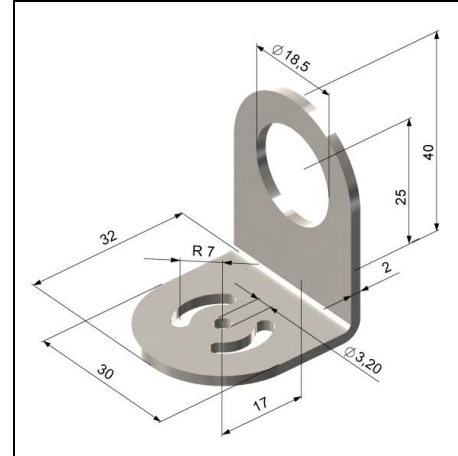
► 2.8 CF-Vorsatzoptik und Schutzfenster

WICHTIG: Um die Eigenschaften des Massivgehäuses optimal zu nutzen, müssen sich ca. 10 cm des Messkopfkabels im Inneren des Gehäuses (in Schlaufen) befinden.

Zubehör für Massivgehäuse



Freiblasvorsatz für Massivgehäuse (Gewinde M18x1)
[ACCTAPMH]



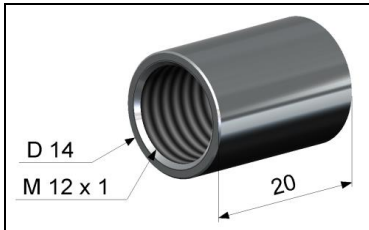
Montagewinkel für Massivgehäuse, justierbar in
einer Achse [ACCTFBMH]

Die benötigte Luftmenge (ca. 2...10 l/ min.) ist abhängig von der Applikation und den Bedingungen am Installationsort.

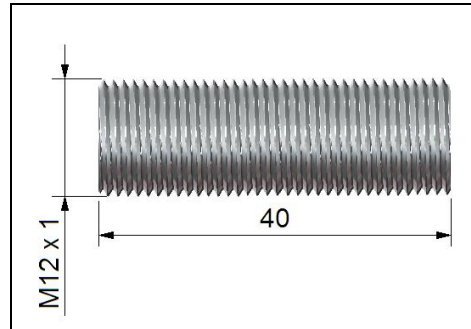
Rohradapter und Reflexionsschutzrohre

Der Rohradapter [ACCTPA] ermöglicht die Montage von Reflexionsschutzrohren am CT-Messkopf. Die Reflexionsschutzrohre sind in 3 unterschiedlichen Längen lieferbar:

ACCTST20	20 mm
ACCTST40	40 mm
ACCTST88	88 mm



Rohradapter [ACCTPA]

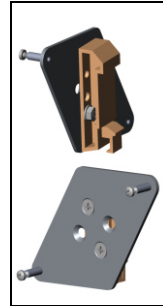
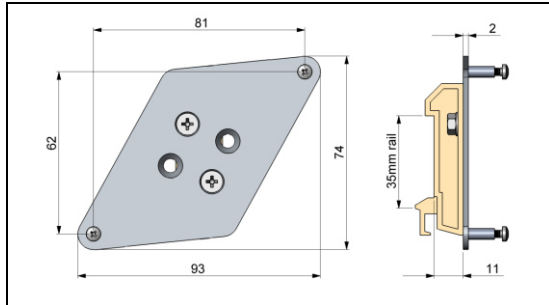


Reflexionsschutzrohr [ACCTST40]

Die Reflexionsschutzrohre sind nur für Messköpfe mit einem Distanz-Messfleck-Verhältnis (D:S) von $\geq 15:1$ geeignet.

Tragschienenmontageplatte für Elektronik-Box

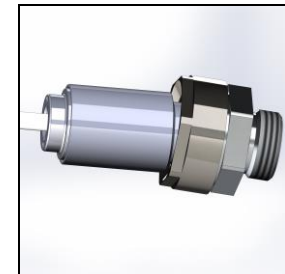
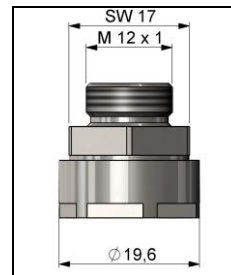
Mit Hilfe der Tragschienenmontageplatte kann die CT-Elektronik an einer Hutschiene nach EN50022 (TS35) montiert werden.



Tragschienenmontageplatte [ACCTRAIL]

Kippgelenk für CT-Messköpfe

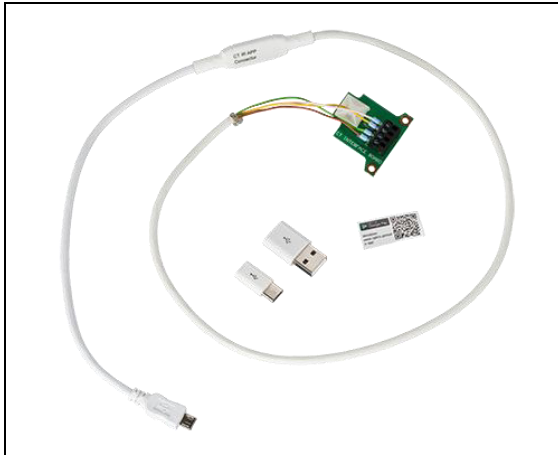
Mit diesem Montagezubehör kann eine Feinjustage des CT-Messkopfes mit einem maximalen Winkel von $\pm 6,5^\circ$ zur mechanischen Achse erfolgen.



Kippgelenk [ACCTTAS]

Zubehör für IRmobile App

Der IR App Connector dient für die Verbindung des Sensors mit einem Smartphone oder Tablet (► **7 IRmobile App**). Das Connector-Kabel kann auch für den Anschluss an einen PC mit der Software CompactConnect/ CompactPlus Connect betrieben werden (► **8 Software CompactConnect/ CompactPlus Connect**).



IR App Connector: USB-Programmieradapter [ACCTIAC (für CT 4M: ACCTMIAC)]

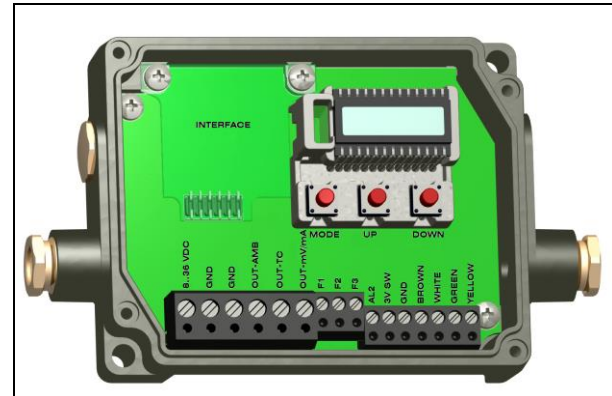
4 Elektrische Installation

4.1 Anschluss der Kabel

Zum Anschluss des CT öffnen Sie bitte zunächst den Deckel der Elektronikbox (4 Schrauben). Im unteren Bereich befinden sich die Schraubklemmen für den Anschluss der Kabel.

4.1.1 Anschlusskennzeichnung [Modelle LT/ G5/ P3/ P7]

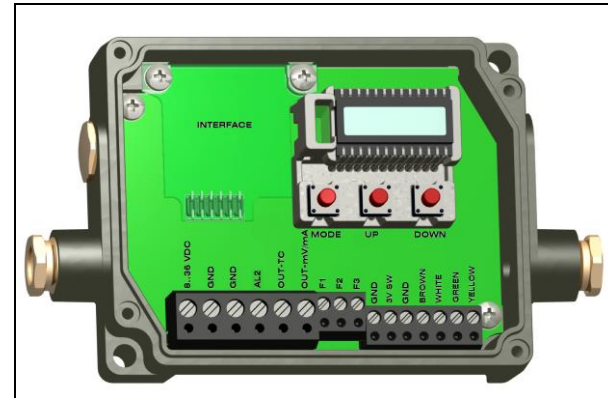
+8...36 VDC	Spannungsversorgung
GND	Masse (0 V) der Spannungsversorgung
GND	Masse (0 V) der internen Ein- und Ausgänge
OUT-AMB	Analogausgang Messkopftemperatur (mV)
OUT-TC	Analogausgang Thermoelement (J oder K)
OUT-mV/mA	Analogausgang Objekttemperatur (mV oder mA)
F1-F3	Funktionseingänge
AL2	Alarm 2 (Open-collector Ausgang)
3V SW	3 VDC, schaltbar, für Laser-Visierhilfe
GND	Masse (0 V) für Laser-Visierhilfe
BROWN	Temperaturfühler Messkopf
WHITE	Temperaturfühler Messkopf
GREEN	Detektorsignal (-)
YELLOW	Detektorsignal (+)



Geöffnete Elektronik-Box (LT/ G5/ P3/ P7) mit Anschlussklemmen

4.1.2 Anschlusskennzeichnung [Modelle 1M/ 2M/ 3M]

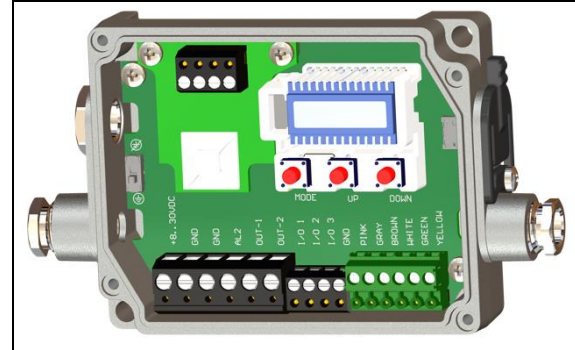
+8...36 VDC	Spannungsversorgung
GND	Masse (0 V) der Spannungsversorgung
GND	Masse (0 V) der internen Ein- und Ausgänge
AL2	Alarm 2 (Open-collector Ausgang)
OUT-TC	Analogausgang Thermoelement (J oder K)
OUT-mV/mA	Analogausgang Objekttemperatur (mV oder mA)
F1-F3	Funktionseingänge
GND	Masse (0 V)
3V SW	3 VDC, schaltbar, für Laser-Visierhilfe
BROWN	Temperaturfühler Messkopf (NTC)
WHITE	Masse Messkopf
GREEN	Spannungsversorgung Messkopf
YELLOW	Detektorsignal



Geöffnete Elektronik-Box (1M/ 2M/ 3M) mit Anschlussklemmen

4.1.3 Anschlusskennzeichnung [Modelle 4M]

+8...30 VDC	Spannungsversorgung
GND	Masse (0 V) der Spannungsversorgung
GND	Masse (0 V) der internen Ein- und Ausgänge
AL2	Alarm 2 (Open-collector Ausgang)
OUT-1	Analogausgang mA, mV, TCK
OUT-2	Analogausgang mA, mV, TCK
I/O1-I/O3	Ein- und Ausgänge
GND	Masse (0 V)
Pink	3 VDC, schaltbar, für Laser-Visierhilfe
Gray	Masse für Pin-Pink
BROWN	Temperaturfühler Messkopf (NTC)
WHITE	Masse Messkopf
GREEN	Spannungsversorgung Messkopf
YELLOW	Detektorsignal



Geöffnete Elektronik-Box (4M) mit Anschlussklemmen

Das mitgelieferte USB-Kabel kann an der Seite von der Elektronikbox angeschlossen werden. Über die Software CompactPlus Connect oder der IRmobile App kann das Gerät direkt betrieben werden.





Die seitlich eingebaute USB-Buchse ist nur für Setup und Service gedacht und nicht für einen Dauereinsatz.

4.1.4 Spannungsversorgung

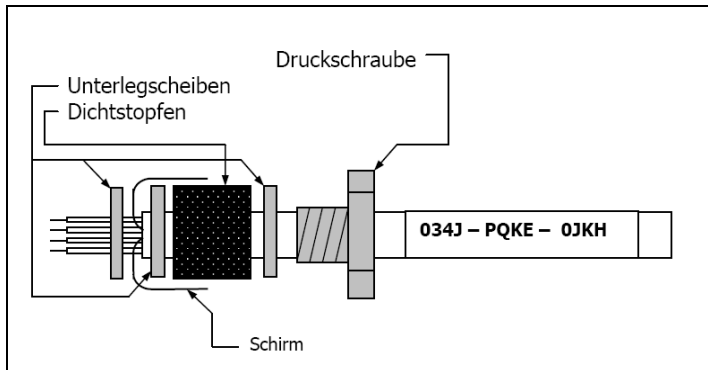
Bitte verwenden Sie ein stabilisiertes Netzteil mit einer Ausgangsspannung im Bereich von **8–36 VDC** (**CT 4M: 8–30 VDC**), welches einen Strom von **100 mA** liefert. Die Restwelligkeit sollte max. **200 mV** betragen.



An die Analogausgänge darf auf keinen Fall eine Spannung angelegt werden, da dies zur Zerstörung des Ausgangs führt!
Der CT ist kein Zweileitersensor!

4.1.5 Kabelmontage

Die vorhandene Kabelverschraubung M12x1,5 der Elektronikbox eignet sich für Kabel mit einem Außendurchmesser von 3 bis 5 mm. Entfernen Sie die Kabelisolierung (40 mm Stromversorgung, 50 mm Signalausgänge, 60 mm Funktionseingänge). Kürzen Sie das Schirmgeflecht auf ca. 5 mm und entflechten Sie die Schirmdrähte. Entfernen Sie ca. 4 mm der einzelnen Aderisolierungen und verzinnen Sie die Aderenden. Schieben Sie nacheinander die Druckschraube, Unterlegscheiben, Gummidichtung der Kabelverschraubung entsprechend der Abbildung über das vorbereitete Kabelende. Spreizen Sie das Schirmgeflecht auseinander und fixieren Sie den Kabelschirm zwischen zwei Metallscheiben. Führen Sie das Kabel in die Kabelverschraubung bis zum Anschlag ein. Schrauben Sie die Kappe fest an. Die einzelnen Adern können nun entsprechend ihren Farben in die vorgesehenen Schraubklemmen befestigt werden.



Es dürfen nur abgeschirmte Kabel verwendet werden. Der Schirm des Sensors muss geerdet sein.

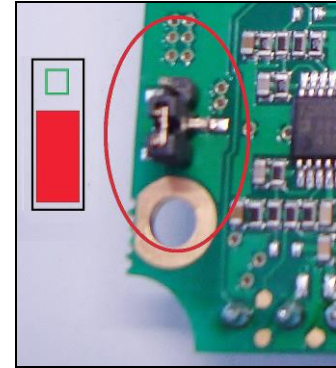
4.2 Masseverbindung

4.2.1 1M, 2M, 3M Modelle

Auf der Unterseite der Mainboard-Platine finden Sie einen Steckverbinder (Jumper), welcher werksseitig wie im Bild ersichtlich platziert ist [**unterer** und **mittlerer** Pin verbunden]. In dieser Position sind die Masse-klemmen (GND Versorgungsspannung/ Ausgang) mit der Gehäusemasse der Elektronikbox verbunden.

Um Masseschleifen und damit verbundene Signalstörungen zu vermeiden, ist in industrieller Umgebung ggf. ein Auftrennen dieser Verbindung erforderlich. Stecken Sie dazu den Jumper bitte in die andere Position [**mittlerer** und **oberer** Pin verbunden].

Bei Verwendung des Thermoelementausgangs empfiehlt sich generell ein Auftrennen der Masseverbindung GND – Gehäuse.



4.2.2 4M Modell

Auf der linken Seite der Mainboard-Platine finden Sie einen schwarzen Schalter, welcher werksseitig die Masseklemmen (GND Versorgungsspannung/ Ausgang) mit der Gehäusemasse der Elektronikbox verbindet.

Um Masseschleifen und damit verbundene Signalstörungen zu vermeiden, ist in industrieller Umgebung ggf. ein Auftrennen dieser Verbindung erforderlich. Dazu muss der Schalter umgestellt werden.

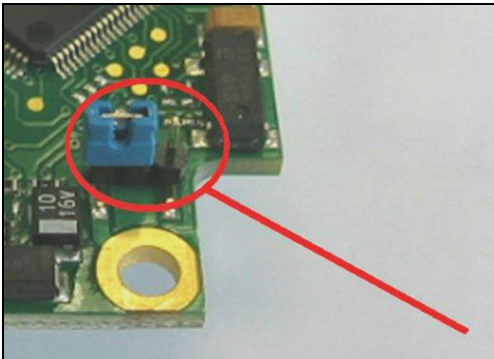


4.2.3 LT, LTF, LTH, G5, P3, P7 Modelle

Auf der Unterseite der Mainboard-Platine finden Sie einen Steckverbinder (Jumper), welcher werksseitig wie im Bild ersichtlich platziert ist [**linker** und **mittlerer** Pin verbunden]. In dieser Position sind die Masseklemmen (GND Versorgungsspannung/ Ausgang) mit der Gehäusemasse der Elektronikbox verbunden.

Um Masseschleifen und damit verbundene Signalstörungen zu vermeiden, ist in industrieller Umgebung ggf. ein Auftrennen dieser Verbindung erforderlich. Stecken Sie dazu den Jumper bitte in die andere Position [**mittlerer** und **rechter** Pin verbunden].

Bei Verwendung des Thermoelementausgangs empfiehlt sich generell ein Auftrennen der Masseverbindung GND – Gehäuse.



4.3 Austauschen des Messkopfes

Werkseitig ist das Messkopfkabel bereits an die Elektronikbox angeschlossen und der Kalibriercode eingegeben. Innerhalb einer bestimmten Modellgruppe ist ein beliebiger Austausch von Messköpfen und Elektroniken möglich. Die Messköpfe und Elektroniken der **CTfast-Modelle (LT15F und LT25F)** und **CT 4M** können nicht ausgetauscht werden.

