

Versuch 2 :
Sensoren und Brückenschaltungen
(Stand 11.2011)

Inhaltsverzeichnis

1. EINFÜHRUNG	2
1.1 VERSUCHSINHALTE UND VERSUCHSAUSSTATTUNG	2
1.2 VERWENDETE GERÄTE UND SENSOREN	2
1.3 VORBEREITUNG, PROTOKOLLERSTELLUNG UND AUSARBEITUNG	2
2. ARBEITSPUNKTE	3
2.1 MESSOBJEKT FÜR TEMPERATURMESSUNG VORHEIZEN	3
2.2 INNENWIDERSTAND DES DMM 34410A BEI KLEINEN STROMMESSBEREICHEN	3
2.3 ÜBERTRAGUNGSKENNLINIE UND EMPFINDLICHKEIT EINER VIERTELBRÜCKE	5
2.4 TEMPERATURMESSUNG MIT DIGITALMULTIMETERN	8
2.5 DC-BRÜCKE MIT DEHNUNGSMESSSTREIFEN	10
2.5.1 <i>Empfindlichkeit einer DMS-Brücke</i>	10
2.5.2 <i>Temperaturabhängigkeit einer DMS-Brücke</i>	11
2.6 AC-BRÜCKE MIT DEHNUNGSMESSSTREIFEN	13

1. Einführung

1.1 Versuchsinhalte und Versuchsausstattung

- Präzisionsmessung mit Digitalmultimetern (DMM), Rückwirkungsfehler (Erzielbare Genauigkeit kennen lernen, wenn korrekt gemessen wird!)
- Temperaturmessung mit DMM's; 2-Leiter und 4-Leiter Anordnungen
- Gleichstrom- und Wechselstrombrücken im Ausschlagverfahren, Dehnungsmessstreifen, Störgrößen, Fehlerfortpflanzung

1.2 Verwendete Geräte und Sensoren

Folgende Geräte werden bei der Versuchsdurchführung verwendet:

- Arbeitsplatzrechner mit Intel i5 CPU (2,8 GHz) mit eingebauter PCIe-DAQ-Karte 6361E von National Instruments, auf dessen Ein-/Ausgänge über einen BNC-Connector-Bloch (BNC-2110) zugegriffen werden kann. [Weitere Infos zur DAQ-Karte](#) und zum [Connector-Block](#)
- Digitalmultimeter Agilent 34410A mit GPIB-, USB- und LAN-Schnittstelle (verwendet) [Weitere Infos zum 34410A](#)
- Handmultimeter/Leistungsmessgerät Metrahit Energy – [weitere Infos zum Metrahit](#)
- Funktionsgenerator Agilent 33521A mit USB- und LAN-Schnittstelle (verwendet) [Weitere Infos zum Funktionsgenerator](#)
- Programmierbares DC-Netzgerät Agilent E3648A mit zwei Ausgängen als Spannungs- oder Stromquelle [Weitere Infos zum Netzgerät](#)

1.3 Vorbereitung, Protokollerstellung und Ausarbeitung

Vorbereitung:

Die Vorbereitungsaufgaben sind bei den einzelnen Arbeitspunkten der Anleitung zu entnehmen und in die Anleitung zu integrieren.

Protokoll:

Als EDV-Protokoll ist diese Anleitung mit Ihren integrierten Vorbereitungen an den vorgesehenen Stellen zu ergänzen, indem vorgegebene Tabellen auszufüllen sind und diverse Screen Shots sowie Kommentare zu integrieren sind. Hierfür steht Open Office zur Verfügung. Alle Messergebnisse, insbesondere die der Digitalmultimeter, müssen mit möglichst vielen (allen stabilen) Stellen ins Protokoll übernommen werden!

Wichtig: Wenn Sie zu Hause mit Word arbeiten, speichern Sie das File am Ende des Praktikums im Word-Format ab!

Ausarbeitung:

Die Ausarbeitung besteht zum Einen aus der Überarbeitung des Protokollfiles und zum Anderen aus der Bearbeitung der explizit gestellten Ausarbeitungs-Aufgaben. Die Ausarbeitung ist ebenfalls in das gemeinsame File zu integrieren, welches dem Betreuer als CD, Email oder Ausdruck zu übermitteln ist. In jedem Fall ist das Deckblatt, welches über [Moodle Download](#) zu beziehen ist, vollständig ausgefüllt am Anfang einzubinden.

2. Arbeitspunkte

2.1 Messobjekt für Temperaturmessung vorheizen

Stellen Sie an einem Kanal des Netzgeräts eine Spannung von 10 V ein und legen diese an den Heizwiderstand von 33 Ω, der auf einem Aluminium-U-Profil aufgeschraubt ist. Dieser soll das Profil mindestens 15 Min lang auf eine Messtemperatur aufheizen. Der vorhandene **PT 100** Temperatursensor (4 Bananenbuchsen für 2- und 4-Leiter-Anschluss) darf noch **nicht mit aufgeheizt** werden!

2.2 Innenwiderstand des DMM 34410A bei kleinen Strommessbereichen

Der Innenwiderstand des 34410A bei Gleichstrommessung wird vom Hersteller nicht exakt angegeben, da der Wert des Shunt-Widerstandes durch Kontakt- und Leitungswiderstände verfälscht wird. Es wird lediglich der maximal mögliche Spannungsabfall bei Vollausschlag (Burden Voltage) als Obergrenze angegeben. Auszug aus dem Datenblatt für 34410A:

Accuracy Specifications ± (% of reading + % of range)¹

Function	Range ³	Frequency, Test Current or Burden Voltage	24 Hour ² Tcal ±1°C	90 Day Tcal ±5°C	1 Year Tcal ±5°C	Temperature Coefficient/°C 0°C to (Tcal -5°C) (Tcal +5°C) to 55°C
DC Voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035	0.0005 + 0.0005
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0035 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0030 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0040 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
	1000.000 V ⁴		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0040 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
DC Current	100.0000 µA	< 0.03 V	0.010 + 0.020	0.040 + 0.025	0.050 + 0.025	0.0020 + 0.0030
	1.000000 mA	< 0.3 V	0.007 + 0.006	0.030 + 0.006	0.050 + 0.006	0.0020 + 0.0005
	10.00000 mA	< 0.03 V	0.007 + 0.020	0.030 + 0.020	0.050 + 0.020	0.0020 + 0.0020
	100.0000 mA	< 0.3 V	0.010 + 0.004	0.030 + 0.005	0.050 + 0.005	0.0020 + 0.0005
	1.000000 A	< 0.8 V	0.050 + 0.006	0.080 + 0.010	0.100 + 0.010	0.0050 + 0.0010
	3.000000 A	< 2.0 V	0.100 + 0.020	0.120 + 0.020	0.150 + 0.020	0.0050 + 0.0020

DC Current

Current Shunt:

200 Ω for 100 µA, 1 mA
 2 Ω for 10 mA, 100 mA
 0.1 Ω for 1 A, 3 A



Für Fehlerfortpflanzung verwenden!