Bei Montage eines neuen Messkopfes muss der Kalibriercode des neuen Kopfes in die Elektronik eingegeben werden.

4.3.1 Eingabe des Kalibriercodes

Jeder Kopf hat einen spezifischen Kalibrier-Code, welcher auf dem Messkopfkabel vermerkt ist. Für eine korrekte Temperaturmessung und Funktionsweise des Sensors müssen diese Messkopfdaten in der Elektronik abgespeichert werden. Der Kalibriercode besteht aus **3 Blöcken** (1M, 2M, 3M = 5 Blöcke) mit jeweils **4 Zeichen**.



Beispiel: **A6FG** - **22KB** - **0AS0**
 1.Block 2.Block 3.Block

Zur Eingabe des Codes betätigen Sie bitte die **Auf**- und **Ab**-Taste (beide gedrückt halten) und **dann** die **Mode**-Taste. Im Display erscheint **HCODE** und danach die 4 Zeichen des ersten Blocks. Mit **Auf** und **Ab** können die einzelnen Stellen geändert werden; **Mode** wechselt zum nächsten Zeichen bzw. zum nächsten Block.

Die Eingabe eines neuen Kalibriercodes kann ebenfalls über die Software CompactConnect (optional) erfolgen.



Der Kalibriercode befindet sich auf einem Label am Messkopfkabel (in der Nähe der Elektronikbox). Entfernen Sie dieses Label nicht bzw. notieren Sie sich den Code, da dieser bei einem Tausch der Elektronik bzw. bei einer eventuell notwendigen Kalibrierung des Sensors benötigt wird.



Nach Modifikation des Kopf-Kalibriercodes ist ein Reset nötig, um die Änderungen zu aktivieren.
[▶ **6 Bedienung**]

4.3.2 Messkopfkabel

Bei allen CT-Modellen (**Ausnahme 3M, P3, P7**) kann das Messkopfkabel bei Bedarf gekürzt werden. Bei den Modellen **1M, 2M** und **CTfast** kann das Messkopfkabel um maximal **3 m** gekürzt werden. Ein Kürzen des Kabels verursacht einen zusätzlichen Messfehler von ca. **0,1 K/ m**. Die **3M**-Modelle werden ausschließlich mit **3 m** Kabel geliefert.



Bei den CT-Modellen LT02, LT02H und LT10H darf das Messkopfkabel während der Messung nicht bewegt werden.

5 Aus- und Eingänge

5.1 Analogausgänge

Der CT hat zwei Ausgabekanäle. Beim CT 4M sind die Ausgänge frei wählbar.

ACHTUNG: An die Analogausgänge darf auf keinen Fall eine Spannung angelegt werden, da dies zur Zerstörung des Ausgangs führt. Der CT ist kein Zweileitersensor!

5.1.1 Ausgabekanal 1

Dieser Ausgang wird für die Ausgabe der Objekttemperatur genutzt. Die Auswahl des Ausgabesignals erfolgt über die Programmier Tasten [**► 6 Bedienung**]. Über die Software kann der Ausgabekanal 1 auch als Alarmausgang programmiert werden.

Ausgabesignal	Bereich	Anschluss-Pin auf CT-Platine
Spannung	0 ... 5 V	OUT-mV/mA
Spannung	0 ... 10 V	OUT-mV/mA
Strom	0 ... 20 mA	OUT-mV/mA
Strom	4 ... 20 mA	OUT-mV/mA
Thermoelement	TC J	OUT-TC (nicht für CT 4M)
Thermoelement	TC K	OUT-TC

Beachten Sie bitte, dass je nach verwendetem Ausgang unterschiedliche Anschluss-Pins (**OUT-mV/mA** oder **OUT-TC**) verwendet werden.

5.1.2 Ausgabekanal 2 [nur LT/ G5/ P3/ P7]

Am Anschluss-Pin OUT-AMB wird die Messkopftemperatur **[-20-180 °C bzw. -20-250 °C (bei LT02H und LT10H) als 0-5 V oder 0-10 V-Signal]** ausgegeben. Über die Software kann der Ausgabekanal 2 auch als Alarmausgang programmiert werden. Hierbei können anstelle der Messkopftemperatur T_{Kopf} auch die Objekttemperatur T_{Objekt} oder Elektronikboxtemperatur T_{Box} als Alarmquelle genutzt werden.

Beide Relais sind vollkommen isoliert ausgelegt und können mit maximal 60 VDC/ 42 VAC_{eff}, 0,4 A DC/AC schalten. Eine rote LED signalisiert jeweils einen geschlossenen Relaiskontakt.



Die Schaltpunkte entsprechen den Werten für Alarm 1 und 2 [► **5.6 Alarme**] und sind gemäß der ► **1.6 Werksvoreinstellung** gesetzt.
Für erweiterte Einstellungen (Änderung Low- und High-Alarm) wird eine Digitalschnittstelle (USB, RS232) und die Software benötigt.

5.4 Funktionseingänge (nicht für CT 4M)

Die drei Funktionseingänge F1 bis F3 können ausschließlich über die Software programmiert werden.

- F1 (digital):** Trigger (ein 0 V – Pegel an F1 setzt die Haltefunktionen zurück)
- F2 (analog):** Emissionsgrad extern [0–10 V: 0 V ► $\varepsilon = 0,1$; 9 V ► $\varepsilon = 1$; 10 V ► $\varepsilon = 1,1$]
- F3 (analog):** externe Umgebungstemperaturkompensation/ der Bereich ist über die Software CompactConnect skalierbar [0–10 V ► -40-900 °C/ voreingestellter Bereich: -20-200 °C]
- F1-F3 (digital):** Emissionsgrad (digitale Auswahl über Tabelle)

Ein nicht beschalteter Eingang wird wie folgt bewertet:

F1 = High-Pegel | F2, F3 = Low-Pegel

[High-Pegel: $\geq +3 \text{ V} \dots +36 \text{ V}$ | Low-Pegel: $\leq +0,4 \text{ V} \dots -36 \text{ V}$]

5.5 I/O Pins (nur für CT 4M)

Das CT 4M hat drei I/O-Pins, welche mit Hilfe der Software CompactPlus Connect sowohl als Ausgang (digital) als auch als Eingang (digital oder analog) programmiert werden können. Folgende Funktionen sind möglich:

Funktion	I/O Pin ist ein	Beschreibung
Alarm	Ausgang digital	Open-collector Ausgang/ Definition als High- oder Low- Alarm über Norm. offen/ norm. geschl. im Software-Dialog
Gültig Low	Eingang digital	Der Ausgang folgt der Objekttemperatur, solange am I/O-Pin ein Low-Pegel anliegt; bei Wegfall des Low-Pegels wird der letzte Wert gehalten.
Gültig High	Eingang digital	Der Ausgang folgt der Objekttemperatur, solange am I/O-Pin ein High-Pegel anliegt; bei Wegfall des High-Pegels wird der letzte Wert gehalten.
Halte Low-High	Eingang digital	Bei steigender Flanke am I/O-Pin wird der letzte Wert gehalten.
Halte Low-High	Eingang digital	Bei fallender Flanke am I/O-Pin wird der letzte Wert gehalten.
Rücksetzen Low	Eingang digital	Zurücksetzen der Maximum- oder Minimumsuche (High-Low)
Rücksetzen High	Eingang digital	Zurücksetzen der Maximum- oder Minimumsuche (Low-High)
Externer Emissionsgrad	Eingang analog	Der Emissionsgrad kann über ein 0-10 V-Signal am I/O-Pin eingestellt werden (Skalierung über Software möglich).
Freie Größe	Eingang analog	Darstellung einer frei skalierbaren Größe
Laser an Low	Eingang digital	Laser einschalten (Low Signal)
Laser an High	Eingang digital	Laser einschalten (High Signal)
Externe Umgebungskompensation	Eingang analog	Durch eine Spannung am I/O Pin [0–10 V; Bereich skalierbar] wird die Umgebungstemperatur eingestellt.
Externe Transmissionskompensation	Eingang analog	Durch eine Spannung am I/O Pin [0–10 V; Bereich skalierbar] wird die transmittierte Umgebungstemperatur eingestellt.

Low/ High-Pegel: Via Software einstellbar

5.6 Alarme

Der CT verfügt über folgende Alarmfunktionen:

Bei allen Alarmen (Alarm 1, Alarm 2, Ausgangskanal 1 und 2 bei Nutzung als Alarmausgang) ist eine **Hysterese von 2 K (C_{Hot}: 1 K)** fest eingestellt.

5.6.1 Ausgabekanal 1 und 2 [Kanal 2 nur bei LT/ G5/ P3/ P7]

Zur Aktivierung muss der jeweilige Ausgabekanal in den Digital-Modus umgeschaltet werden. Dies kann nur über die Software CompactConnect/ CompactPlus Connect erfolgen.



Beim CT-Modell 4M sind beide Ausgänge frei wählbar. Zur Auswahl stehen Analog mA/mV, Alarm mA/mV und TCK.

Visuelle Alarmer

Diese Alarmer bewirken eine Änderung der Farbe des LCD-Displays und stehen über die optionale Relaischnittstelle zur Verfügung. Der Alarm 2 kann zusätzlich am Pin **AL2** (auf dem Mainboard) als Open-collector-Ausgang [**24 V / 50 mA**] genutzt werden.

Werksseitig sind die Alarmer wie folgt definiert:

Alarm 1	Normal geschlossen/ Low-Alarm
Alarm 2	Normal offen/ High-Alarm

Beide Alarmer wirken auf die Farbeinstellung des LCD-Displays:

BLAU: Alarm 1 aktiv

ROT: Alarm 2 aktiv

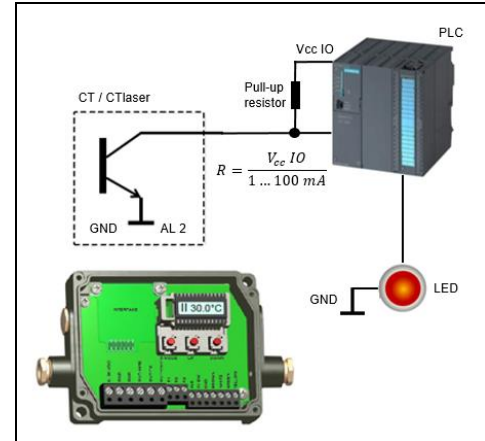
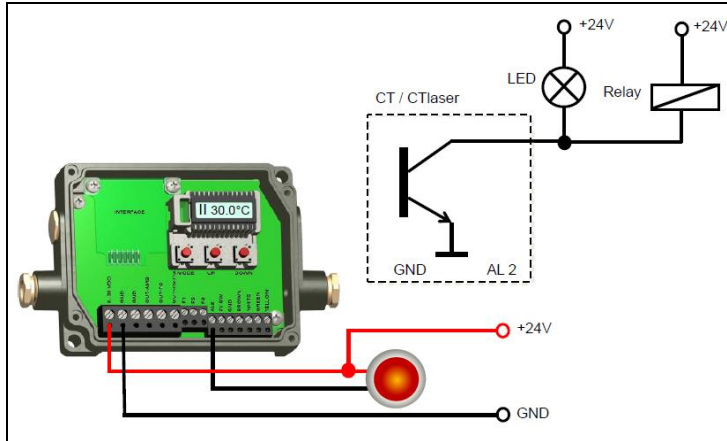
GRÜN: kein Alarm aktiv

Für erweiterte Einstellungen wie Definition als Low- oder High-Alarm [**über Änderung Normal offen/ geschlossen**], Wahl der Signalquelle [**T_{Proc}, T_{Kopf}, T_{Box}**] wird eine Digitalchnittstelle (z.B. USB, RS232) inklusive der Software CompactConnect benötigt.



Beim CT-Modell 4M sind visuellen Alarmer unabhängig von den Alarmeinstellungen. In der Software CompactPlus Connect können diese beliebig definiert werden.

5.6.2 Open-collector-Ausgang / AL2:



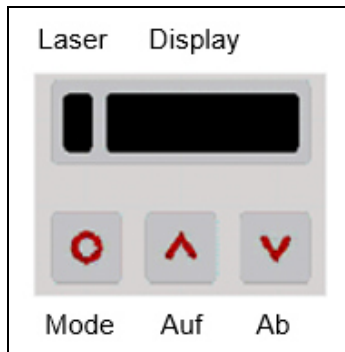
- Der Transistor wirkt als Schalter. Im Alarmfall wird der Kontakt geschlossen.
- Es muss immer eine Last/Verbraucher (Relay, LED oder ein Widerstand) angeschlossen werden.
- Die Alarmspannung (hier 24 V) darf nicht direkt an den Alarmausgang angeschlossen werden (Kurzschluss).

6 Bedienung

Nach Zuschalten der Versorgungsspannung startet der Sensor eine Initialisierungsroutine und zeigt für einige Sekunden **INIT** im Display. Danach wird die Objekttemperatur angezeigt. Die Farbe der Displaybeleuchtung ändert sich entsprechend der Alarmeinstellungen [► 5.6 Alarmer].

6.1 Sensoreinstellungen

Mit den drei Programmier Tasten **Mode**, **Auf** und **Ab** können Sensorkonfigurationen vor Ort vorgenommen werden. Das Display zeigt den aktuellen Messwert bzw. die gewählte Funktion an. Mit der Taste **Mode** gelangen Sie zur gewünschten Funktion, mit **Auf** und **Ab** können die Funktionsparameter verändert werden – **eine Veränderung von Einstellungen wird sofort übernommen**. Wenn länger als 10 Sekunden keine Taste betätigt wurde, springt die Anzeige automatisch zur Darstellung der (gemäß der gewählten Signalverarbeitung) errechneten Objekttemperatur um.



Bei Betätigen der Mode-Taste gelangt man automatisch zur zuletzt aufgerufenen Funktion.
Die Signalverarbeitungsfunktionen **Maximumsuche** und **Minimumsuche** sind nicht gleichzeitig wählbar.

Werksvoreinstellung

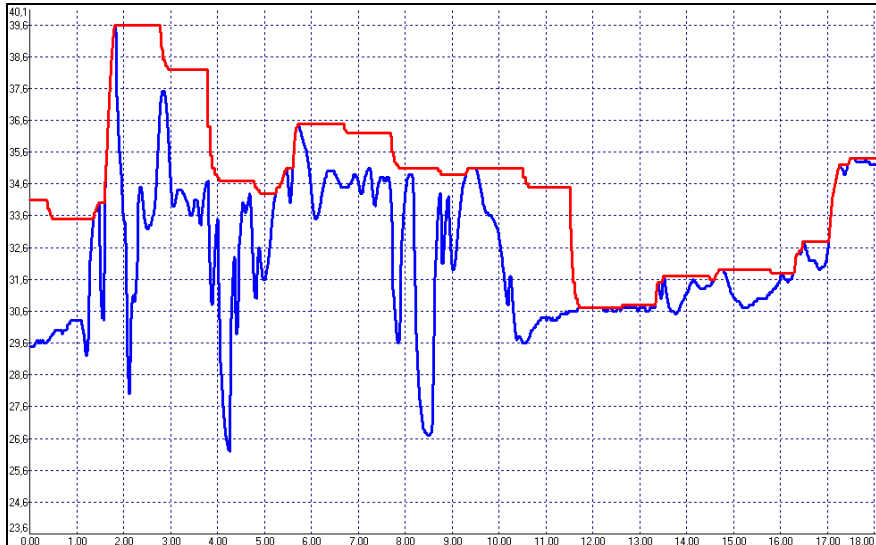
Um den CT auf die werksseitig eingestellten Parameter zurück zu setzen, betätigen Sie bitte zunächst die **Ab**- und dann die **Mode**-Taste und halten beide ca. 3 Sekunden lang gedrückt.
Im Display erscheint als Bestätigung **RESET**.

Anzeige	Modus [Beispiel]	Einstellbereich
142.3C	Objekttemperatur (nach Signalverarbeitung) [142,3 °C]	unveränderbar
127CH	Kopftemperatur [127 °C]	unveränderbar
25CB	Boxtemperatur [25 °C]	unveränderbar
142CA	aktuelle Objekttemperatur [142 °C]	unveränderbar
δ MV5	Signalausgabe Ausgabekanal 1 [0-5 V]	δ 0-20 = 0–20 mA/ δ 4-20 = 4–20 mA/ δ MV5 = 0–5 V/ δ MV10 = 0-10 V/ δ TCJ = Thermoelementausgang Typ J/ δ TCK = Thermoelementausgang Typ K
E0.970	Emissionsgrad [0,970]	0,100 ... 1,100
T1.000	Transmission [1,000]	0,100 ... 1,100
A 0.2	Signalausgabe Mittelwert [0,2 s]	A---- = inaktiv/ 0,1 ... 999,9 s
P----	Signalausgabe Maximalwert [inaktiv]	P---- = inaktiv/ 0,1 ... 999,9 s / P oo oo oo oo = unendlich
V----	Signalausgabe Minimalwert [inaktiv]	V---- = inaktiv/ 0,1 ... 999,9 s / V oo oo oo oo = unendlich
u 0.0	untere Grenze Temperaturbereich [0 °C]	modellabhängig / inaktiv bei TCJ- und TCK-Ausgang
n 500.0	obere Grenze Temperaturbereich [500 °C]	modellabhängig / inaktiv bei TCJ- und TCK-Ausgang
[0.00	untere Grenze Ausgabesignal [0 V]	entsprechend des Bereiches des gewählten Ausgangs
] 5.00	obere Grenze Ausgabesignal [5 V]	entsprechend des Bereiches des gewählten Ausgangs
U °C	Temperatureinheit [°C]	°C/ °F
 30.0	untere Alarmgrenze [30 °C]	modellabhängig
 100.0	obere Alarmgrenze [100 °C] AL2	modellabhängig
XHEAD	Umgebungstemperaturkompensation [Messkopftemperatur]	XHEAD = Messkopftemperatur/ -40,0 ... 900,0 °C (bei LT) als fester Wert für die Kompensation/ Betätigen von Auf und Ab gleichzeitig wechselt zurück zu XHEAD (Messkopftemp.)
M 01	Multidrop-Adresse [1] (nur mit RS485 Interface) RS422 Modus	01 ... 32 RS422 (Ab Taste drücken bei M01)
B 9.6	Baudrate in kBaud [9,6]	9,6/ 19,2/ 38,4/ 57,6/ 115,2 kBaud
S ON	Laser-Visier (3 VDC-Schalter zum Anschluss-Pin 3V SW)	ON/ OFF Dieser Menüpunkt erscheint an erster Position bei den Modellen 1M/ 2M/ 3M.

- ö MV5** Auswahl des **Ausgabesignals**. Durch Betätigen von **Auf** bzw. **Ab** können die verschiedenen Ausgangssignale (siehe Tabelle) gewählt werden.
- E0.970** Einstellen des **Emissionsgrades**. Durch Betätigen von **Auf** wird der Wert erhöht; **Ab** verringert den Wert (gilt auch für alle weiteren Funktionen). Der Emissionsgrad (ϵ -Epsilon) ist eine Materialkonstante, die die Fähigkeit eines Körpers, infrarote Energie auszusenden, beschreibt [**► 10 Emissionsgrad**].
- T1.000** Einstellen des **Transmissionsgrades**. Diese Funktion wird verwendet, falls zwischen Sensor und Objekt eine optische Komponente (z.B. Schutzfenster; Zusatzoptik) montiert wird. Die Standardeinstellung ist 1.000 = 100 % (bei Messung ohne Schutzfenster etc.).
- A 0.2** Einstellen der Zeit für die **Mittelwertbildung**. Bei dieser Funktion wird ein arithmetischer Algorithmus ausgeführt, um das Signal zu glätten. Die eingestellte Zeit ist die Zeitkonstante. Diese Funktion kann auch mit allen weiteren Nachverarbeitungsfunktionen kombiniert werden. Bei den Modellen 1M/ 2M/ 3M ist die kürzeste Zeit 0,001 s (andere Modelle: 0,1 s) und kann nur mit Werten der 2er-Potenzreihe erhöht bzw. verringert werden (0,002, 0,004, 0,008, 0,016, 0,032, ...). Bei Einstellen von **0.0** erscheint im Display --- (Funktion deaktiviert).
- P----** Einstellen der Zeit für die **Maximumsuche**. Bei dieser Funktion wird das jeweilige Signalmaximum gehalten; d.h. bei sinkender Temperatur hält der Algorithmus den Signalpegel für die eingestellte Zeit. Nach Ablauf der Haltezeit fällt das Signal auf den zweithöchsten Wert bzw. sinkt um 1/8 der Differenz zwischen vorherigem Maximalwert und Minimalwert während der Haltezeit. Dieser Wert wird wiederum für die eingestellte Zeit gehalten. Danach fällt das Signal mit langsamer Zeitkonstante und folgt dem Verlauf der Objekttemperatur.
- V----** Einstellen der Zeit für die **Minimumsuche**. Bei dieser Funktion wird das jeweilige Signalminimum gehalten. Der Algorithmus entspricht dabei dem für die Maximumsuche

(invertiert). Bei Einstellen von 0.0 erscheint im Display --- (Funktion deaktiviert).

Signalverlauf bei P----



- TProzess mit Maximumsuche (Haltezeit = 1s)
- TAktuell ohne Nachverarbeitung

- u 0.0** Einstellen der **unteren Grenze des Temperaturbereiches**. Die minimale Differenz zwischen unterer und oberer Bereichsgrenze beträgt **20 K**. Wird die untere Grenze auf einen Wert \geq obere Grenze gewählt, so wird die obere Grenze automatisch auf **[untere Grenze + 20 K]** gesetzt.
- n 500.0** Einstellen der **oberen Grenze des Temperaturbereiches**. Die minimale Differenz zwischen oberer und unterer Bereichsgrenze beträgt **20 K**. Die obere Grenze lässt sich nur auf einen Wert = untere Grenze + 20 K einstellen.
- [0.00** Einstellen der **unteren Grenze des Ausgabesignals**. Diese Einstellung ermöglicht die Zuordnung eines bestimmten Ausgabesignalpegels zur unteren Grenze des Temperaturbereichs. Der Einstellbereich entspricht dem gewählten Ausgabemodus (z.B. 0-5 V).
-] 5.00** Einstellen der **oberen Grenze des Ausgabesignals**. Diese Einstellung ermöglicht die Zuordnung eines bestimmten Ausgabesignalpegels zur oberen Grenze des Temperaturbereichs. Der Einstellbereich entspricht dem gewählten Ausgabemodus (z.B. 0-5 V).
- U °C** Einstellen der **Temperatureinheit** [°C oder °F].
- | 30.0** Einstellen der **unteren Alarmgrenze**. Dieser Wert entspricht Alarm 1 **[►5.6 Alarme]** und dient damit auch der Einstellung des Schaltpunktes für Relais 1 (bei Verwendung der optionalen Relaischnittstelle).
- || 100.0** Einstellen der **oberen Alarmgrenze**. Dieser Wert entspricht Alarm 2 **[►5.6 Alarme]** und dient damit auch der Einstellung des Schaltpunktes für Relais 2 (bei Verwendung der optionalen Relaischnittstelle).
- XHEAD** Einstellen der **Umgebungstemperaturkompensation**. In Abhängigkeit des Emissionsgrades des Messobjektes wird von der Oberfläche ein mehr oder weniger großer Anteil an Umgebungsstrahlung reflektiert. Um diesen Einfluss zu kompensieren, bietet diese Funktion die Möglichkeit, einen festen Wert für die Hintergrundstrahlung einzugeben.

Bei Anzeige von **XHEAD** erfolgt die Kompensation über den messkopffinternen Fühler. Ein Rückkehren zu **XHEAD** erfolgt durch gleichzeitiges Betätigen von **Auf** und **Ab**.



Speziell bei großen Unterschieden zwischen der Umgebungstemperatur am Objekt und der Messkopftemperatur empfiehlt sich die Nutzung der **Umgebungstemperaturkompensation**.

- M 01** Einstellen der **Multidrop-Adresse**. In einem **RS485**-Netzwerk benötigt jeder Sensor eine eigene Adresse. Dieser Menüpunkt wird nur bei installierter RS485-Schnittstelle angezeigt. Um den **RS422**-Modus zu verwenden, drücken Sie einmal die Ab-Taste bei M01.
- B 9.6** Einstellen der **Baudrate** für die digitale Datenübertragung.
- S ON** Aktivierung (**ON**) und Deaktivierung (**OFF**) eines optionalen **Visierlasers** [► 3.3 Weiteres Zubehör]. Durch Betätigen von **Auf** bzw. **Ab** wird eine 3 VDC-Spannung an den Anschluss-Pin **3V SW** geschaltet.

CT 4M

Anzeige	Modus [Beispiel]	Einstellbereich
TPROC 320.9	Prozesstemperatur (nach Signalverarbeitung) [320,9 °C]	unveränderbar
T INT 50.1	Detektor Temperatur [50,1 °C]	unveränderbar
T BOX 38.6	Elektronikbox Temperatur [38,6 °C]	unveränderbar
EMISS 1.000	Emissionsgrad [1,000]	0,100 ... 1,100
TRANS 1.000	Transmission [1,000]	0,100 ... 1,100
AVG 0.020	Signalausgabe Mittelwert [0,020 s]	AVG 0.000 = inaktiv/ 0,1 ... 65 s
HOLD	OFF	OFF/ PEAK/ VALL/ APEAK/ AVALL
H TIM	PEAK/ VALL	0...65 s (65 = unendlich)
H TH	APEAK/ AVALL	Anfangstemperatur...Endtemperatur
H HY	APEAK/ AVALL	Hysterese Einstellung in °C/°F
U °C	Temperatureinheit [°C]	°C/ °F
M 01	Multidrop-Adresse [1] (nur mit RS485 Interface) RS422 Modus	01 ... 32 RS422 (Ab Taste drücken bei M01)
BAUD 115.2K	Baudrate in kBaud [115]	115.2 / 921.6 kBaud
S ON	Laser-Visier	ON/ OFF

EMISS 1.000 Einstellen des **Emissionsgrades**. Durch Betätigen von **Auf** wird der Wert erhöht; **Ab** verringert den Wert (gilt auch für alle weiteren Funktionen). Der Emissionsgrad (ϵ -Epsilon) ist eine Materialkonstante, die die Fähigkeit eines Körpers, infrarote Energie auszusenden, beschreibt [**►10 Emissionsgrad**].

TRANS 1.000 Einstellen des **Transmissionsgrades**. Diese Funktion wird verwendet, falls zwischen Sensor und Objekt eine optische Komponente (z.B. Schutzfenster; Zusatzoptik) montiert wird. Die Standardeinstellung ist 1.000 = 100 % (bei Messung ohne Schutzfenster etc.).

AVG 0.020

Einstellen der Zeit für die **Mittelwertbildung**. Bei dieser Funktion wird ein arithmetischer Algorithmus ausgeführt, um das Signal zu glätten. Die eingestellte Zeit ist die Zeitkonstante. Diese Funktion kann auch mit allen weiteren Nachverarbeitungsfunktionen kombiniert werden. Die kürzeste einstellbare Zeit ist 0,001 s. Bei Einstellen von **0.0** ist die Funktion deaktiviert.

HOLD

Modus für **Signal-Nachverarbeitung**. Durch Betätigen von *Auf* bzw. *Ab* kann der Modus gewählt werden.

PEAK: Einstellen der Zeit für die **Maximumsuche**. Bei dieser Funktion wird das jeweilige Signalmaximum gehalten; d.h. bei sinkender Temperatur hält der Algorithmus den Signalpegel für die eingestellte Zeit. Nach Ablauf der Haltezeit fällt das Signal auf den zweithöchsten Wert bzw. sinkt um 1/8 der Differenz zwischen vorherigem Maximalwert und Minimalwert während der Haltezeit. Dieser Wert wird wiederum für die eingestellte Zeit gehalten. Danach fällt das Signal mit langsamer Zeitkonstante und folgt dem Verlauf der Objekttemperatur.

VALL: Einstellen der Zeit für die **Minimumsuche**. Bei dieser Funktion wird das jeweilige Signalminimum gehalten. Der Algorithmus entspricht dabei dem für die Maximumsuche (invertiert). Bei Einstellen von **0.0** ist die Funktion deaktiviert.

APEAK (Erw. Maximumsuche): Dieser Algorithmus sucht nach lokalen Maximalwerten. Dabei werden Maximalwerte, die kleiner als ihre Vorgänger sind, nur übernommen, wenn die Temperatur zuvor den **Schwellwert** unterschritten hatte. Bei eingestellter **Hysterese** muss ein Maximalwert zusätzlich erst um den Wert der Hysterese abgefallen sein, damit er als neues Maximum übernommen wird.

AVALL (Erw. Minimumsuche): Diese Funktion verhält sich invertiert zur erweiterten Maximumsuche; d.h. dieser Algorithmus sucht nach lokalen Minimalwerten. Dabei werden Minimalwerte, die größer als ihre Vorgänger sind, nur übernommen, wenn die Temperatur

zuvor den **Schwellwert** überschritten hatte.

Bei eingestellter **Hysterese** muss ein Minimalwert zusätzlich erst um den Wert der Hysterese angestiegen sein, damit er als neues Minimum übernommen wird.

M 01

Einstellen der **Multidrop-Adresse**. In einem **RS485**-Netzwerk benötigt jeder Sensor eine eigene Adresse. Dieser Menüpunkt wird nur bei installierter RS485-Schnittstelle angezeigt. Um den **RS422**-Modus zu verwenden, drücken Sie einmal die Ab-Taste bei M01.

BAUD 115.2K

Einstellen der **Baudrate** für die digitale Datenübertragung.

S OFF

Aktivierung (**ON**) und Deaktivierung (**OFF**) eines optionalen **Visierlasers** [**► 3.3 Weiteres Zubehör**]. Durch Betätigen von **Auf** bzw. **Ab** wird eine 3 VDC-Spannung an den Anschluss-Pin **PINK** geschaltet.

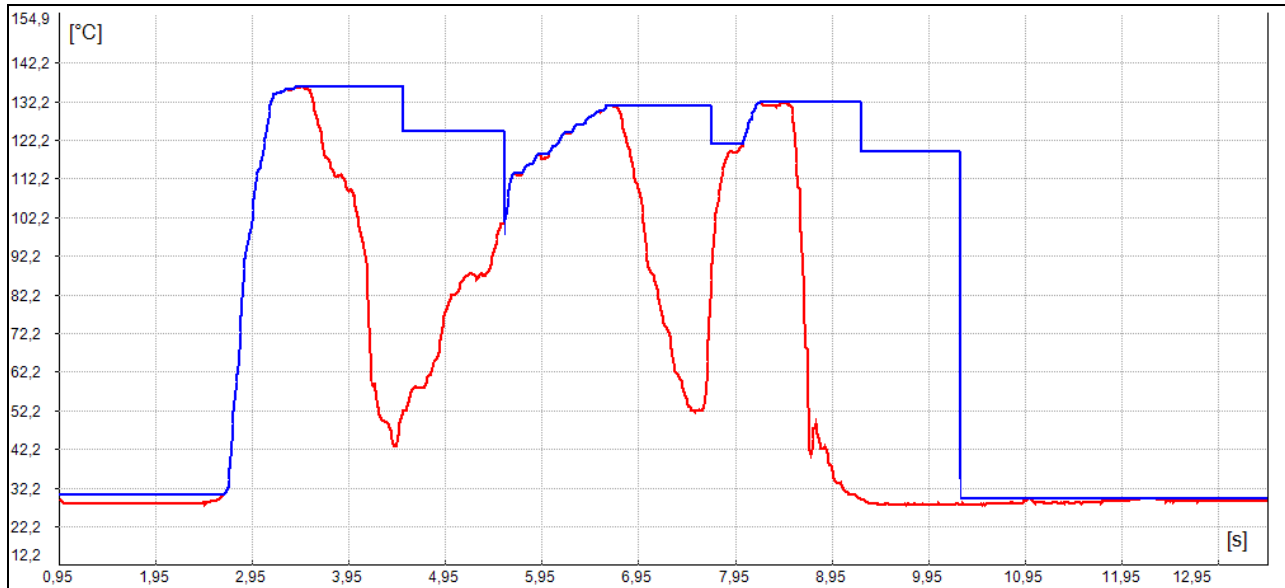
Peak Picker-Funktion

Für eine Erfassung von schnellen Hotspots (Erfassungszeit 90 μ s) muss die Mittelungszeit auf 0,0 s eingestellt werden.

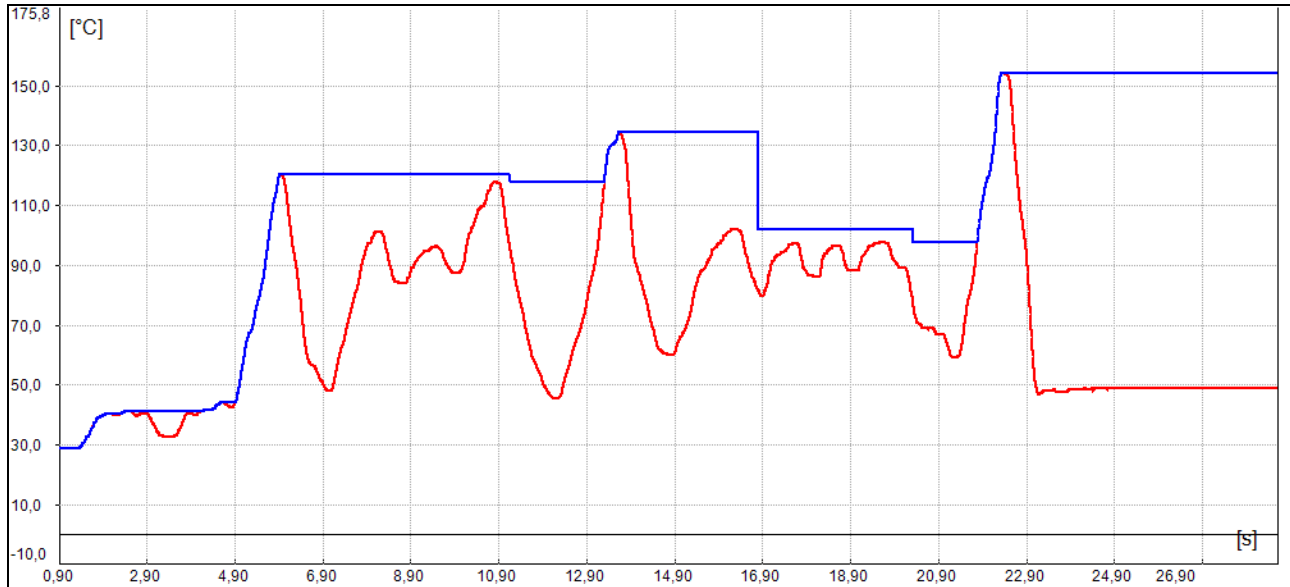


In der Diagrammdarstellung kann neben der Prozesstemperatur TProc (mit Signal-Nachverarbeitung) auch die gemittelte Temperatur TAvg (ohne Signal-Nachverarbeitung) dargestellt werden. Die Wirkung der eingestellten Nachverarbeitungsfunktionen kann somit direkt verfolgt werden.