Aufgabe dieses Unterpunktes ist es, den Innenwiderstand R_A des DMM bei Gleichstrommessung sowie den tatsächlichen Spannungsabfall bei Vollausschlag ($U_{A,max} = \text{Burden Voltage}$) in den später relevanten Messbereichen $I_{max} = 100 \mu\text{A}, 1 \text{ mA}, 10 \text{ mA}$ und 100 mA zu messen.

Durchführung:

1. Zunächst ist der Strom des verwendeten Kanals des Netzgerätes auf 100 mA zu begrenzen: Ausgang wählen und kurzschließen → mit Voltage/Current Taste Strom auswählen und auf 100 mA einstellen. Die gewünschte Stelle wird mit den Tasten < und > ausgewählt.
2. Dekadenwiderstand auf 5 kΩ einstellen und Strom durch die Dekade mit dem 34410A messen. Stellen Sie zunächst eine Spannung von ca. 2 V am Netzgerät ein.
3. Am 34410A den Messbereich manuell einstellen und mit dem Widerstand den Strom auf den Wert des jeweiligen Messbereichs annähern. (weiterhin 2V am Netzgerät)
4. NPLC (Number of Power Line Cycles) am 34410A auf 10 einstellen (höhere Genauigkeit):
5. Messen Sie den Spannungsabfall am Strommessgerät mit dem Metrahit Energy Handmultimeter (günstigsten Messbereich wählen) und protokollieren für alle Messbereiche die Messwerte von angezeigtem Strom (I_{max}) und Spannungsabfall am Strommesser ($U_{A,max}$) und berechnen die Werte der Innenwiderstände R_A der Messbereiche. Vergleichen Sie die R_A -Werte mit den Shunt-Werten

Tabelle 1

Messbereich	100 μ A	1 mA	10 mA	100 mA
I _{max}	100,01 μ A	1,000 mA	9,993 mA	99,90 mA
U _{A,max}	19,852 mV	198,1 mV	23,91 mV	238,49 mV
Auswerten: R _A	198,5 Ω	197,96 Ω	2,393 Ω	2,387 Ω
Shunt-Wert	200 Ω	200 Ω	2 Ω	2 Ω
Toleranz von R _A	0,1706 %	0,152 %	-	-

Ist die Angabe für die „Burden Voltage“ des 34410A erfüllt und warum weicht der Messwert von R_A vom Shunt-Wert ab? (Antwort gleich eintragen!)

Die Angabe für die Burden Voltage ist erfüllt, da das gemessene U_{A,max} kleiner ist. Der Messwert von R_A weicht vom Shunt-Wert ab, weil durch die Spannungsmessung am Ampere-meter der Shunt-Wert leicht durch den hochohmigen Innenwiderstand vom Spannungsmessgerät verfälscht wird.

Auswertung:

Berechnen Sie die Toleranz δ_{gRa} von R_A für die Messbereiche 100 μ A und 1 mA (Methode egal) und tragen Sie die Ergebnisse in die oben stehende Tabelle ein.

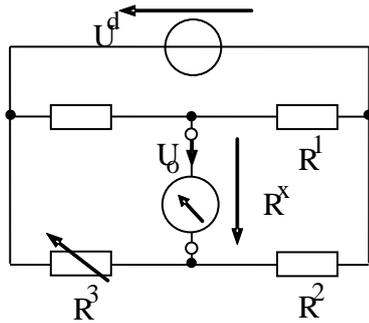
Auszug aus Metrahit Energy:

Mess-funktion	Messbereich	Auflösung bei Messbereichsendwert		Eingangsimpedanz		Eigenunsicherheit bei Referenzbedingungen für High Resol 59999 Digit			Überlastbarkeit ²⁾	
		60 000	6 000	DC	AC	DC	AC	DC	AC	Wert
V	60 mV	1 μ V				0,02 + 15 mit ZERO	—	—	600 V	max. 10 s dauernd
	600 mV	10 μ V		$\geq 17 M\Omega$	$\geq 9 M\Omega // < 50 pF$	0,02 + 15 mit ZERO	0,2 + 30	1 + 30	DC	
	6 V	100 μ V		$\geq 17 M\Omega$	$\geq 9 M\Omega // < 50 pF$	0,02 + 15	0,2 + 30	1 + 30	AC	
	60 V	1 mV		$\geq 17 M\Omega$	$\geq 9 M\Omega // < 50 pF$	0,02 + 15	0,2 + 30	1 + 30	eff	
	600 V	10 mV		$\geq 17 M\Omega$	$\geq 9 M\Omega // < 50 pF$	0,02 + 15	0,2 + 30	1 + 30	Sinus	

Berechnung von δ_{gRa} :

Toleranz von R_A: $\delta_{gRa} = \delta_{gUa} + \delta_{gIe}$

2.3 Übertragungskennlinie und Empfindlichkeit einer Viertelbrücke



$$\begin{aligned}
 U_0 &= 5 \text{ V} \\
 R_1 &= 350 \ \Omega \\
 R_2 &= 350 \ \Omega \\
 R_3 &= 350 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Bild 1

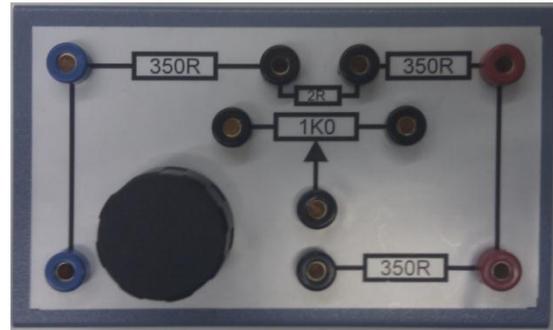
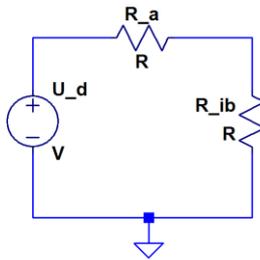


Bild 2

Eine Viertelbrücke mit einem Sensor R_X (Dekadenwiderstand) wird mit Hilfe des „Brückenrohlings“ (Bild 2) aufgebaut, wobei der $2 \ \Omega$ Widerstand ($2R$) überbrückt wird. Mit dem Drehknopf kann die Schleiferposition des $1 \text{ k}\Omega$ Potentiometers ($1K0$) eingestellt werden, was aber erst später bei der DMS-Brücke zum Abgleich verwendet wird.

Vorbereitungsaufgaben:

Skizzieren Sie ein Ersatzschaltbild (ESB) mit Spannungsquelle bezüglich der Klemmen a, b und berechne Sie aus den Widerstandswerten, in welchem Bereich der Innenwiderstand R_{ib} des ESB variiert, wenn sich R_X von 0 bis $1 \text{ k}\Omega$ verändert.



$$R_a = \frac{R_1}{2} + \frac{R_3 \cdot R_X}{R_3 + R_X} \quad R_{ib} = \frac{U_d}{I_d} - R_a$$

$$175 \ \Omega < R_b < 434 \ \Omega$$

Begründen Sie, warum der Wert von U_d als Leerlaufspannung angenommen werden darf und stellen Sie unter dieser Voraussetzung eine Formel auf, mit der sich der Innenwiderstand R_{ib} aus den Messwerten U_d , I_d , und Innenwiderstand R_A des Strommessers allgemein berechnen lässt.

Originalschaltung und Ersatzschaltung verhalten sich vollkommen gleich.

$$U_d = (R_a + R_{ib}) \cdot I_d$$

Berechnen Sie die Brückenempfindlichkeit dU_d/dR_X allgemein als Funktion von R_X , R_3 und U_0 und geben Sie die Zahlenwerte für $1 \ \Omega$, $351 \ \Omega$, $701 \ \Omega$ und $1001 \ \Omega$ an. Tragen Sie die Zahlenwerte in die [Tabelle 4](#) in die entsprechende Zeile ein.

Hinweis: Es wurden keine runden R_X -Werte gewählt, da die Widerstandsänderung der Dekade beim Umschalten von $0 \ \Omega$ auf $1 \ \Omega$ ungenauer als bei anderen Stufen ist (Kontaktwiderstände)

$$\frac{dU_d}{dR_x} = \frac{-U_0 R - 3}{R_x^2 + 2R_x R_3 + R_3^2}$$

Versuchsdurchführung Rückwirkungsfehler:

Bauen Sie zunächst die Schaltung entsprechend [Bild 1](#) auf und ermitteln Sie den Rückwirkungsfehler, indem Sie einen Wert von R_X so einstellen, dass im 10 mA Messbereich etwa der Strom +1 mA fließt. Schalten Sie nun den Messbereich auf 1 mA um und vergleichen Sie die beiden Werte!

$$R_X = 269,24 \Omega$$

Kommentar:

$$\text{Messbereich 10 mA: } I_d = 1,000 \mu\text{A}$$

$$\text{Messbereich 1 mA: } I_d = 0,62659 \mu\text{A}$$

Versuchsdurchführung Brückenkennlinie:

Verändern Sie den Widerstand R_X entsprechend der nachfolgenden Tabelle und messen jeweils mit dem DMM 34410A die Brückenspannung U_d und den Brückenstrom I_d . Achten Sie darauf, dass stets der günstigste Messbereich eingestellt ist und protokollieren Sie den Strommessbereich I_{\max} , um den Rückwirkungsfehler bei der Strommessung korrigieren zu können.

Tabelle 2

R_X/Ω	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
U_d/V	2,493	1,3835	0,6793	0,1907	-0,1665	-0,4401	-0,656	-0,831	-1,097	-1,097	-1,200
I_d/mA	14,052	5,412	2,230	0,3565	-0,2973	-0,7600	-1,104	-2,024	-2,319	-2,557	-2,752
I_{\max}/mA	100	10	10	1	1	1	1	10	10	10	10

Auswertung Brückenkennlinie:

Berechnen Sie den Innenwiderstand R_{ib} des ESB der Brücke entsprechend Vorbereitung aus U_d , I_d und R_A . Verwenden Sie die Werte von R_A aus [Tabelle 1](#). Ermitteln Sie weiterhin den Kurzschlussstrom I_K , der bei rückwirkungsfreier Strommessung gemessen würde.

Tabelle 3

R_X/Ω	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
R_A/Ω	2,387	2,393	2,393	197,96	197,96	197,96	197,96	2,393	2,393	2,393	2,393
R_{ib}/Ω	175,03	252,82	302,26	336,96	362,08	381,12	396,26	408,18	418,3	427,8	434,29
I_K/mA	14,24	5,47	2,25	0,57	-0,459	-1,15	-1,66	-2,04	-2,33	-2,56	-2,77
R_{ib} ber.	175,00	252,77	302,27	336,54	361,66	380,88	396,05	408,33	418,48	427,00	434,26