Signalverläufe



- T_{Proc} mit Maximumsueche (Haltezeit = 1s)
- T_{Avg} ohne Nachverarbeitung



- T_{Proc} mit Erw. Maximumsuche (Schwellwert = 80 °C/ Hysterese = 20 °C)
- T_{Avg} ohne Nachverarbeitung

6.2 Fehlermeldungen

Im Display des CT können folgende Fehlermeldungen erscheinen:

Modelle LT/ G5/ P3/ P7:

OVER	Objekttemperatur zu hoch
UNDER	Objekttemperatur zu niedrig
^^^CH	Kopftemperatur zu hoch
vvCH	Kopftemperatur zu niedrig

Modelle 1M/ 2M/ 3M:

1. Stelle:

0x	kein Fehler
1x	Kopftemperatur-Fühler hat Kurzschluss nach Masse (bn)
2x	Boxtemperatur zu niedrig
4x	Boxtemperatur zu hoch
6x	Boxtemperatur-Fühler unterbrochen
8x	Boxtemperatur-Fühler hat Kurzschluss nach Masse

2. Stelle:

x0	kein Fehler
x2	Objekttemperatur zu hoch
x4	Kopftemperatur zu niedrig
x8	Kopftemperatur zu hoch
xC	Kopftemperatur-Fühler unterbrochen (bn)

7 IRmobile App

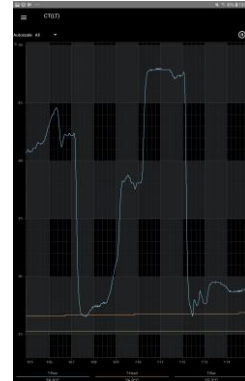
Der CT-Sensor verfügt über eine direkte Anbindung an ein Android Smartphone oder Tablet. Dafür muss einfach nur die [IRmobile App](#) im Google Play Store kostenlos heruntergeladen werden. Dies kann auch über den QR-Code erfolgen. Für den Anschluss an das Gerät wird ein IR App Connector benötigt (**Artikel-Nr.: ACCTIAC**). Beim CT 4M kann direkt das mitgelieferte USB-Kabel verwendet werden.



Mit IRmobile kann die Infrarot-Temperaturmessung direkt auf einem angeschlossenen Smartphone oder Tablet überwacht und analysiert werden. Diese App funktioniert auf den meisten Android-Geräten ab 5.0 mit einem Micro-USB- oder USB-C-Anschluss, der USB-OTG (On The Go) unterstützt. Die App ist einfach zu bedienen: Nachdem der CT an das Smartphones oder Tablets angeschlossen wurde, startet die App automatisch. Das Gerät wird vom Smartphone mit Spannung versorgt. Im Temperatur-Zeit-Diagramm können verschiedene digitale Temperaturwerte angezeigt werden. Das Diagramm kann einfach vergrößert werden, um mehr Details und kleine Signaländerungen zu sehen.

Besonderheiten der IRmobile App:

- Temperatur-Zeit-Diagramm mit Zoomfunktion
- Digitale Temperaturanzeige
- Einstellung von Emissionsgrad, Transmissionsgrad und anderen Parametern
- Skalierung des Analogausgangs und Einstellung des Alarm-Ausgangs
- Änderung der Temperatureinheit: Celsius oder Fahrenheit
- Speichern/Laden von Konfigurationen und T/Z-Diagrammen
- Wiederherstellung der Werkseinstellungen vom Sensor
- Integrierter Simulator



IRmobile wird unterstützt für:

- Optris Pyrometer: Kompaktserie, Hochleistungsserie und Videopyrometer
- Optris IR-Kameras: PI und Xi Serie
- Für Android-Geräte ab 5.0 oder höher mit einem Micro-USB- oder USB-C-Anschluss, der USB-OTG unterstützt (On The Go)

8 Software CompactConnect/ CompactPlus Connect

8.1 Installation

Die Software können Sie unter <https://www.optris.de/downloads-software> herunterladen. Entpacken und Öffnen Sie das Programm und starten Sie bitte die **CDsetup.exe**. Folgen Sie bitte den Anweisungen des Assistenten, bis die Installation abgeschlossen ist.

Minimale Systemvoraussetzungen:

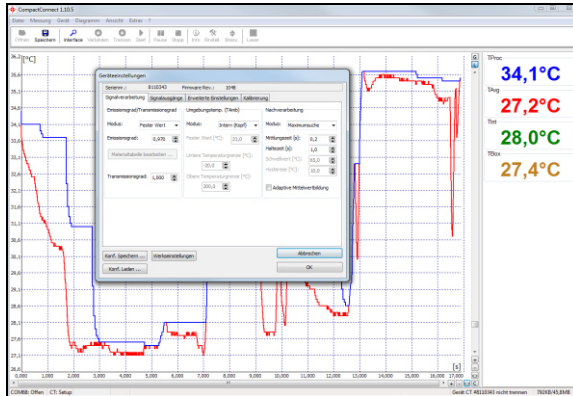
- Windows 7, 8, 10
- USB-Schnittstelle
- Festplatte mit mind. 30 MByte Speicherplatz
- Mindestens 128 MByte RAM

Nach der Installation finden Sie die Software auf Ihrem Desktop (als Programmsymbol) sowie im Startmenü unter: **[Start]\Programme\CompactConnect** bzw. **[Start]\Programme\CompactPlus Connect**.

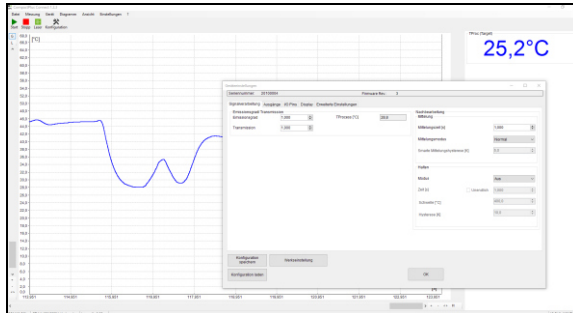
Wenn Sie die Software deinstallieren wollen, nutzen Sie bitte **Uninstall** im Startmenü.



- Eine detaillierte Softwarebeschreibung befindet sich im heruntergeladenen Software-Paket.
- Software CompactConnect für LT/ LTF/ LTH/ 1M/ 2M/ 3M/ G5/ P3/ P7
- Software CompactPlus Connect für 4M



CompactConnect



CompactPlus Connect

Hauptfunktionen:

- Grafische Darstellung und Aufzeichnung der Temperaturmesswerte zur späteren Analyse und Dokumentation
- Komplette Parametrierung und Fernüberwachung des Sensors
- Programmierung der Signalverarbeitungsfunktionen
- Skalierung der Ausgänge und Parametrierung der Funktionseingänge

8.2 Kommunikationseinstellungen

8.2.1 Serielles Interface

Baudrate:	9,6...115,2 kBaud (einstellbar am Gerät oder über Software)
	CT 4M: 115,2 oder 921,6 kBaud (einstellbar am Gerät oder über Software)
Datenbits:	8
Parität:	keine
Stopp bits:	1
Flusskontrolle:	aus

8.2.2 Protokoll

Alle CT-Sensoren verwenden ein binäres Protokoll. Alternativ können die Geräte (nur LT-Versionen) auch auf ein ASCII-Protokoll umgeschaltet werden. Um eine schnelle Kommunikation zu erreichen, wird auf einen zusätzlichen Overhead mit CR, LR oder ACK Bytes verzichtet.

8.2.3 ASCII-Protokoll

Die Modelle **LT02**, **LT15**, **LT22**, **LT02H** und **LT10H** können durch Änderung des ersten Zeichens im 3. Block des Kopf-Kalibriercodes auf ASCII-Protokoll umgestellt werden. Dieses Zeichen muss von **0 auf 4** (alter Messkopf) bzw. **8 auf C** (neuer Messkopf) geändert werden. [**► 4.3 Austauschen des Messkopfes**]

Alter Messkopf	CTex (+1)	ASCII (+4)	CTex + ASCII (+5)
0	1	4	5
Neuer Messkopf			
8	9	C	D

Beispiel neuer Messkopf:

Binär-Protokoll:

A6FG – 22KB – 8AS0
1.Block 2.Block 3.Block

ASCII-Protokoll:

A6FG – 22KB – CAS0
1.Block 2.Block 3.Block



Nach Modifikation des Kopf-Kalibriercodes ist ein Reset nötig, um die Änderungen zu aktivieren.
[**► 6 Bedienung**]

Zur Umschaltung auf das ASCII-Protokoll können Sie auch folgenden Befehl verwenden:

Dezimal: 131
HEX: 0x83
Daten, Antwort: byte 1
Ergebnis: 0 – Binär-Protokoll
 1 – ASCII-Protokoll

8.2.4 Speichern von Parametereinstellungen

Nach Einschalten des CT-Sensors ist der Flash-Modus aktiv, d.h. geänderte Parametereinstellungen werden im CT-internen Flash-EEPROM gespeichert und bleiben auch nach Ausschalten der Spannungsversorgung erhalten.

Falls sehr oft bzw. kontinuierlich Werte geändert werden sollen, kann das flashen der Parameter durch folgenden Befehl ausgeschaltet werden:

Dezimal:	112
HEX:	0x70
Daten, Antwort:	byte 1
Ergebnis:	0 – Daten werden in den Flash geschrieben
	1 – Daten werden nicht in den Flash geschrieben

Bei ausgeschaltetem Flash-Modus bleiben Parameteränderungen nur aktiv, solange der CT eingeschaltet ist. D.h. nach Ausschalten der Versorgungsspannung und Wiedereinschalten gehen die gesetzten Werte verloren.

Mit dem Kommando 0x71 kann man den aktuellen Zustand abfragen.

Eine detaillierte Beschreibung des Protokolls und der Befehle finden Sie im Software-Paket im Verzeichnis: **\Commands**.

9 Prinzip der Infrarot-Temperaturmessung

In Abhängigkeit von der Temperatur sendet jeder Körper eine bestimmte Menge infraroter Strahlung aus. Mit einer Temperaturänderung des Objektes geht eine sich ändernde Intensität der Strahlung einher. Der für die Infrarotmesstechnik genutzte Wellenlängenbereich dieser so genannten „Wärmestrahlung“ liegt zwischen etwa 1 μm und 20 μm . Die Intensität der emittierten Strahlung ist materialabhängig. Die materialabhängige Konstante wird als Emissionsgrad (ε - Epsilon) bezeichnet und ist für die meisten Stoffe bekannt (► **10 Emissionsgrad**).

Infrarot-Thermometer sind optoelektronische Sensoren. Sie ermitteln die von einem Körper abgegebene Infrarotstrahlung und berechnen auf dieser Grundlage die Oberflächentemperatur. Die wohl wichtigste Eigenschaft von Infrarot-Thermometern liegt in der berührungslosen Messung. So lässt sich die Temperatur schwer zugänglicher oder sich bewegendere Objekte ohne Schwierigkeiten bestimmen. Infrarot-Thermometer bestehen im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Linse
- Spektralfilter
- Detektor
- Elektronik (Verstärkung/ Linearisierung/ Signalverarbeitung)

Die Eigenschaften der Linse bestimmen maßgeblich den Strahlengang des Infrarot-Thermometers, welcher durch das Verhältnis Entfernung (**D**istance) zu Messfleckgröße (**S**pot) charakterisiert wird. Der Spektralfilter dient der Selektion des Wellenlängenbereiches, welcher für die Temperaturmessung relevant ist. Der Detektor hat gemeinsam mit der nachgeschalteten Verarbeitungselektronik die Aufgabe, die Intensität der emittierten Infrarotstrahlung in elektrische Signale umzuwandeln.

10 Emissionsgrad

10.1 Definition

Die Intensität der infraroten Wärmestrahlung, die jeder Körper aussendet, ist sowohl von der Temperatur als auch von den Strahlungseigenschaften des zu untersuchenden Materials abhängig. Der Emissionsgrad (ϵ - Epsilon) ist die entsprechende Materialkonstante, die die Fähigkeit eines Körpers, infrarote Energie auszusenden, beschreibt. Er kann zwischen 0 und 100 % liegen. Ein ideal strahlender Körper, ein so genannter „Schwarzer Strahler“, hat einen Emissionsgrad von 1,0, während der Emissionsgrad eines Spiegels beispielsweise bei 0,1 liegt.

Wird ein zu hoher Emissionsgrad eingestellt, ermittelt das Infrarot-Thermometer eine niedrigere als die reale Temperatur, unter der Voraussetzung, dass das Messobjekt wärmer als die Umgebung ist. Bei einem geringen Emissionsgrad (reflektierende Oberflächen) besteht das Risiko, dass störende Infrarotstrahlung von Hintergrundobjekten (Flammen, Heizanlagen, Schamotte usw.) das Messergebnis verfälscht. Um den Messfehler in diesem Fall zu minimieren, sollte die Handhabung sehr sorgfältig erfolgen und das Gerät gegen reflektierende Strahlungsquellen abgeschirmt werden.

10.2 Bestimmung eines unbekanntem Emissionsgrades

- ▶ Mit einem Thermoelement, Kontaktfühler oder ähnlichem lässt sich die aktuelle Temperatur des Messobjektes bestimmen. Danach kann die Temperatur mit dem Infrarot-Thermometer gemessen und der Emissionsgrad soweit verändert werden, bis der angezeigte Messwert mit der tatsächlichen Temperatur übereinstimmt.
- ▶ Bei Temperaturmessungen bis 380 °C besteht die Möglichkeit, auf dem Messobjekt einen speziellen Kunststoffaufkleber (Emissionsgradaufkleber – Bestell-Nr.: ACLSED). anzubringen, der den Messfleck vollständig bedeckt. Stellen Sie nun den Emissionsgrad auf 0,95 ein und messen Sie die Temperatur des Aufklebers. Ermitteln Sie dann die Temperatur einer direkt angrenzenden Fläche auf dem Messobjekt und stellen Sie den Emissionsgrad so ein, dass der Wert mit der zuvor gemessenen Temperatur des Kunststoffaufklebers übereinstimmt.
- ▶ Tragen sie auf einem Teil der Oberfläche des zu untersuchenden Objektes, soweit dies möglich ist, matte, schwarze Farbe mit einem Emissionsgrad von mehr als 0,98 auf. Stellen Sie den Emissionsgrad Ihres Infrarot-Thermometers auf 0,98 ein und messen Sie die Temperatur der gefärbten Oberfläche. Anschließend bestimmen Sie die Temperatur einer direkt angrenzenden Fläche und verändern die Einstellung des Emissionsgrades soweit, bis die gemessene Temperatur der an der gefärbten Stelle entspricht.

WICHTIG: Bei allen drei Methoden muss das Objekt eine von der Umgebungstemperatur verschiedene Temperatur aufweisen.