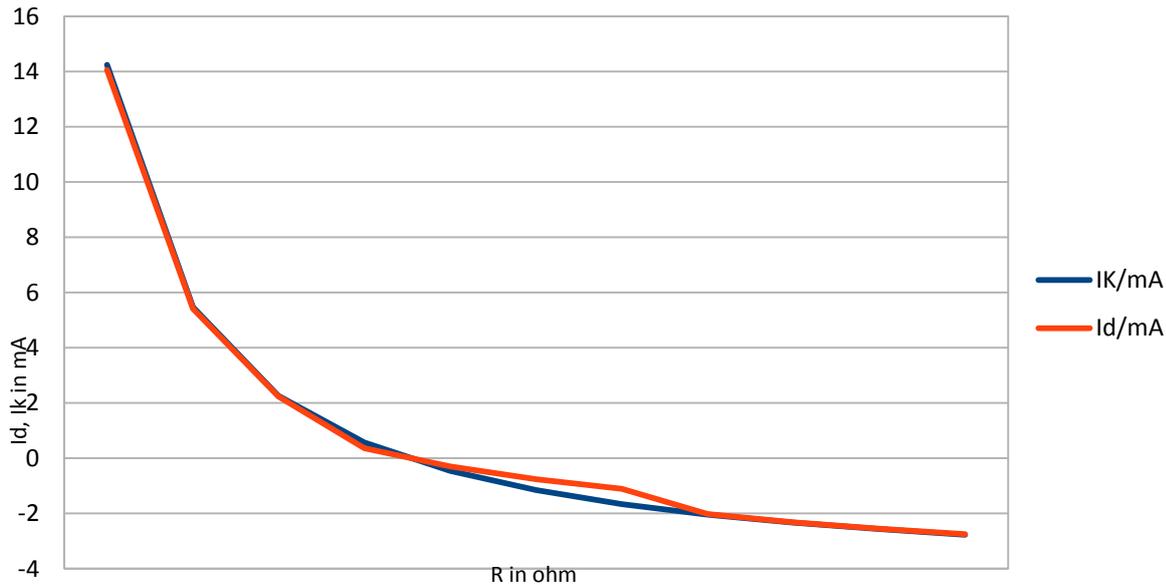
Vergleichen Sie die theoretisch aus den Widerständen R_1 , R_2 , R_3 und R_X berechneten Wert von R_{ib} mit den gemessenen Werten für mindestens 4 Werte von R_X und bewerten Sie die Übereinstimmung.

Wie in der obigen Tabelle ersichtlich, stimmen die aus den Messwerten berechneten und die direkt berechneten Werte für R_{ib} über ein.

Skizzieren Sie den gemessenen Strom I_d und den Kurzschlussstrom I_K maßstäblich als Funktion von R_X und erklären Sie, warum der Verlauf von I_d nicht so „glatt“ ist, wie der von I_K .

Der Verlauf von I_d ist nicht so glatt, wie der von I_K , weil im Messbereich der mittleren Widerständen (300 – 600 Ω) ist der zusätzliche Innenwiderstand des Messgerätes groß.

Brückenkennlinien



Versuchsdurchführung Empfindlichkeit:

Messen Sie die Brückenspannung U_d entsprechend nachfolgender Tabelle und ermitteln hieraus die Empfindlichkeit k_b für die Werte von R_X bei denen Sie die Empfindlichkeit theoretisch berechnet haben. Nähern Sie dabei den Differentialquotienten dU_d/dR_X durch den entsprechenden Differenzenquotienten an.

Hinweis: Es wurden keine runden Widerstandswerte verwendet, da der tatsächliche Widerstandssprung der Dekade beim Umschalten von 0Ω auf 1Ω wegen der Kontaktwiderstände ungenauer ist als bei anderen Werten.

Tabelle 4

R_X/Ω	1	2	351	352	701	702	1001	1002
U_d/V	2,4799	2,4657	-3,905m	-7,401m	-0,8326	-0,8342	-1,2019	-1,2029
$k_b/(mV/\Omega)$ aus Messung	-14,2		-3,556		-1,6		-1	
$k_b/(mV/\Omega)$ aus Vorbereitung	-14,2		-3,56		-1,58		-0,96	

Auswertung Empfindlichkeit:

Berechnen Sie die relative Abweichung der beiden Empfindlichkeiten $\delta_{kb} = \frac{\delta_{kb,mess} - \delta_{kb,vorb}}{\delta_{kb,vorb}}$ und begründen Sie, warum die Abweichung i.d.R. in der Nähe des Abgleichs am geringsten ist.

R_X/Ω	1	351	701	1001
δ_{kb}	0 %	-0,112 %	1,2658 %	4,1667 %

Der Fehler der Empfindlichkeit ist ein nichtlinearer. Da allerdings im kleinen Bereich um den Nullpunkt, dieser ein annähernd linearer, deswegen ist dieser hier klein.

2.4 Temperaturmessung mit Digitalmultimetern

Vorbereitung:

Berechne Sie den Temperaturfehler in °C, den man macht, wenn man mit einem PT 100 Temperatursensor bei 2-Leiter-Anschluss die Übergangs- und Leitungswiderstände von insgesamt 50 mΩ fälschlich mit misst. ($\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) Nehmen Sie lineare Temperaturabhängigkeit an.

Wenn Sie eine Aufheizkurve von Raumtemperatur auf ca. 50 °C aufzeichnen, ist dann unbedingt auf 4-Leiter Anschluss des Sensors zu bestehen?

$$R_i = 50\text{m}\Omega$$

$$R_{\text{Fehler}} = 100\Omega + 0,385 \cdot \Delta\theta + 50\text{m}\Omega$$

Pro Grad Celsius nimmt der Widerstand um 3,85 Ohm zu.

$$50\text{m}\Omega \Leftrightarrow 129,87 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nein, ein 4-Leiter-Anschluss ist nicht notwendig, weil bder Widerstand $R_x(T=50^\circ\text{C})=119\Omega$ groß ist. Der verfälschende Widerstand von 50 mΩ ist vernachlässigbar klein.

Die Einstellzeit auf 50 % des Endwerts der Temperaturmesseinrichtung betrage $t_{0,5} = 6 \text{ s}$. Berechnen Sie die Zeit $t_{0,99}$ für 99 %.

$$U = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \Leftrightarrow t_{gg} = 39,8635\text{s}$$

Versuchsdurchführung:

Schließen Sie den PT 100 in 4-Leiter Technik an und Messen zunächst den Widerstand (nicht Temperatur) bei Wahl von „Ω 2W“ (2-Leiter) und „Ω 4W“ (4-Leiter) am 34410A. (NPLC = 10 wählen) Ergebnisse:

„Ω 2W“: 109,6 Ω

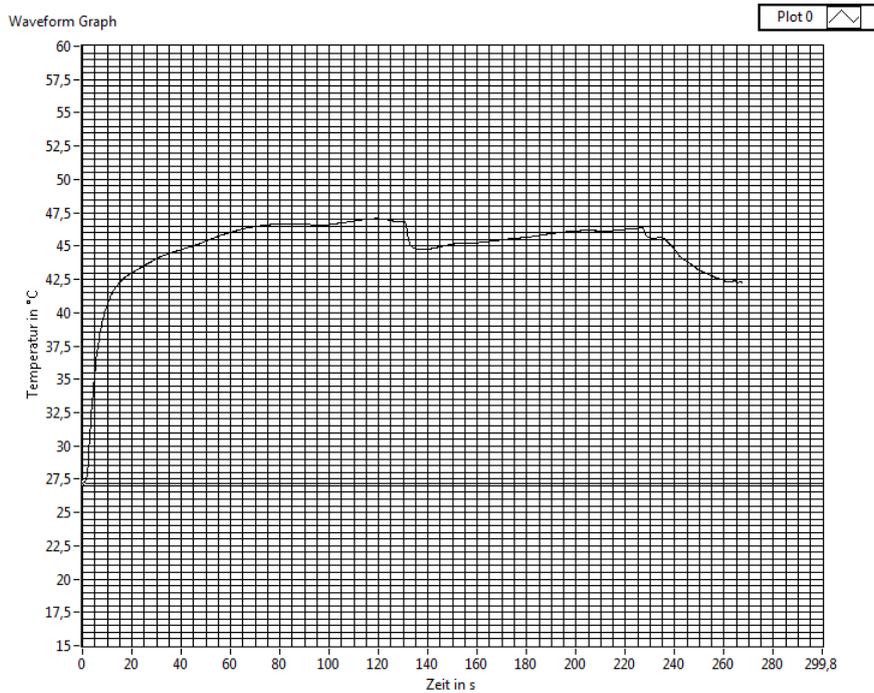
„Ω 4W“: 109,42 Ω

Wid.Fehler bei „Ω 2W“: 180 mΩ

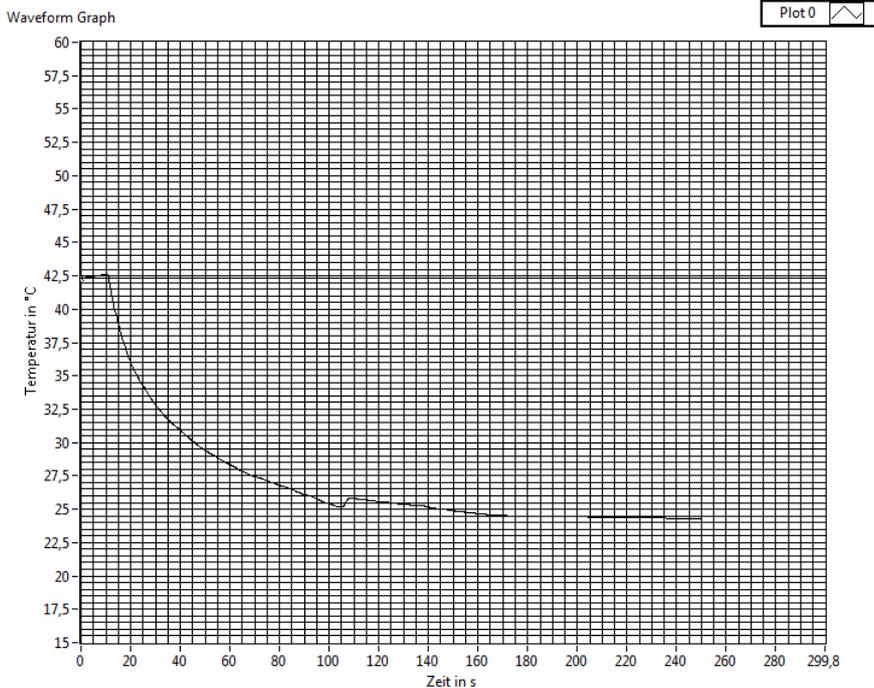
Laden Sie das VI „Temp_Aufz_V2.vi und wählen den richtigen VISA resource name aus (über IP-Adresse identifizierbar) und stellen Sie die Anzahl der Messpunkte (Sample Count) mit einem sinnvollen Zeitabstand (Sample Time in s) so ein, dass sich eine Gesamtmesszeit von 5 Minuten ergibt. Starten Sie das VI und klemmen sofort danach den PT 100 unter die Klammer auf dem vorgeheizten Al-Körper so, dass er guten Wärmekontakt hat (Beschriftung nach oben). Erzeugen Sie nach ca. 150 s einen Luftstrom beim Sensor und beobachten Sie den Einfluss auf die Messkurve. Übernehmen Sie die Kurve nachfolgend ins Protokoll.

Hinweis: Wegen der nicht konstanten Luftbewegung und da der Sensor den Al-Körper auch lokal abkühlt, ergibt sich keine saubere e-Funktion.

Ziehen Sie nun den aufgeheizten Sensor aus der Klammer raus und starten Sie nochmals die 5 Minuten-Messung (Abkühlkurve) Vermeiden Sie zusätzliche Luftströmungen am Sensor. Übernehmen Sie die Abkühlkurve ins Protokoll.



Anstiegskurve



Abkühlkurve

Auswertung:

Ermitteln Sie nachvollziehbar die Zeitkonstante für den Aufheizvorgang τ_{heiz} und den Abkühlvorgang $\tau_{\text{kühl}}$.

$$\tau_{\text{heiz}} = 10\text{s}, \quad \tau_{\text{kühl}} = 40\text{s}$$

Warum stimmt Ihrer Meinung nach die Abkühlkurve besser mit einer e-Funktion überein als die Aufheizkurve?

Wegen der nicht konstanten Luftbewegung (Turbolente Strömungen, nur durch sehr sehr komplizierte Integrale numerisch und so lösbar :) und durch Wärmeabfuhr durch die Kupfermesskabel, gibt sich keine saubere Messkurve.

2.5 DC-Brücke mit Dehnungsmessstreifen

2.5.1 Empfindlichkeit einer DMS-Brücke

Wichtiger Hinweis: Da der Eisenstab auf Grund seiner mechanischen Eigenschaften eine Hysteresis hat, darf er nur nach unten verbogen werden, z.B. durch Gewichte. Ein nach oben biegen verfälscht den Nullpunktgleich!