10.3 Charakteristische Emissionsgrade

Sollte keine der oben beschriebenen Methoden zur Ermittlung Ihres Emissionsgrades anwendbar sein, können Sie sich auf die Emissionsgradtabellen ► **Anhang A – Emissionsgradtabelle Metalle** und **Anhang B – Emissionsgradtabelle Nichtmetalle** beziehen. Beachten Sie, dass es sich in den Tabellen lediglich um Durchschnittswerte handelt. Der tatsächliche Emissionsgrad eines Materials wird u.a. von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Temperatur
- Messwinkel
- Geometrie der Oberfläche (eben, konvex, konkav)
- Dicke des Materials
- Oberflächenbeschaffenheit (poliert, oxidiert, rau, sandgestrahlt)
- Spektralbereich der Messung
- Transmissionseigenschaften (z.B. bei dünnen Folien)

Anhang A – Emissionsgradtabelle Metalle

Material		typischer Emissionsgrad			
		1,0 μm	1,6 μm	5,1 μm	8-14 μm
Spektrale Empfindlichkeit					
Aluminium	nicht oxidiert	0,1-0,2	0,02-0,2	0,02-0,2	0,02-0,1
	poliert	0,1-0,2	0,02-0,1	0,02-0,1	0,02-0,1
	aufgeraut	0,2-0,8	0,2-0,6	0,1-0,4	0,1-0,3
	oxidiert	0,4	0,4	0,2-0,4	0,2-0,4
Blei	poliert	0,35	0,05-0,2	0,05-0,2	0,05-0,1
	aufgeraut	0,65	0,6	0,4	0,4
	oxidiert		0,3-0,7	0,2-0,7	0,2-0,6
Chrom		0,4	0,4	0,03-0,3	0,02-0,2
Eisen	nicht oxidiert	0,35	0,1-0,3	0,05-0,25	0,05-0,2
	verrostet		0,6-0,9	0,5-0,8	0,5-0,7
	oxidiert	0,7-0,9	0,5-0,9	0,6-0,9	0,5-0,9
	geschmiedet, stumpf	0,9	0,9	0,9	0,9
	geschmolzen	0,35	0,4-0,6		
Eisen, gegossen	nicht oxidiert	0,35	0,3	0,25	0,2
	oxidiert	0,9	0,7-0,9	0,65-0,95	0,6-0,95
Gold		0,3	0,01-0,1	0,01-0,1	0,01-0,1
Haynes	Legierung	0,5-0,9	0,6-0,9	0,3-0,8	0,3-0,8
Inconel	elektropoliert	0,2-0,5	0,25	0,15	0,15
	sandgestrahlt	0,3-0,4	0,3-0,6	0,3-0,6	0,3-0,6
	oxidiert	0,4-0,9	0,6-0,9	0,6-0,9	0,7-0,95
Kupfer	poliert	0,05	0,03	0,03	0,03
	aufgeraut	0,05-0,2	0,05-0,2	0,05-0,15	0,05-0,1
	oxidiert	0,2-0,8	0,2-0,9	0,5-0,8	0,4-0,8
Magnesium		0,3-0,8	0,05-0,3	0,03-0,15	0,02-0,1

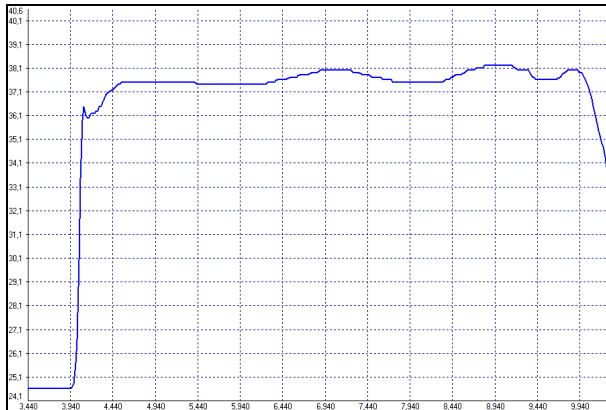
Material		typischer Emissionsgrad			
		1,0 µm	1,6 µm	5,1 µm	8-14 µm
Messing	poliert	0,35	0,01-0,5	0,01-0,05	0,01-0,05
	rau	0,65	0,4	0,3	0,3
	oxidiert	0,6	0,6	0,5	0,5
Molybdän	nicht oxidiert	0,25-0,35	0,1-0,3	0,1-0,15	0,1
	oxidiert	0,5-0,9	0,4-0,9	0,3-0,7	0,2-0,6
Monel (Ni-Cu)		0,3	0,2-0,6	0,1-0,5	0,1-0,14
Nickel	elektrolytisch	0,2-0,4	0,1-0,3	0,1-0,15	0,05-0,15
	oxidiert	0,8-0,9	0,4-0,7	0,3-0,6	0,2-0,5
Platin	schwarz		0,95	0,9	0,9
Quecksilber			0,05-0,15	0,05-0,15	0,05-0,15
Silber		0,04	0,02	0,02	0,02
Stahl	poliertes Blech	0,35	0,25	0,1	0,1
	rostfrei	0,35	0,2-0,9	0,15-0,8	0,1-0,8
	Grobblech			0,5-0,7	0,4-0,6
	kaltgewalzt	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9	0,7-0,9
	oxidiert	0,8-0,9	0,8-0,9	0,7-0,9	0,7-0,9
Titan	poliert	0,5-0,75	0,3-0,5	0,1-0,3	0,05-0,2
	oxidiert		0,6-0,8	0,5-0,7	0,5-0,6
Wolfram	poliert	0,35-0,4	0,1-0,3	0,05-0,25	0,03-0,1
Zink	poliert	0,5	0,05	0,03	0,02
	oxidiert	0,6	0,15	0,1	0,1
Zinn	nicht oxidiert	0,25	0,1-0,3	0,05	0,05

Anhang B – Emissionsgradtabelle Nichtmetalle

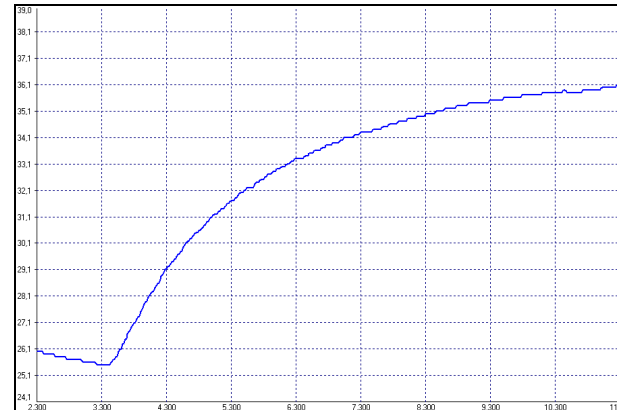
Material		typischer Emissionsgrad			
		1,0 µm	2,2 µm	5,1 µm	8-14 µm
Spektrale Empfindlichkeit					
Asbest		0,9	0,8	0,9	0,95
Asphalt				0,95	0,95
Basalt				0,7	0,7
Beton		0,65	0,9	0,9	0,95
Eis					0,98
Erde					0,9-0,98
Farbe	nicht alkalisch				0,9-0,95
Gips				0,4-0,97	0,8-0,95
Glas	Scheibe		0,2	0,98	0,85
	Schmelze		0,4-0,9	0,9	
Gummi				0,9	0,95
Holz	natürlich			0,9-0,95	0,9-0,95
Kalkstein				0,4-0,98	0,98
Karborund			0,95	0,9	0,9
Keramik		0,4	0,8-0,95	0,8-0,95	0,95
Kies				0,95	0,95
Kohlenstoff	nicht oxidiert		0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9
	Graphit		0,8-0,9	0,7-0,9	0,7-0,8
Kunststoff >50 µm	lichtundurchlässig			0,95	0,95
Papier	jede Farbe			0,95	0,95
Sand				0,9	0,9
Schnee					0,9
Textilien				0,95	0,95
Wasser					0,93

Anhang C – Adaptive Mittelwertbildung

Die Mittelwertbildung wird in der Regel eingesetzt, um Signalverläufe zu glätten. Über den einstellbaren Parameter Zeit kann dabei diese Funktion an die jeweilige Anwendung optimal angepasst werden. Ein Nachteil der Mittelwertbildung ist, dass schnelle Temperaturanstiege, die durch dynamische Ereignisse hervorgerufen werden, der gleichen Mittlungszeit unterworfen sind und somit nur zeitverzögert am Signalausgang bereitstehen. Die Funktion Adaptive Mittelwertbildung (**Smart Averaging**) eliminiert diesen Nachteil, indem schnelle Temperaturanstiege ohne Mittelwertbildung direkt an den Signalausgang durchgestellt werden.



Signalverlauf mit Smart Averaging-Funktion



Signalverlauf ohne Smart Averaging-Funktion

Anhang D – Konformitätserklärung

EG-Konformitätserklärung EU Declaration of Conformity



Wir / We

Optris GmbH
Ferdinand Buisson Str. 14
D-13127 Berlin

erklären in alleiniger Verantwortung, dass
declare on our own responsibility that

die Produktserie optris CT
the product group optris CT

den Anforderungen der EMV-Richtlinie 2014/30/EU und der allgemeinen Produktsicherheits-
richtlinie 2001/95/EG entspricht.
meets the provisions of the EMC Directive 2014/30/EU and the General Product Safety Directive
2001/95/EC.

Angewandte harmonisierte Normen:
Applied harmonized standards:

EMV Anforderungen / EMC General Requirements:

EN 61326-1:2013 (Grundlegende Prüfanforderungen / Basic requirements)
EN 61326-2-3:2013

Gerätesicherheit von Messgeräten / Safety of measurement devices:

EN 61010-1:2010
EN 60825-1:2014 (Lasersicherheit / Laser safety)

Dieses Produkt erfüllt die Vorschriften der Richtlinie 2015/863/EU (RoHS) des Europäischen
Parlaments und des Rates vom 4. Juni 2015 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter
gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.
This product is in conformity with Directive 2015/863/EU (RoHS) of the European Parliament and of
the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in
electrical and electronic equipment.

Berlin, 05.08.2020

Ort, Datum / place, date



Dr. Ulrich Kienitz
Geschäftsführer / General Manager

optris CT-MA-D2021-04-A

Technical specifications⁴

Category	Measurement	Value	Method
General Properties	Powder melting point (DSC)	187 °C/369 °F	ASTM D3418
	Particle size	60 µm	ASTM 03451
	Bulk density of powder	0.425 g/cm ³	ASTM D1895
	Density of parts	1.01 g/cm ³	ASTM D792
Mechanical Properties	Tensile Strength, Max Load ⁵ - XY	48 MPa/6960 psi	ASTM D638
	Tensile Strength, Max Load ⁵ - Z	48 MPa/6960 psi	ASTM D638
	Tensile Modulus ⁵ - XY	1700 MPa/245 ksi	ASTM D638
	Tensile Modulus ⁵ - Z	1800 MPa/260 ksi	ASTM D638
	Elongation at Break ⁵ - XY	20%	ASTM D638
	Elongation at Break ⁵ - Z	15%	ASTM D638
Thermal Properties	Heat Deflection Temperature (@ 0.45 MPa) - Z	175 °C/350 °F	ASTM D648
	Heat Deflection Temperature (@ 1.82 MPa) - Z	95 °C/205 °F	ASTM D648

Ordering Information

Product name	HP 3D High Reusability PA 12
Product Number	V1R10A
Weight	13 kg
Compatibility	HP Jet Fusion 3D 4200/3200 Printing Solution
Dimensions	Box: 600 x 333 x 301.8 mm

Instructions for use | Gebrauchsanweisung | Instructions d'emploi

English

Deutsch

Français



X60

Hottinger Brüel & Kjaer GmbH
Im Tiefen See 45
D-64293 Darmstadt
Tel. +49 6151 803-0
Fax +49 6151 803-9100
info@hbm.com
www.hbm.com

Mat.: 7-0104.0033
DVS: A01650_04_Y00_00 HBM: public
02.2021

© Hottinger Baldwin Messtechnik

Subject to modifications.
All product descriptions are for general information only.
They are not to be understood as a guarantee of quality or
durability.

Änderungen vorbehalten.
Alle Angaben beschreiben unsere Produkte in allgemeiner
Form. Sie stellen keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeits-
garantie dar.

Sous réserve de modifications.
Les caractéristiques indiquées ne décrivent nos produits
que sous une forme générale. Elles n'impliquent aucune
garantie de qualité ou de durabilité.

Instructions for use | Gebrauchsanweisung | Instructions d'emploi

English

Deutsch

Français



X60

1	Safety instructions	3
2	General information	3
2.1	Scope of delivery	3
2.2	Field of application	4
2.3	Temperature limits	4
2.4	Elongation	4
3	SG preparation	4
4	Preparing the adhesive surfaces	5
4.1	General information	5
4.2	Coarse cleaning	5
4.3	Degreasing	5
4.4	Roughening	6
4.5	Fine cleaning	6
4.6	Preparation of non-metallic bonding surfaces	7
5	Preparing the SG installation	7
6	SG installation	9
6.1	Mixing the adhesive	9
6.2	Applying the adhesive	10
6.3	Curing	11
6.4	Further application options	11
7	Storage	11
7.1	Minimum life	11
7.2	Refilling of bulk packs	12
8	Specifications	12

1 Safety instructions

It is essential to note the details given in the Material Safety Data Sheet of the product. You can download the safety data sheet via the HBM website: <http://www.hbm.com/sds/>.

2 General information

X60 consists of a powder component A and a liquid component B.

2.1 Scope of delivery

- Component A (0.1 kg; 0.4 kg in refill pack X60-NP)
- Component B (2x40 ml; 320 ml in refill pack X60-NP)
- Mixing cups
- Stirrers
- Cellophane foils
- Measuring spoon
- Usage instructions

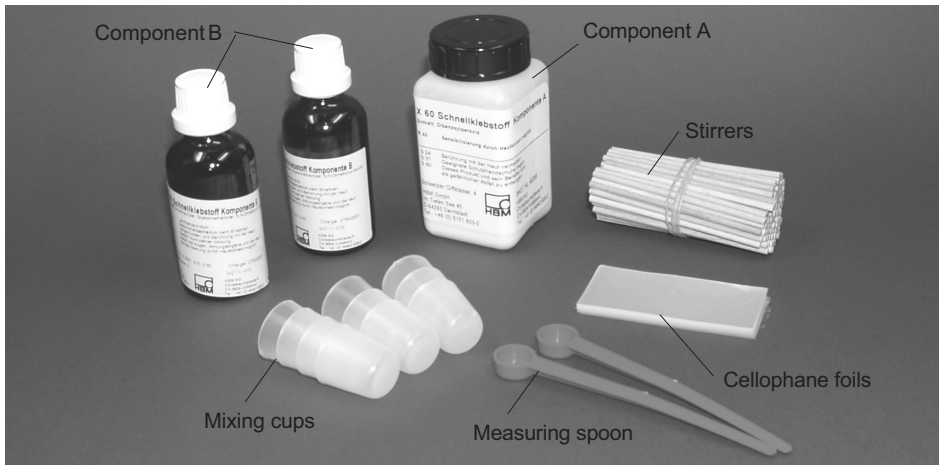


Fig. 2.1

2.2 Field of application

X60 superglue is an adhesive intended for the installation of strain gages (SG). It is suitable for SG in the series:

Y, C, LD (optimal suitability)

G, M

The adhesive is simple and easy to use. X60 bonds with all metals commonly used in engineering, various non-metallic materials (e.g. concrete, porcelain, glass) and a series of plastics.

The customer must qualify and assess the quality of the adhesive bond.

2.3 Temperature limits

- For zero-point related measurements: -200°C to +60°C.
- For non zero-point related measurements: -200°C to +60°C.

Please also note the temperature ranges stated in the SG or solder terminal specifications.

2.4 Elongation

Maximum elongation depends on cleanliness and the material being bonded. The size and type of SG and the temperature are also important factors. With high-strain gages (polyimide carrier), elongation and compression of up to 50,000 $\mu\text{m}/\text{m}$ (<5%) can be achieved at room temperature.

3 SG preparation

Strain gages supplied ex factory are in working condition and may only be handled with tweezers.

If the SG is contaminated during handling:

- ▶ Carefully clean the adhesive side of the SG with a cotton bud soaked in solvent (such as RMS1 or RMS1-SPRAY).
- ▶ Carefully allow any remaining solvent to evaporate.



Important

If the SG has an installation aid (adhesive tape), make sure that the adhesive film of the tape is not dissolved by the cotton bud and transferred to the SG.

4 Preparing the adhesive surfaces

4.1 General information

The installation quality basically depends on the preparation of the measuring point. The aim is to create a surface that is even and oxide-free so that it can be easily wetted.

The condition of the measurement object will determine which of the following steps are necessary.

4.2 Coarse cleaning

- ▶ Remove films of oxide and Eloxal, paint and other contamination from a generous area around the measuring point.

4.3 Degreasing

The choice of cleaning agent will depend on the type of impurity and the sensitivity of the material used in the workpiece being measured. Recommended for most applications is the cleaning agent RMS1 (HBM order no.: 1-RMS1 or 1-RMS1-SPRAY), a mixture of acetone and isopropanol. Powerful grease-dissolvers, such as methylethylketone or acetone, are also commonly used. Toluene is suitable for removing wax-like substances.

When larger areas are contaminated, it is advisable to first clean them with water and an abrasive agent.

- ▶ Wash over the surface to be cleaned with a piece of non-woven fabric soaked in solvent. First, clean a larger area around the measuring point, then clean ever smaller areas, so that dirt and impurities are not rubbed into the measuring point from the edges.



Important

You should **never** use a **solvent** that is **technically pure**; **chemical purity is essential**. The solvent must **never be taken directly** from the storage container, it is better to pour some solvent into a small, clean dish first, where you can then soak up the amount of solvent required with the non-woven fabric. On no account should any remaining liquid be poured back into the storage container as this would contaminate the contents.

4.4 Roughening

A slightly roughened surface provides a larger surface for the adhesive and therefore improves adhesion. You can obtain this kind of surface by sandblasting, etching or sanding with medium-coarse emery cloth.

- ▶ Corundum, which must be completely clean and should only be used once, is suitable for sandblasting. When using emery cloth (recommendation: 180 grain), the surface should be roughened in circles.

X60 can also be applied to smooth or polished areas if the surface of the measurement object must not be damaged.

The steps described below should be taken immediately after roughening to prevent the formation of new oxide films.

4.5 Fine cleaning

Carefully remove all dirt particles and dust.

- ▶ To do this, dip a pad of non-woven material using clean tweezers into one of the solvents mentioned above and then clean the measuring point.
- ▶ Only ever make a single stroke with each non-woven pad.
- ▶ Continue cleaning until there is no discoloration (contamination) on the non-woven pad. Make sure that the solvent has evaporated completely before taking any of the following steps.



Important

Do not use your breath to blow away any fluff that remains or touch the measuring point with your fingers after cleaning under any circumstances!

4.6 Preparation of non-metallic bonding surfaces

Non-metallic materials are generally handled in the same way as metals. The bonding surfaces must be grease-free and slightly roughened if possible. Polyolefine and untreated fluoropolymer cannot be bonded. We generally recommend carrying out tests beforehand to check bonding capability.



Important

Caution when using cleaning agents: Ensure that the cleaning agent does not dissolve or swell up the workpiece.

Roughening is not required for glass, porcelain and enamel.

For concrete, remove the cement suspension with a chisel or punch, or brush it out forcefully with a wire brush. Blow away the resulting dust with compressed air.

Porous surfaces (e.g. concrete): Seal with X60 to obtain a flat, sealed bonding surface. Mix a sufficient quantity of X60 and smooth it on with a spatula. You can bond the SG immediately after the sealing layer has been applied.

5 Preparing the SG installation



Important

Because the X60 adhesive reacts so rapidly, the SG can no longer be aligned after bonding has started. Comply with the following instructions:

When the SG has a lead, the solder terminal can be attached with the SG to the workpiece in a single operation.