Hängen Sie die Gewichtshalterung auf und drücken Sie den Eisenstab mit der Hand leicht nach unten und lassen ihn wieder los. Messen Sie dann den Widerstand des Zug-DMS mit dem 34410A Multimeter (Ω 2W mit NPLC = 10). Belasten Sie dann die Gewichtshalterung mit 1 kg und messen den veränderten Widerstand. Ermitteln Sie die Widerstandsänderung ΔR .

ohne Gewicht: 250,42 Ω

mit 1kg Gewicht: 250,58 Ω $\Delta R = 160 \text{ m}\Omega$

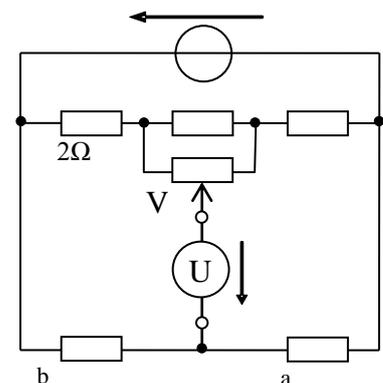
Ermitteln Sie ab etwa welcher Gewichtsaufgabe sich die Widerstandsanzeige bei der letzten Stelle sich um 1 Digit ändert.

Erforderliche Gewichtänderung Δm etwa: 50 g

Bauen Sie die Schaltung entsprechend nebenstehender Skizze auf und gleichen Sie die Brücke mit aufgehänger Gewichthalterung aber ohne Gewichte ab. (PLC = 10 einstellen) Verwenden Sie für die Versorgungsspannung den auf 100 mA begrenzten Kanal. Notieren Sie U_d im Abgleich, falls dieser sich nicht genau auf Null abgleichen lässt. Legen Sie 1 kg in die Gewichtshalterung und messen nun die Spannung.

U_d im Abgleich: 0 V

U_d mit 1 kg: -0,571 mV



Diese Spannungsänderung kann mittels der Empfindlichkeit k_b in eine Widerstandsänderung umgerechnet werden, was eine Methode mit höherer Auflösung als die direkte Messung darstellt.

Da diese Schaltung nicht identisch mit der von Bild 1 ist, darf die Empfindlichkeit k_b nicht von [Kap. 2.3](#) übernommen werden (Werte sind nur ähnlich) Um k_b messtechnisch zu ermitteln muss der Widerstand des DMS definiert verändert werden. Günstig ist es, ihn durch Parallelschalten eines hochohmigen Parallelwiderstandes R_p zu erniedrigen.

Berechnen Sie den Widerstand, der zum DMS parallel geschaltet werden muss, damit sich der Gesamtwiderstand um 1 Ω erniedrigt, also $\Delta R = -1 \Omega$ gilt $R_p = 122,443 \text{ k}\Omega$

Schalten Sie nun R_p parallel zum DMS (Brücke abgeglichen mit aufgehänger Gewichthalterung) und messen Die Spannungsänderung.

U_d ohne R_p : 0,0 mV

U_d mit R_p : 4,285 mV

Δu_d : 4,285 mV

Empfindlichkeit $k_b = 4,285 \text{ mV}/\Omega$

Berechnen Sie nun die Widerstandsänderung ΔR des DMS bei Belastung mit 1kg aus dieser Empfindlichkeit k_b und der entsprechenden vorher gemessenen Spannungsänderung. Legen Sie 1g Gewicht die Halterung und schätzen ab, um wie viele Digits sich die letzte Stelle ändert.

2.5.2 Temperaturabhängigkeit einer DMS-Brücke

Mit dem Metrahit Handmultimeter kann mittels eines auf dem Biegestab angebrachten PT100-Schichtwiderstands die Temperatur des Biegestabes gemessen werden. (grüne Buchsen „Temp. Sens.“ Der Stab kann mittels einer Wirbelstromheizung (gelbe Spule) aufgeheizt werden.

Vorsicht! An die Spule der Wirbelstromheizung können mit dem Regeltrafo bis zu 230V Netzspannung angelegt werden – Steckkontakte nicht öffnen / berühren! Die Spule darf auch nicht ohne den Biegestab als Kernmaterial eingeschaltet werden, da der Strom wegen der dann niedrigeren Induktivität zu groß werden kann.

Viertelbrücke

Gleichen Sie die Brücke mit einem DMS (Zug-DMS) bei Raumtemperatur ohne Gewicht ab und protokollieren Sie die Spannung U_d ohne und mit 1kg Gewicht sowie die zugehörige Anfangstemperatur am Biegestab. Entfernen Sie das Gewicht und heizen Sie dann den Biegestab auf etwas mehr als 40 °C auf und lassen ihn dann abkühlen. Bei der Temperatur von 40 °C lesen Sie dann U_d nochmal ab. Diese Vorgehensweise ist erforderlich, da während des Heizbetriebes der DMS durch Magnetostriktion zusätzlich gedehnt wird. Legen Sie dann das Gewicht 1kg. auf und messen nochmal bei 40 °C (hierzu nochmal kurz aufheizen)

Temperatur	ohne Gewicht	mit 1 kg Gewicht
Anfangstemp. = 23,2 °C	$U_d = 0 \text{ V}$	$U_d = -0,571 \text{ mV}$
Temp. = 40 °C	$U_d = 4 \mu\text{V}$	$U_d = -0,587 \text{ mV}$

Halbbrücke

Ersetzen Sie den Festwiderstand im selben Zweig mit dem Zug-DMS schaltungstechnisch durch den Kompensations DMS auf der Zugseite (Z-komp-DMS). Wiederholen Sie die Messungen wie bei der Viertelbrücke. Sie müssen nicht den ganzen Abkühlvorgang abwarten, sondern können auch schon mit erhöhter Anfangstemperatur messen.

Temperatur	ohne Gewicht	mit 1 kg Gewicht
Anfangstemp. = 23,9 °C	$U_d = 0,000 \text{ mV}$	$U_d = -0,728 \text{ mV}$
Temp. = 40 °C	$U_d = -0,0242 \text{ mV}$	$U_d = -0,723 \text{ mV}$

Vollbrücke

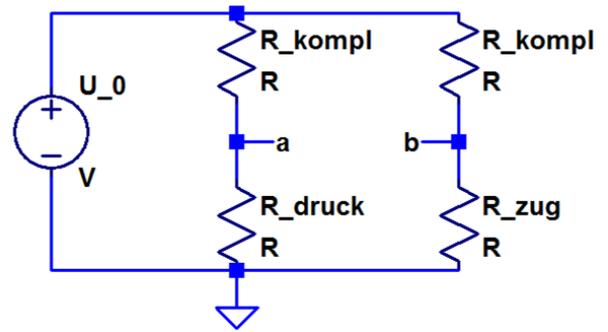
Vorbereitung:

Wegen der Querkontraktion des Biegestabes bei Belastung werden auch die Kompensations-DMS gedehnt. Wie verändern die jeweiligen Komp.-DMS dabei ihren Widerstand? Werden Sie hoch- oder niederohmiger? Skizzieren Sie ausgehend von dieser Erkenntnis eine Vollbrücke so, dass die Empfindlichkeit betragsmäßig maximal wird.