- ▶ First, remove residual oxide from the soldering eyelets using an eraser pencil or similar.
- ▶ Then slide the solder terminal between the lead and the carrier of the SG.
- ▶ Shorten the lead (see Fig. 5.1a and Fig. 5.1b) and fix the solder terminal in position with adhesive tape.

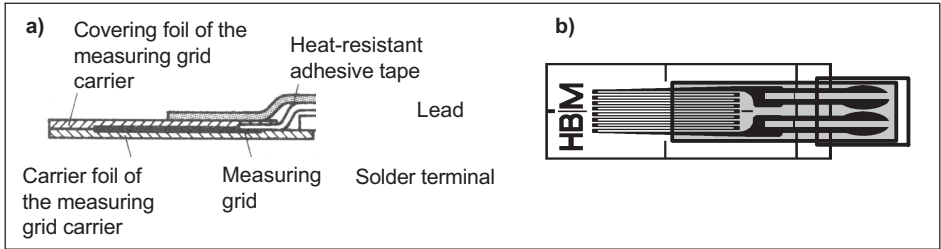


Fig. 5.1 Shorten the lead and connect to the SG

- ▶ Attach another piece of adhesive tape on top of the SG so that it overlaps on both sides.
- ▶ Place the SG on the measuring point and carefully align it. Now use the tweezers to press down firmly on one end of the adhesive strip, as far as the SG.
- ▶ Gently pull the adhesive tape on the opposite side of the SG up a little creating a hinge to lift up the SG without changing its position.

Any excess adhesive can escape via the sides of the SG that are not covered with an adhesive strip (Fig. 5.2).

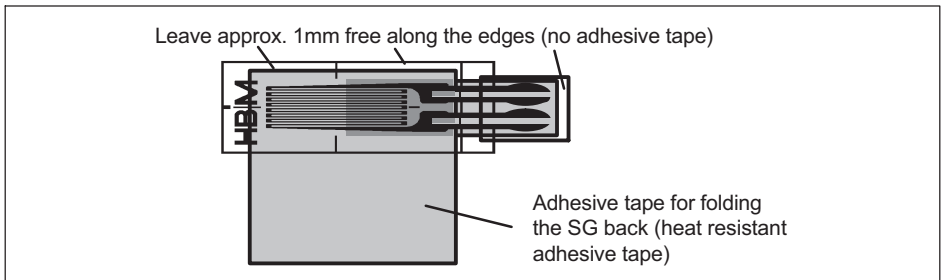


Fig. 5.2 Fixing the adhesive tape

- ▶ In SG without leads, create a hinge-like connection as shown in Fig. 5.3 (without additional solder terminals).

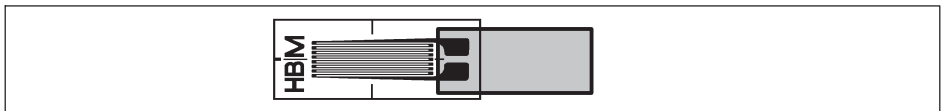


Fig. 5.3 Hinge-like connection for SG without lead

Unnecessary distribution of adhesive on the measurement object can be prevented by using a "mask".

- ▶ Apply adhesive tape around the installation area at a distance of approx. 5 to 10 mm (see Fig. 5.4).

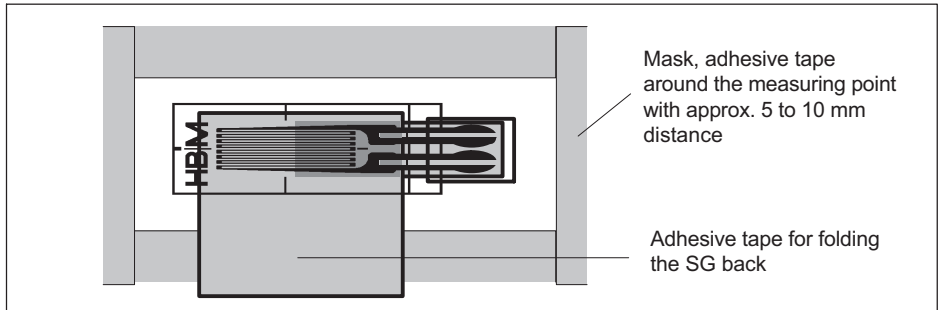


Fig. 5.4 Preparing the SG installation point

6 SG installation

6.1 Mixing the adhesive

- ▶ Add a sufficient quantity of the powder component A to one of the cups supplied in the package. A measuring spoon filled level to the edge is sufficient for an SG with up to 30 mm active length.



Important

Shake component B well before use

- ▶ Add component B (approx. 10 to 12 drops for 1 spoon of powder) and mix thoroughly with a stirrer or spatula.

The mixture must have a creamy consistency. Only mix as much adhesive as is required for one SG and use it immediately. The pot life, i.e. the time between mixing the adhesive and the start of curing, depends on the ambient temperature. It is approx. 30 minutes at 0°C, approx. 8-10 minutes at 20°C and approx. 2-4 minutes at 30°C.



Information

The new formulation used from 12/2018 will make component B significantly more viscous and dull.



Important

Adhesive that is already beginning to harden cannot be softened again for processing as component B is not a solvent, but a component of the adhesive that cures it chemically. Ensure that the hardening powder does not come into contact with the liquid component when using the adhesive. Even minute traces on the lip or cap of the bottle can lead to premature hardening of the entire liquid content.

6.2 Applying the adhesive

- ▶ Apply a generous amount of adhesive to the bonding area (approx. 0.5 mm thick) and fold the SG down onto the measuring point.
- ▶ Apply adhesive to the top of the SG as well.
- ▶ Cover with cellophane foil.
- ▶ Press the excess adhesive out on all sides with rolling movements of the thumb (do not twist or push!).
- ▶ The remaining adhesive layer should be as thin as possible. The adhesive on the top of the SG ensures that no air bubbles arise under the SG. Continue pressing with the thumb on the SG for min. 10 minutes at room temperature. The adhesive will then have bonded sufficiently to ensure the SG remains in position.

At temperatures around 0°C, continue to press the SG down for approx. 20 to 30 minutes with a pressure of approx. 10 to 20 N/cm². Use weights, spring pressure, magnets or similar to apply this pressure.

- ▶ As soon as the cellophane foil can be easily removed without residues, you can start to connect the cable to the SG.



Important

Avoid thick adhesive layers, particularly at low temperatures (e.g. -50 to -200°C), or high strains as thick layers have a tendency to crack off.

6.3 Curing

As with all chemical reactions, the curing speed depends on the ambient temperature or the temperature of the bonded component. Comply with the following minimum curing times before carrying out measurements:

Temperature in °C	Curing time in minutes	
	For non zero-point related measurements	For zero-point related measurements
20	10 ... 15	20 ... 30
0	50 ... 60	60 ... 90

You can shorten the curing time at low temperatures by careful warming, e.g. with an infrared lamp.

6.4 Further application options

If it is not possible to drill holes for clamps in the vicinity of the measuring point, you can also fix the measuring cable in place with X60 by embedding it in the adhesive mass at smaller or bigger spacings. X60 is also suitable for bonding solder terminals.

Do not use X60 to cover measuring points as a moisture barrier!

7 Storage

7.1 Minimum life

The minimum life of component B is printed on the bottle; this is at least one year when the bottle is closed and kept at room temperature.

Component B can be used as long as it is mixable with component A.

Intensive light (direct sunlight, ultraviolet light from mercury vapor/mixed light lamps and fluorescent tubes) can cause premature hardening or thickening of the liquid.

We recommend keeping the bottle in the closed packaging when it is not in use.

7.2 Refilling of bulk packs



Important

Component B is an inflammable fluid with a flash point of +15 °C (Abel-Pensky method). The normal professional rules for dealing with inflammable solvents and monomers must be followed.

Although X60 is physiologically harmless (it contains no halogens), we recommend that intensive contact with the skin is avoided and, after the refilling operation, the hands are washed with soap and water.

All the relevant details and regulations are summarized in the DIN safety data sheet (DIN 52900) which can be obtained from HBM if required.

Preparation

Remove the cover and dropper from the Component B bottle and rinse all parts in hot water. Any hardened remnants of adhesive will be removed by lengthy immersion in hot water. After this cleansing, the parts must be rinsed with adequately clean water. One must make certain that the bottle and dropper are absolutely clean. Leave the cleaned parts to dry completely in air in a place as well protected from dust as possible.

Filling

A polyethylene funnel is recommended for refilling the Component B. Extreme cleanliness is required. Above all, no particles of Component A must be on the bottle or in the air because these will make the adhesive unusable by premature hardening. For this reason one must always refill Component B first and the bottle of Component B must be shut tight before refilling Component A. The Component A powder can be transferred from one container to the other by using a spoon. No special precautions are necessary.

8 Specifications

Temperature limits		
For zero-point related measurements	°C	-200 ... +60
For non zero-point related measurements		-200 ... +60

Instructions for use | **Gebrauchsanweisung** |
Instructions d'emploi

English

Deutsch

Français



X60

1	Sicherheitshinweise	3
2	Allgemeines	3
2.1	Lieferumfang	3
2.2	Anwendungsbereich	4
2.3	Temperaturgrenzen	4
2.4	Dehnbarkeit	4
3	Vorbereiten der DMS	4
4	Klebeflächenvorbereitung	5
4.1	Allgemeines	5
4.2	Grobreinigung	5
4.3	Entfetten	5
4.4	Aufräuen	6
4.5	Feinreinigung	6
4.6	Vorbereiten nichtmetallischer Klebeflächen	7
5	Vorbereiten der DMS-Installation	7
6	Installation der DMS	9
6.1	Mischen des Klebstoffs	9
6.2	Auftragen des Klebstoffs	10
6.3	Aushärtung	11
6.4	Weitere Anwendungsmöglichkeiten	11
7	Lagerung	11
7.1	Mindesthaltbarkeit	11
7.2	Umfüllen von Großpackungen	12
8	Technische Daten	12

1 Sicherheitshinweise

Beachten Sie unbedingt die Angaben im Sicherheitsdatenblatt zum Produkt. Sie können das Sicherheitsdatenblatt über die Website von HBM herunterladen:

<http://www.hbm.com/sds/>.

2 Allgemeines

X60 besteht aus der pulverförmigen Komponente A und der flüssigen Komponente B.

2.1 Lieferumfang

- Komponente A (0,1 kg; 0,4 kg bei Nachfüllpackung X60-NP)
- Komponente B (2x40 ml; 320 ml bei Nachfüllpackung X60-NP)
- Anrührgefäße
- Rührstäbchen
- Zellophanfolien
- Messlöffel
- Gebrauchsanweisung

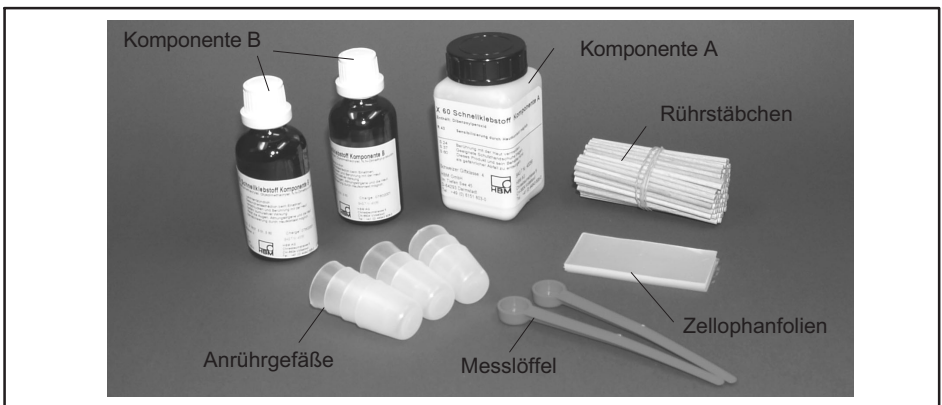


Abb. 2.1

2.2 Anwendungsbereich

Schnellklebstoff X60 ist zum Installieren von Dehnungsmessstreifen (DMS) bestimmt. Er ist geeignet für DMS der Serien:

Y, C, LD (optimale Eignung)

G, M

Der Klebstoff ist einfach und schnell anzuwenden. X60 bindet mit allen in der Technik üblicherweise verwendeten Metallen, mit einer Anzahl nichtmetallischer Stoffe (z. B. Beton, Porzellan, Glas) und einer Reihe von Kunststoffen.

Die Güte der Klebeverbindung muss vom Kunden qualifiziert und bewertet werden.

2.3 Temperaturgrenzen

- Für nullpunktbezogene Messungen: -200 °C bis +60°C.
- Für nicht nullpunktbezogene Messungen: -200 °C bis +60 °C.

Beachten Sie auch die in den technischen Daten für DMS oder Lötstützpunkte angegebenen Temperaturbereiche.

2.4 Dehnbarkeit

Die maximale Dehnbarkeit hängt von der Sauberkeit und dem zu beklebenden Werkstoff ab. Weiterhin sind Größe und Art des DMS sowie die Temperatur entscheidend. Zusammen mit Hochdehnungs-DMS (Polyimid-Träger) können Dehnungen und Stauungen von bis zu 50.000 µm/m (<5%) bei Raumtemperatur erreicht werden.

3 Vorbereiten der DMS

Die ab Werk gelieferten DMS sind gebrauchsfähig und dürfen nur noch mit einer Pinzette berührt werden.

Falls die DMS bei der Handhabung verschmutzt wurden:

- ▶ Reinigen Sie die Klebeseite der DMS vorsichtig mit einem in Lösungsmittel (z. B. RMS1 bzw. RMS1-SPRAY) getränkten Wattestäbchen.
- ▶ Lassen Sie Lösungsmittelreste sorgfältig ablüften.



Wichtig

Achten Sie bei DMS mit Installationshilfe (Klebeband) darauf, dass der Klebefilm des Klebebands nicht mit den Wattestäbchen angelöst und auf den DMS übertragen wird.

4 Klebeflächenvorbereitung

4.1 Allgemeines

Die Qualität der Installation hängt wesentlich von der Vorbereitung der Messstelle ab. Ziel ist es, eine gleichmäßige, oxidfreie und gut benetzbare Oberfläche zu schaffen.

Welche der nachfolgend beschriebenen Schritte notwendig sind, hängt vom Zustand des Messobjekts ab.

4.2 Grobreinigung

- ▶ Entfernen Sie Oxidschichten, Eloxalschichten, Farbanstriche und andere Verunreinigungen in einem großzügig bemessenen Umkreis um die Messstelle herum.

4.3 Entfetten

Die Wahl des Reinigungsmittels richtet sich nach Art der Verschmutzung und nach der Empfindlichkeit des Materials des zu messenden Werkstückes. Für die meisten Anwendungsfälle empfiehlt sich das Reinigungsmittel RMS1 (HBM-Bestell-Nr.: 1-RMS1 oder 1-RMS1-SPRAY), ein Gemisch aus Aceton und Isopropanol. Außerdem sind stark fettlösende Stoffe wie z. B. Methylethylketon oder Aceton gebräuchlich. Toluol eignet sich zum Entfernen wachsähnlicher Stoffe.

Wir empfehlen, bei starker Verschmutzung größere Flächen zunächst mit Wasser und Scheuermittel zu reinigen.

- ▶ Waschen Sie die zu reinigende Fläche mit einem lösungsmittelgetränkten Vliesstoff ab. Reinigen Sie zunächst eine größere Fläche um die Messstelle herum, dann immer kleinere Flächen, um nicht von den Rändern her Schmutz in die Messstelle einzubringen.



Wichtig

Verwenden Sie **niemals** ein **Lösungsmittel** von nur **technischer Reinheit**; **chemische Reinheit ist unbedingt erforderlich**. Schütten Sie das Lösungsmittel zunächst in eine kleine saubere Schale, aus der Sie dann mit dem Vliesstoff das Lösungsmittel aufsaugen, verwenden Sie es **nicht direkt** aus dem Vorratsbehälter. Auf keinen Fall dürfen Reste in den Vorratsbehälter zurückgeschüttet werden, da dann der gesamte Inhalt des Vorratsbehälters verschmutzt wird.

4.4 Aufrauen

Eine leicht aufgeraute Oberfläche bietet dem Klebstoff eine vergrößerte Oberfläche für eine verbesserte Haftung. Sie erreichen eine solche Oberfläche durch Sandstrahlen, Beizen oder durch Schleifen mit mittelgrobem Schmirgelleinen.

- ▶ Zum Sandstrahlen eignet sich Stahlkorund, der absolut sauber sein muss und nur einmal verwendet werden sollte. Bei der Verwendung von Schmirgelleinen (Empfehlung: Körnung 180) sollten Sie mit kreisenden Bewegungen aufrauen.

Wenn die Oberfläche des Messobjekts nicht verletzt werden darf, können Sie X60 auch an glatten oder polierten Flächen anwenden.

Die nachfolgenden Arbeitsvorgänge sollten unmittelbar nach dem Aufrauen erfolgen, um zu verhindern, dass sich erneut Oxidschichten bilden.

4.5 Feinreinigung

Entfernen Sie sorgfältig alle Schmutzpartikel und Staub.

- ▶ Tauchen Sie dazu mit einer sauberen Pinzette ein Vliesstoffpad in eines der oben genannten Lösungsmittel und reinigen Sie damit die Messstelle.
- ▶ Führen Sie jeweils nur einen Strich mit einem Vliesstoffpad aus.
- ▶ Wiederholen Sie die Reinigung so lange, bis der Vliesstoff keine Verfärbung (Verunreinigung) mehr zeigt. Achten Sie darauf, dass das Lösungsmittel vollständig verdunstet, bevor Sie mit den nachfolgenden Arbeitsschritten beginnen.



Wichtig

Blasen Sie zurückgebliebene Fussel auf keinen Fall mit Atemluft weg und berühren Sie die Messstelle nicht mehr mit den Fingern!

4.6 Vorbereiten nichtmetallischer Klebeflächen

Nichtmetallische Werkstoffe werden prinzipiell in der gleichen Weise behandelt wie Metalle. Die Klebeflächen müssen fettfrei und nach Möglichkeit etwas aufgeraut sein.

Nicht beklebbar sind Polyolefine und unbehandeltes Fluorpolymer. Generell empfehlen wir, die Bindefähigkeit durch Vorversuche zu testen.



Wichtig

Vorsicht bei der Verwendung von Reinigungsmitteln: achten Sie darauf, dass das Reinigungsmittel das Werkstück nicht anlässt oder anquillt.

Bei Glas, Porzellan und Emaille können Sie auf das Aufrauen verzichten.

An Beton entfernen Sie die Zementsuspension mit Meißel oder Körner oder bürsten Sie sie mit einer Drahtbürste kräftig heraus. Blasen Sie den entstandenen Staub mit Pressluft weg.

Poröse Flächen (z. B. Beton): mit X60 „spachteln“, um ebene, geschlossene Klebeflächen zu schaffen. Mischen Sie eine ausreichende Menge X60 und tragen Sie ihn mit einem Spachtel glatt auf. Sie können den DMS sofort nach dem Anziehen der Spachtelschicht kleben.

5 Vorbereiten der DMS-Installation



Wichtig

Infolge der kurzen Reaktionszeit des Klebstoffs X60 ist ein Ausrichten des DMS nicht mehr möglich, nachdem der Klebevorgang begonnen wurde. Beachten Sie deshalb die nachfolgenden Hinweise.

Bei DMS mit Anschlussbändchen kann der Lötstützpunkt in einem Arbeitsgang mit dem DMS auf das Werkstück aufgebracht werden.

- ▶ Befreien Sie zunächst die Lötäugen des Stützpunktes mit einem Radierstift oder ähnlichem von Oxidresten.
- ▶ Schieben Sie den Lötstützpunkt zwischen Bändchen und Träger des DMS.

- ▶ Kürzen Sie die Anschlussbändchen (siehe Abb. 5.1a und Abb. 5.1b) und fixieren Sie den Lötstützpunkt mit einem Stück Klebeband.

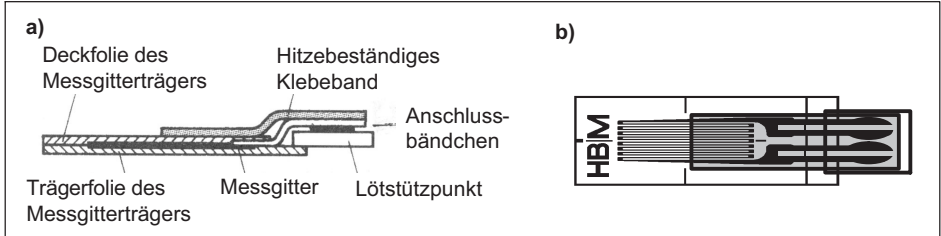


Abb. 5.1 Anschlussbändchen kürzen und mit DMS verbinden

- ▶ Kleben Sie ein weiteres Stück Klebeband beidseitig überlappend auf die Oberseite des DMS.
- ▶ Legen Sie den DMS auf die Messstelle und richten Sie ihn sorgfältig aus. Drücken Sie dann ein Ende des Klebestreifens bis an den DMS mit der Pinzette fest an.
- ▶ Ziehen Sie an der gegenüberliegenden Seite den DMS mit Klebeband wieder etwas ab, so dass ein Scharnier entsteht, mit dem der DMS angehoben werden kann, ohne dass sich seine Position verändert.

Durch die nicht mit Klebstreifen abgedeckten Seiten des DMS kann überschüssiger Klebstoff entweichen (Abb. 5.2).

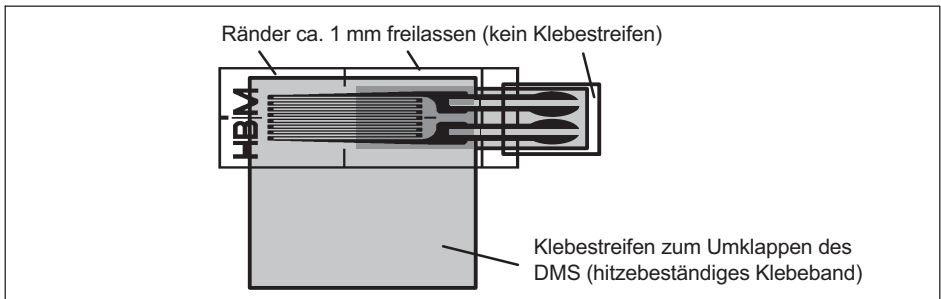


Abb. 5.2 Fixieren des Klebebandes

- ▶ Stellen Sie bei DMS ohne Anschlussbändchen die scharnierartige Verbindung nach Abb. 5.3 her (ohne zusätzliche Lötstützpunkte).

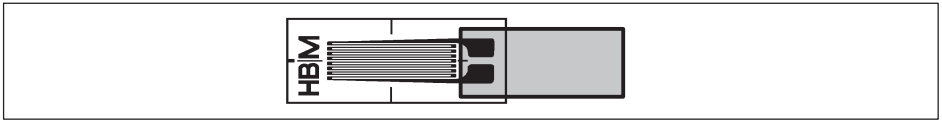


Abb. 5.3 Scharnierartige Verbindung bei DM ohne Anschlussbändchen

Mit einer „Maske“ wird unnötiges Verteilen von Klebstoff auf dem Messobjekt verhindert.

- ▶ Bringen Sie ein Klebeband im Abstand von ca. 5 bis 10 mm um die Installationsfläche an (siehe Abb. 5.4).

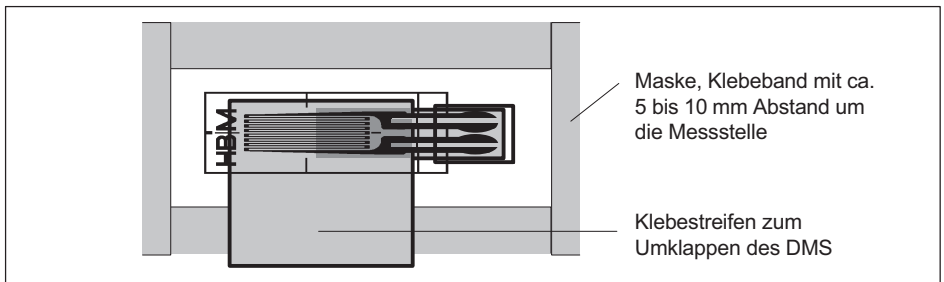


Abb. 5.4 Vorbereiten der DMS-Installationsstelle

6 Installation der DMS

6.1 Mischen des Klebstoffs

- ▶ Füllen Sie in eines der den Packungen beiliegenden Näpfchen eine ausreichende Menge des Pulvers Komponente A. Eine gestrichen gefüllte Kelle reicht für einen DMS bis 30 mm aktiver Länge aus.



Wichtig

Komponente B vor Gebrauch gut schütteln.

- ▶ Geben Sie Komponente B hinzu (ca. 10 bis 12 Tropfen auf 1 Kelle Pulver) und mischen Sie mit einem Rührstäbchen oder Spachtel gut durch.



Information

Mit der neuen Rezeptur ab 12/2018 ist die Komponente B deutlich viskoser und trüber.

Die Mischung muss cremartig werden. Rühren Sie jeweils nur so viel Klebstoff an, wie für einen DMS gebraucht wird und verarbeiten Sie diesen sofort. Die Topfzeit, das ist die Zeit vom Anrühren des Klebstoffs bis zum Beginn des Erhärtens, hängt von der Umgebungstemperatur ab. Sie beträgt bei 0 °C ca. 30 min, bei 20 °C ca. 8-10 min und bei 30 °C ca. 2-4 min.



Wichtig

Bereits steif werdender Klebstoff lässt sich durch Zusatz von Flüssigkeit auf keinen Fall wieder verarbeitungsfähig machen, denn die Komponente B ist kein Lösungsmittel, sondern ein in chemischer Reaktion aushärtender Bestandteil des Klebstoffs. Achten Sie auch darauf, dass das Härtepulver nicht mit der flüssigen Komponente in Berührung kommt. Selbst kleine Spuren am Ausguss oder Verschluss der Flasche können vorzeitige Erhärtung des gesamten Inhalts bewirken.

6.2 Auftragen des Klebstoffs

- ▶ Tragen Sie auf die Klebestelle reichlich Klebstoff auf (ca. 0,5 mm dick) und klappen Sie den DMS auf die Messstelle zurück.
- ▶ Tragen Sie auch Klebstoff auf der Oberseite des DMS auf.
- ▶ Decken Sie die Zellophanfolie darüber.
- ▶ Pressen Sie den Klebstoffüberschuss mit abrollenden Bewegungen des Daumens allseitig heraus (nicht zerren oder schieben!).
- ▶ Die verbleibende Klebstoffschicht soll möglichst dünn werden. Der Klebstoff auf der Oberseite des DMS verhindert, dass sich Luftblasen unter den DMS ziehen. Bei Raumtemperatur den DMS noch mindestens 10 Minuten lang mit dem Daumen andrücken. Der Klebstoff ist dann soweit abgebunden, dass der DMS in Position bleibt.

Bei Temperaturen um 0 °C den DMS ca. 20 bis 30 Minuten lang mit ca. 10 bis 20 N/cm² andrücken. Sie können den Druck durch Gewichte, Federdruck, Magnete o. Ä. aufbringen.

- ▶ Sobald sich die Zellophanfolie leicht und rückstandslos abziehen lässt, können Sie mit dem Anschließen der Kabel an den DMS beginnen.



Wichtig

Vermeiden Sie dicke Klebstoffschichten, insbesondere bei tiefen Temperaturen (z. B. -50 bis -200 °C) oder hohen Dehnungen, da dicke Schichten zum Abspringen neigen.

6.3 Aushärtung

Wie bei allen chemischen Reaktionen, hängt die Härtegeschwindigkeit von der Umgebungstemperatur bzw. der Temperatur des beklebten Bauteils ab. Halten Sie bis zum Beginn der Messung nachstehende Mindesthärtezeiten ein:

Temperatur in °C	Aushärtezeit in Minuten	
	nicht nullpunktbez. Messungen	nullpunktbez. Messungen
20	10 ... 15	20 ... 30
0	50 ... 60	60 ... 90

Bei niedriger Temperatur können Sie die Härtezeit durch vorsichtige Erwärmung, z. B. mit einem Infrarotstrahler, abkürzen.

6.4 Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Wenn in der Umgebung der Messstelle keine Bohrungen für Schellen usw. angebracht werden dürfen, können Sie auch das Messkabel mit X60 befestigen, indem Sie es – je nach Bedarf – in kleineren oder größeren Abständen in die Masse einbetten. Ebenso eignet sich X60 zum Befestigen von Lötstützpunkten.

Verwenden Sie X60 nicht zum Abdecken von Messstellen als Feuchtigkeitsschutz!

7 Lagerung

7.1 Mindesthaltbarkeit

Die Mindesthaltbarkeit der Komponente B ist auf der Flasche angegeben; sie beträgt bei geschlossener Flasche und bei Raumtemperatur mindestens ein Jahr.

Die Komponente B ist gebrauchsfähig, solange sie mit Komponente A mischfähig ist. Intensive Lichteinwirkung (direkte Sonneneinstrahlung, ultraviolettes Licht von Quecksilberdampf-, Mischlichtlampen und Leuchtstoffröhren) kann die Flüssigkeit vorzeitig erhärten oder eindicken lassen.

Wir empfehlen, die Flasche in der geschlossenen Packung zu verwahren, solange sie nicht gebraucht wird.

7.2 Umfüllen von Großpackungen



Wichtig

Die Komponente B ist eine brennbare Flüssigkeit mit einem Flammpunkt von +15 °C (Abel-Pensky). Die für brennbare Lösungsmittel und Monomere gültigen berufs-genossenschaftlichen Vorschriften sind zu befolgen.

Obwohl X60 physiologisch unbedenklich ist (es enthält keine Halogene), empfehlen wir, intensive Benetzung der Haut zu vermeiden und nach dem Umfüllen die Hände mit Wasser und Seife zu waschen.

Alle spezifischen Daten und Vorschriften sind im DIN-Sicherheitsdatenblatt (DIN 52900) zusammengefasst, welches bei Bedarf von HBM angefordert werden kann.

Man entferne Deckel und Tropfeinsatz von der Flasche für Komponente B und spüle alle Teile in heißem Wasser. Etwaige verhärtete Klebstoffreste werden durch längeres Einweichen in heißem Wasser beseitigt. Nach dem Auswaschen sind die Teile mit klarem Wasser reichlich nachzuspülen. Es ist darauf zu achten, dass Flasche und Tropfeinsatz nach dem Spülen absolut sauber sind. Die gereinigten Teile lässt man an der Luft, an einem möglichst staubarmen Ort, völlig austrocknen.

Umfüllen

Zum Umfüllen der Komponente B wird die Verwendung eines Trichters aus Polyäthylen empfohlen. Es ist äußerste Sauberkeit geboten. Vor allem dürfen keine Staubreste von Komponente A an der Flasche oder in der Luft vorhanden sein, da diese den Klebstoff vorzeitig unbrauchbar machen. Man sollte aus diesem Grunde immer zuerst die Komponente B umfüllen und die Flasche für Komponente B vor dem Umfüllen von Komponente A fest verschließen.

Die Komponente A kann mit einem Löffel von einem Gefäß in das andere gefüllt werden, wobei keine besonderen Vorkehrungen zu treffen sind.

8 Technische Daten

Temperaturgrenzen		
bei nullpunktbezogenen Messungen	°C	-200 ... +60
bei nicht nullpunktbezogenen Messungen		-200 ... +60

Instructions for use | Gebrauchsanweisung |
Instructions d'emploi

English

Deutsch

Français



X60

1	Consignes de sécurité	3
2	Généralités	3
2.1	Étendue de la livraison	3
2.2	Champ d'application	4
2.3	Limites de température	4
2.4	Allongement	4
3	Préparation de la jauge	4
4	Préparation de la surface d'encollage	5
4.1	Généralités	5
4.2	Nettoyage préliminaire	5
4.3	Dégraissage	5
4.4	Râpage	6
4.5	Nettoyage de finition	6
4.6	Préparation de surfaces d'encollage non métalliques	7
5	Préparation de l'installation de jauges	7
6	Installation de la jauge d'extensométrie	9
6.1	Mélange de la colle	9
6.2	Application de la colle	10
6.3	Polymérisation	11
6.4	Autres possibilités d'utilisation	11
7	Stockage	12
7.1	La date limite d'utilisation optimale	12
7.2	Transvaser de grands conditionnements	12
8	Caractéristiques techniques	13

1 Consignes de sécurité

Respectez impérativement les indications fournies dans la fiche technique de sécurité relative au produit. Vous pouvez télécharger cette fiche technique de sécurité sur le site Internet de HBM : <http://www.hbm.com/sds/>.

2 Généralités

La colle X60 est constituée d'un composant pulvérulent A et d'un composant liquide B.

2.1 Étendue de la livraison

- Composant A (0,1 kg ; 0,4 kg pour la recharge X60-NP)
- Composant B (2x40 ml ; 320 ml pour la recharge X60-NP)
- Godets de mélange
- Agitateurs
- Feuilles de cellophane
- Cuillères de mesure
- Instructions de service

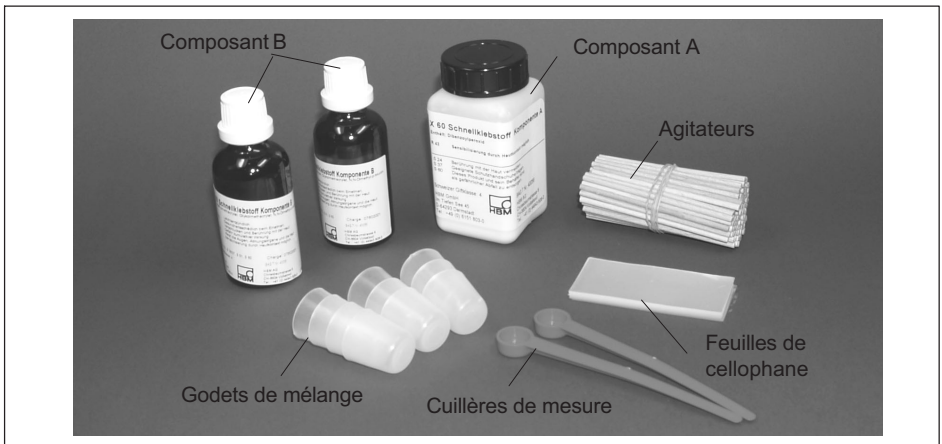


Fig. 2.1

2.2 Champ d'application

La colle rapide X60 est conçue pour l'installation de jauges d'extensométrie des séries :

Y, C, LD (convient parfaitement)

G, M

Cette colle est simple et rapide à utiliser. La X60 adhère sur tous les métaux couramment utilisés dans cette technique, sur un certain nombre de matières non métalliques (par ex. béton, porcelaine, verre) et sur plusieurs matières plastiques.