Durchführung:

Ersetzen Sie die anderen beiden Festwiderstände des Brückenrohrlings schaltungstechnisch so durch den Druck- und Druck-Kompensations-DMS, wie in der Vorbereitung ermittelt.

Gleichen Sie die Brücke ohne Last bei Raumtemperatur ab. Legen Sie 1 kg auf die Gewichthalterung und messen nochmal U_d .



ohne Gewicht: $U_d = 0,0014 \text{ mV}$

mit 1kg Gewicht: $U_d = -1,452 \text{ mV}$

Vermindern Sie die Spannung U_0 nun so weit, dass sich bei 1kg Gewicht die Spannung $U_d = 1 \text{ mV}$ ergibt. Überprüfen Sie den Abgleich ohne Gewicht, also dass dann weiterhin $U_d = 0$ möglichst gut gilt. Messen Sie für ca. 10 verschiedene Gewichte zwischen 0 g und 1 kg die Spannung U_d . Bewerten Sie die Genauigkeit!

U_0 reduziert auf $3,45 \text{ V}$

U_d bei 1 kg: $-1,006 \text{ mV}$

Masse m in g	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
U_d in μV	-1,3	-7,8	-10,8	-14,8	-25,2	-55,1	-102,6	-206,7	-506,1	-1002

Auswertung Viertelbrücke:

Welchen Temperaturkoeffizienten α_Z hat der Widerstand des aufgeklebten Zug-DMS?

$$\alpha_Z = \left(\frac{R_Z}{R_0} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\Delta\theta} = 0,188 \mu\text{C}^{-1}$$

Wie groß ist der Temperaturkoeffizient α_{k_F} der Kraftempfindlichkeit $k_F = dU_d/dF$?

$$\alpha_{k_F} = \frac{k_F(40^\circ\text{C}) - k_F(23^\circ\text{C})}{\Delta\theta \cdot k_F(23^\circ\text{C})} = 2,167 \cdot 10^{-3} \text{C}^{-1}$$

Auswertung Halbbrücke:

Wie groß ist der Temperaturkoeffizient α_{k_F} der Kraftempfindlichkeit $k_F = dU_d/dF$?

$$\alpha_{k_F} = \frac{k_F(40^\circ\text{C}) - k_F(23^\circ\text{C})}{\Delta\theta \cdot k_F(23^\circ\text{C})} = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{C}^{-1}$$

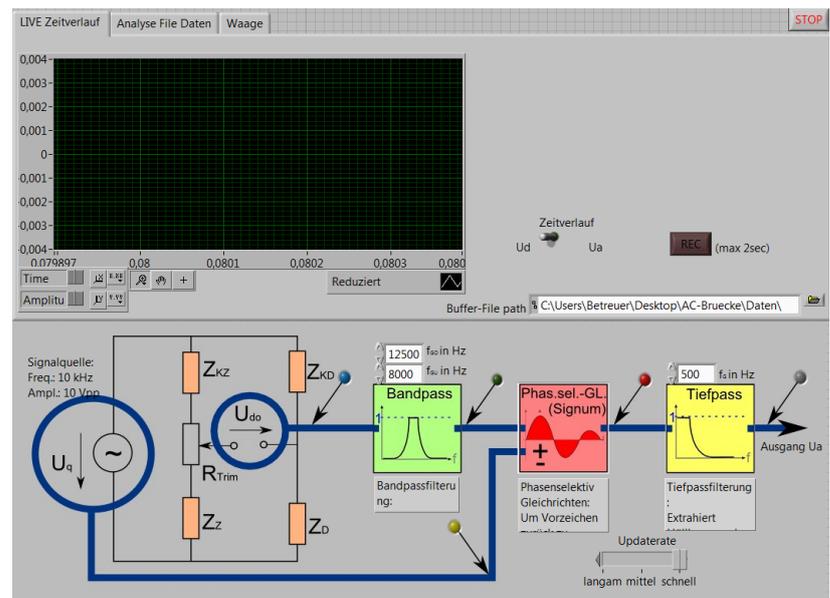
2.6 AC-Brücke mit Dehnungsmessstreifen

AC-Messbrücken, die im Vergleich zu DC-Messbrücken mit einer Wechselspannung gespeist werden, weisen hauptsächlich folgende Vorteile auf:

- Da keine DMM im Gleichspannungsbereich (langsam) eingesetzt werden, können auch dynamische Signale analysiert werden.
- Durch Wahl geeigneter Frequenzen der Speisespannung und Bandpassfilterung können Störungen besser ausgeschaltet werden.

Um das Vorzeichen des Messsignals nicht zu verlieren, müssen geeignete Maßnahmen (z.B. Phasenselektive Gleichrichtung + Tiefpassfilterung) ergriffen werden. Mit Hilfe eines fertigen VI's soll die Funktionsweise demonstriert werden.

Für die Messung wird der Connector-Block BNC-2110 vom Kabel zum PC getrennt und statt dessen wird das Kästchen AC-Messbrücke angeschlossen. Mit dem Flachbandkabel wird die Verbindung zur DMS-Anordnung mit Biegebalken hergestellt. Die AC-Brücke wird über den BNC-Anschluss mit dem Funktionsgenerator verbunden, der die Versorgungsspannung (Sinus, 10 kHz, $U_{SS} = 10V$) bereit stellt. Laden Sie nun das AC-BridgeMain.vi und Sie erhalten nebenstehende Benutzeroberfläche, die weitgehend selbst erklärend ist.



Vorbereitung: Schauen Sie sich nochmal das Kapitel über phasenselektive Gleichrichtung (6.3) an.