La qualité de la jonction par collage doit être qualifiée et évaluée par le client.

2.3 Limites de température

- Pour des mesures par rapport au zéro : -200°C à $+60^{\circ}\text{C}$.
- Pour des mesures sans rapport au zéro : -200°C à $+60^{\circ}\text{C}$.

Respectez également les plages de température indiquées dans les caractéristiques techniques des jauges ou des cosses relais.

2.4 Allongement

L'allongement maximum dépend de la propreté et du matériau support. La taille et le type de jauge ainsi que la température sont également déterminants. Avec des jauges pour grandes déformations (support en polyimide), il est possible d'atteindre des allongements et des compressions jusqu'à $50\,000\ \mu\text{m}/\text{m}$ ($< 5\%$) à température ambiante.

3 Préparation de la jauge

Les jauges d'extensométrie sortant de l'usine sont prêtes à l'emploi et ne peuvent plus être manipulées qu'avec une pincette.

Si les jauges ont été salies lors de leur manipulation :

- ▶ Nettoyez délicatement le côté encollé de la jauge d'extensométrie à l'aide de cotons-tiges imbibés de solvant (par ex. du RMS1 ou RMS1-SPRAY).
- ▶ Laissez les restes de solvant s'évaporer.



Important

Pour les jauges avec aide à l'application (ruban adhésif), veillez à ce que le film adhésif du ruban ne soit pas attaqué par les cotons-tiges et transféré sur la jauge.

4 Préparation de la surface d'encollage

4.1 Généralités

La qualité de l'installation dépend essentiellement de la préparation du point de mesure. Le but est d'obtenir une surface uniformément, exempte d'oxydes et facile à enduire.

Selon l'état de l'échantillon, il faudra effectuer une ou plusieurs des étapes décrites ci-dessous.

4.2 Nettoyage préliminaire

- ▶ Enlevez les couches d'oxyde, les couches d'anodisation, les restes de peinture et autres souillures dans un périmètre généreux autour du point de mesure.

4.3 Dégraissage

Le choix du produit de nettoyage est fonction de la nature et du degré de salissure, ainsi que de la sensibilité du matériau de la pièce à mesurer. Dans la majorité des cas, le produit de nettoyage RMS1 (n° de commande HBM : 1-RMS1 ou 1-RMS1-SPRAY), mélange d'acétone et d'isopropanol, est tout indiqué. Par ailleurs, des solvants dégraissants performants, tels que le méthyléthylcétone ou l'acétone, peuvent être utilisés. Le toluène est particulièrement adapté pour enlever les matières cireuses ou similaires.

Pour les surfaces plus importantes très sales, nous conseillons de commencer par un nettoyage à l'eau et au produit récurant.

- ▶ Lavez la surface à nettoyer avec un chiffon non tissé imprégné de solvant. Nettoyez tout d'abord une grande surface autour du point de mesure, puis des surfaces de plus en plus petites rapprochées de ce point, afin de ne pas entraîner de saletés du périmètre extérieur.



Important

N'employez **jamais** des **solvants** de **grande pureté technique**. En revanche, il est **absolument indispensable** d'utiliser des solvants de **grande pureté chimique**. Versez tout d'abord le solvant dans une coupelle propre et imprégnez le chiffon dans celle-ci. Ne le faites **pas directement** à partir du bidon. Ne jamais verser dans le bidon un reste éventuel sous peine de contaminer tout le contenu du bidon.

4.4 Râpage

Une surface légèrement râpée offre une plus grande surface et donc une meilleure adhérence pour la colle. Vous pouvez obtenir une telle surface par sablage, décapage ou par ponçage avec une toile émeri de grain moyen.

- ▶ Pour la méthode du sablage, le corindon devra être absolument propre et neuf (à jeter après emploi). En cas d'utilisation d'une toile émeri (recommandation: un grain de 180), râper en procédant par mouvements circulaires.

Si la surface de l'échantillon ne doit pas être modifiée, la colle X60 peut aussi être appliquée sur des surfaces lisses ou polies.

Les opérations suivantes doivent être effectuées immédiatement après le râpage de façon à éviter toute nouvelle formation de couches d'oxyde.

4.5 Nettoyage de finition

Éliminez soigneusement toutes les particules de saleté et de poussière.

- ▶ Imbibez pour cela un chiffon non tissé d'un des solvants susmentionnés à l'aide d'une pincette propre et nettoyez le point de mesure.
- ▶ Ne faites qu'un seul passage sur la surface avec le chiffon.
- ▶ Changez le chiffon et répétez cette opération autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que le chiffon ne change plus de couleur (présence d'impuretés). Veillez à ce que le solvant utilisé soit complètement évaporé avant de poursuivre les opérations.



Important

N'éliminez surtout pas les fibres de chiffon éventuellement présentes en soufflant dessus et ne touchez plus le point de mesure avec les doigts !

4.6 Préparation de surfaces d'encollage non métalliques

Les matières non métalliques se traitent en principe de la même manière que les métaux. Les surfaces d'encollage doivent être exemptes de graisse et si possible légèrement rugueuses.

Le polyoléfine et le polymère fluoré non traité ne peuvent pas être collés. Nous conseillons d'une manière générale de tester la capacité de liaison en effectuant des essais préalables.



Important

Attention en cas d'utilisation de produits de nettoyage : veillez à ce que le produit de nettoyage n'attaque pas ou ne fasse pas gonfler la pièce.

Pour le verre, la porcelaine et l'émail, il n'est pas nécessaire de procéder au râpage.

Sur le béton, éliminez le coulis de ciment à l'aide d'un burin ou d'un poinçon, ou encore en brossant énergiquement avec une brosse métallique. Enlevez la poussière qui en résulte en soufflant de l'air comprimé.

Surfaces poreuses (par ex. le béton) : égalisez en appliquant de la X60 à la spatule pour obtenir des surfaces d'encollage planes et continues. Mélangez une quantité suffisante de X60 et appliquez-la en une surface lisse à l'aide d'une spatule. Vous pouvez coller la jauge dès que la couche de colle a été appliquée à la spatule.

5 Préparation de l'installation de jauges



Important

En raison du temps de réaction très court de la colle X60, il n'est plus possible de repositionner la jauge une fois que le collage a commencé. Il est important, pour cette raison, de respecter les remarques suivantes.

Sur les jauges à pattes de raccordement, la cosse relais peut être appliquée en une étape avec la jauge sur la pièce.

- ▶ Éliminez dans un premier temps tout reste d'oxyde des pastilles de soudure de la cosse relais à l'aide d'un crayon-gomme ou autre moyen similaire.
- ▶ Insérez la cosse relais entre les pattes et le support de la jauge.

- ▶ Raccourcissez les pattes de raccordement (voir Fig. 5.1a et Fig. 5.1b) et fixez la cosse relais avec du ruban adhésif.

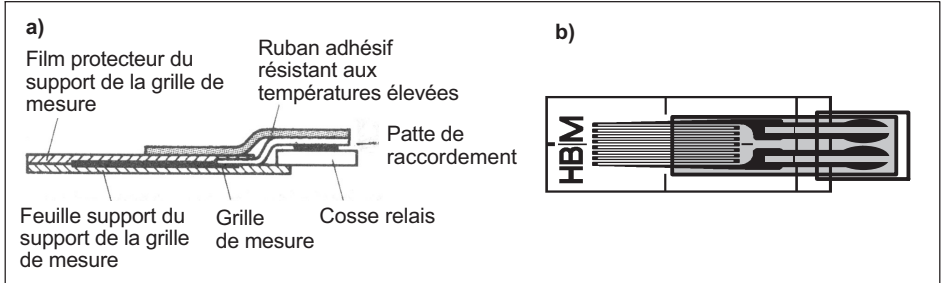


Fig. 5.1 Raccourcir les pattes et les relier à la jauge

- ▶ Collez ensuite un autre bout de ruban adhésif sur le dessus de la jauge en le laissant dépasser de chaque côté.
- ▶ Posez la jauge sur le point de mesure et alignez-la soigneusement. Rabattez alors une extrémité du ruban adhésif sur la jauge à l'aide de la pincette.
- ▶ Tirez de nouveau sur le ruban adhésif de l'autre côté de la jauge de façon à former une charnière qui permettra de soulever la jauge sans modifier sa position.

La colle superflue peut s'échapper par les côtés de la jauge qui ne sont pas recouverts de ruban adhésif (Fig. 5.2).

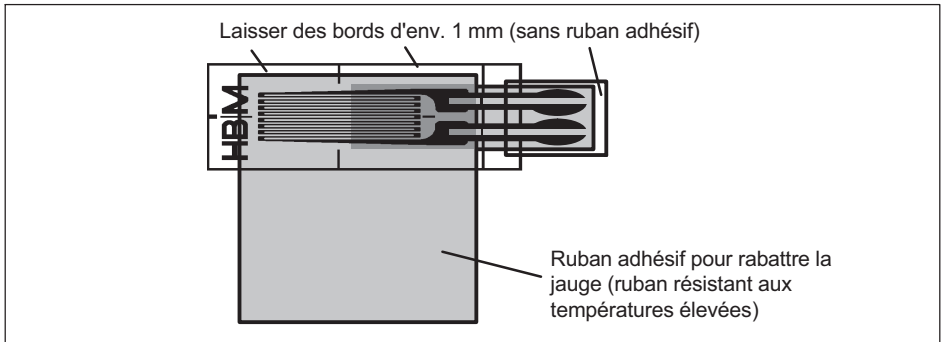


Fig. 5.2 Fixation du ruban adhésif

- Pour les jauges sans pattes de raccordement, réalisez la charnière comme indiqué sur la Fig. 5.3 (sans cosses relais supplémentaires).

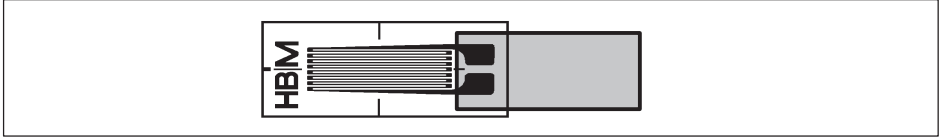


Fig. 5.3 Charnière sur jauge sans pattes de raccordement

L'utilisation d'un "masque" permet d'éviter de trop étaler la colle sur l'échantillon.

- Placez un ruban adhésif tout autour de la surface d'installation en observant un écart de 5 à 10 mm (voir Fig. 5.4).

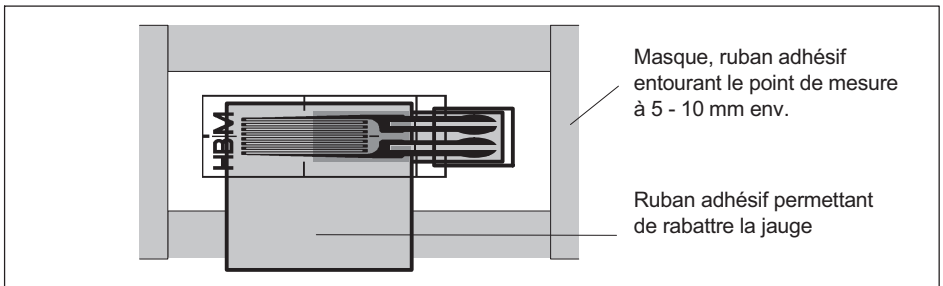


Fig. 5.4 Préparation du point d'installation de la jauge

6 Installation de la jauge d'extensométrie

6.1 Mélange de la colle

- Dans l'un des petits godets fournis, versez une quantité suffisante de poudre A. Une cuillère rase suffit pour une jauge de 30 mm de longueur active.



Important

Bien agiter le composant B avant de l'utiliser

- ▶ Ajoutez le composant B (env. 10-12 gouttes pour 1 cuillère de poudre) et mélangez à l'aide d'un agitateur ou d'une spatule.



Information

Dans la nouvelle recette proposée à partir de 12/2018, le composant B est nettement plus visqueux et trouble.

Le mélange doit devenir onctueux. Ne préparez que la quantité de colle dont vous avez besoin pour une jauge et utilisez-la immédiatement. La durée de fluidité, c'est-à-dire le temps entre la préparation de la colle et le début du durcissement, dépend de la température ambiante. Elle est d'env. 30 min. à 0°C, d'env. 8-10 min. à 20°C et d'env. 2-4 min. à 30°C.



Important

Il ne faut en aucun cas ajouter du liquide à une colle déjà durcie pour la rendre à nouveau utilisable. En effet, le composant B n'est pas un solvant, mais un élément de la colle qui durcit par réaction chimique.

Veillez à ce que le durcisseur pulvérulent n'entre pas en contact avec le composant liquide. Même de petites traces sur le bec ou le bouchon du flacon peuvent entraîner le durcissement prématuré de tout le contenu.

6.2 Application de la colle

- ▶ Appliquez une couche épaisse de colle (env. 0,5 mm d'épaisseur) sur le point à coller et rabattez la jauge sur le point de mesure.
- ▶ Mettez également de la colle sur le dessus de la jauge.
- ▶ Placez une feuille de cellophane par dessus.
- ▶ Chassez le surplus de colle sur les côtés par des mouvements de roulement du pouce (ne pas tirer ou pousser !).
- ▶ La couche de colle restante doit être aussi mince que possible. La colle sur le dessus de la jauge permet d'éviter la formation de bulles d'air sous la jauge. À température ambiante, maintenez la pression sur la jauge pendant encore 10 minutes avec le pouce. La colle a alors suffisamment pris pour que la jauge reste en position.

À des températures proches de 0°C, il faut appliquer une pression de 10 à 20 N/cm² environ sur la jauge pendant environ 3 minutes. Cette pression peut être obtenue à l'aide de poids, de ressorts, d'aimants ou d'un autre moyen similaire.

- Dès que la feuille de cellophane se détache facilement sans laisser de trace, vous pouvez commencer à raccorder les câbles à la jauge.



Important

Évitez les couches de colle trop épaisses, notamment en cas de basses températures (par ex. de -50 à -200°C) ou d'allongements importants, car les couches épaisses ont tendance à se détacher.

6.3 Polymérisation

Comme pour toutes les réactions chimiques, la vitesse de polymérisation dépend de la température ambiante et de la température de l'élément à coller. Respectez les temps de polymérisation minimum suivants avant de commencer la mesure :

Température en °C	Temps de polymérisation en minutes	
	pour des mesures sans rapport au zéro	pour des mesures par rapport au zéro
20	10 ... 15	20 ... 30
0	50 ... 60	60 ... 90

Si la température est basse, vous pouvez réduire le temps de polymérisation en chauffant prudemment, par exemple avec un évaporateur à infrarouge.

6.4 Autres possibilités d'utilisation

S'il est impossible de percer des trous pour des brides ou autres à proximité du point de mesure, vous pouvez également coller le câble de mesure avec la X60 en l'enfonçant dans la masse de colle à intervalles plus ou moins espacés selon les besoins. La colle X60 permet également de fixer des cosses relais.

En revanche, n'utilisez pas la X60 pour protéger des points de mesure contre l'humidité !

7 Stockage

7.1 La date limite d'utilisation optimale

La date limite d'utilisation du composant B est indiquée sur le flacon ; elle est d'au moins un an à température ambiante, flacon fermé.

Le composant B peut être utilisé tant qu'il est miscible avec composant A.

Une luminosité intensive (rayonnement direct du soleil, lumière ultraviolette de lampes à vapeur de mercure, lampes à éclairage mixte à vapeur de mercure et tubes fluorescents) peut accélérer le durcissement ou l'épaississement du liquide.

Nous conseillons de conserver le flacon dans son emballage fermé tant qu'il n'est pas utilisé.

7.2 Transvaser de grands conditionnements



Important

Le composant B est une liquide inflammable dont le point de flamme est de +15 °C (Abel-Pensky). Il est conseillé d'observer les précautions relatives à la manipulation des solvants et des monomères.

Bien que X60 soit physiologiquement inoffensif (ne contient pas d'halogènes), nous conseillons d'éviter les contacts intensifs avec la peau et, de toute façon, de se laver très soigneusement les mains après chaque manipulation.

Travail préliminaire

Enlever le couvercle et le compte-gouttes de la bouteille du composant B et nettoyer tous les éléments à l'eau chaude. Les restes de colle durcis disparaissent après trempage prolongé dans l'eau chaude. Après le nettoyage, rincer abondamment toutes les parties à l'eau claire. Il faut s'assurer que la bouteille et le compte-gouttes soient parfaitement propres après rinçage. Laisser sécher ensuite les parties nettoyées à l'air dans un endroit exempt de poussière.

Remplissage

Pour remplir le composant B, il est conseillé, d'utiliser un entonnoir très propre en polyéthylène. S'assurer que l'endroit soit exempt de poussière et surtout, qu'il n'y ait pas de produit du composant A sur ou dans la bouteille, et que l'air n'en contienne pas en

suspension. Cela conduirait à la détérioration rapide du composant B. Pour cette raison, il est conseillé de transvaser d'abord le composant B, de bien reboucher la bouteille et de transvaser ensuite le composant A.

Le composant A peut être transvasé au moyen d'une cuiller, sans précautions particulières.

8 Caractéristiques techniques

Limites de température		
Pour des mesures par rapport au zéro	°C	-200 ... +60
Pour des mesures sans rapport au zéro		-200 ... +60

HBM Test and Measurement

Tel. +49 6151 803-0

Fax +49 6151 803-9100

info@hbm.com

measure and predict with confidence



A01650_04_Y00_00 7-0104-0033 HBM: public

www.hbm.com