Durchführung zum Verständnis:

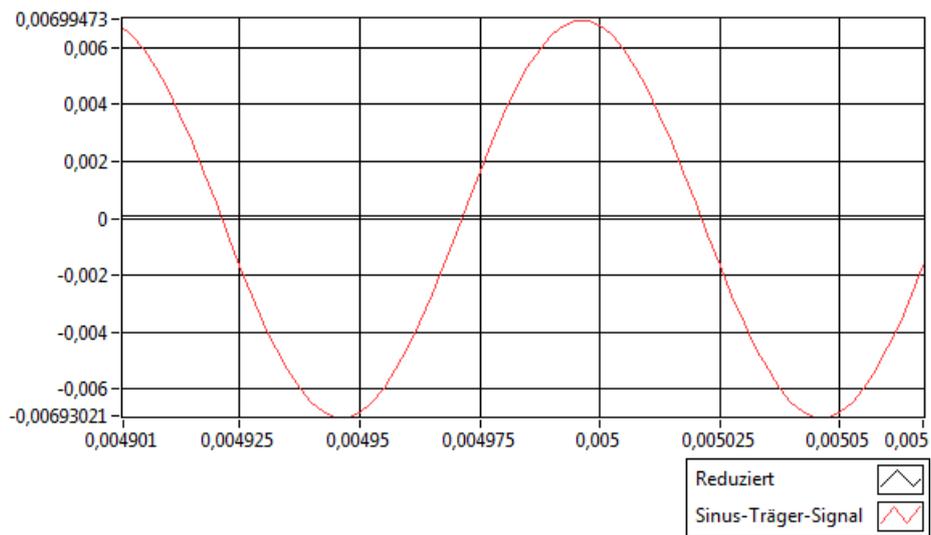
Nach dem Start des VI's müssen Sie zunächst im Buffer-File-Dialog einen gültigen Pfad (z.B. c:\Temp\TempTDMS\Demomessung) auswählen. Stellen Sie sicher, dass der gewählte Pfad auch existiert! Das File (hier Demomessung) wird dann automatisch generiert. Quittieren Sie dann mit ok. und schalten dann einmal kurz auf die Registerkarte „Waage“ und danach wieder zurück auf „LIVE Zeitverlauf“ um die Messung zu aktivieren.

Hinweis: Das Trägersignal (rot) ist um den Faktor 1000 kleiner dargestellt als die weiße Kurve. Die weiße Kurve stellt entweder U_d oder U_a dar und kann über den Schalter “Zeitverlauf“ ausgewählt werden.

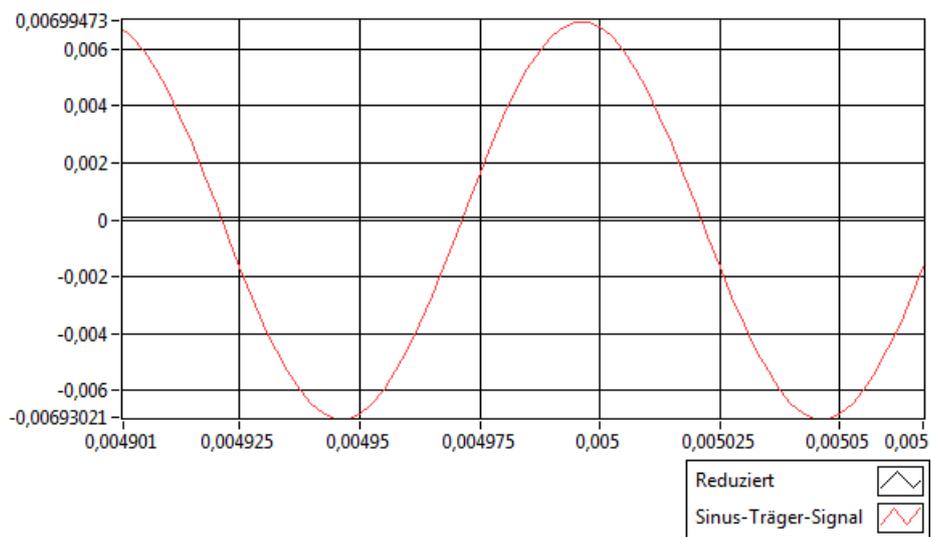
Wählen Sie über den Schalter “Zeitverlauf“ zunächst U_d aus, zoomen sinnvoll und drücken den Biegebalken leicht nach oben und nach unten. Beobachten Sie die Phasenlage zwischen Trägersignal und U_d . Nehmen Sie die Zeitverläufe ins Protokoll auf. Wie sieht der Verlauf von U_d ohne Filter aus? Zeitverlauf ebenfalls ins Protokoll aufnehmen!

Hinweis: Da Sie während des Programmlaufs nicht mit Copy und Paste arbeiten können, empfiehlt es sich entweder ein Simplified Image zu exportieren oder mit dem Snipping Tool zu arbeiten.

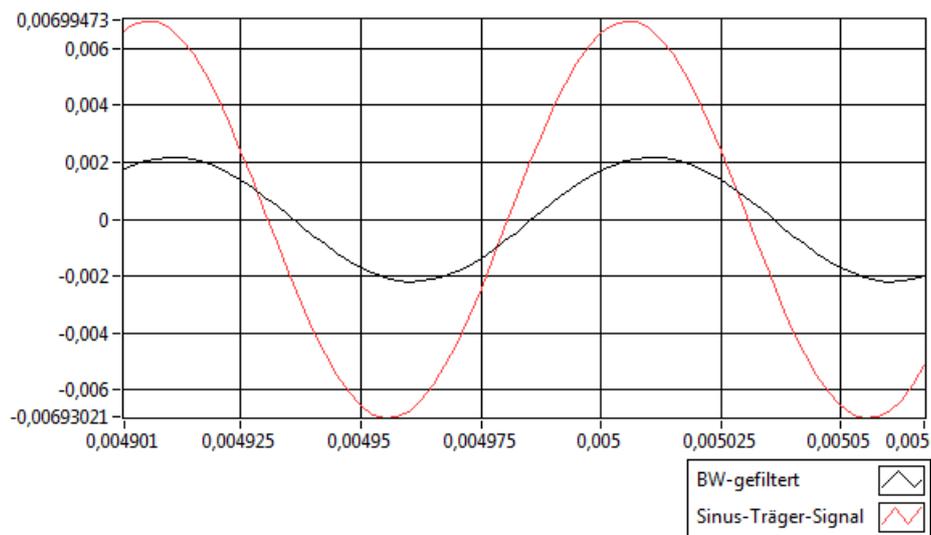
- Simplified Image: Rechtsklick auf Grafen → Export → Export Simplified Image → Export
- Snipping Tool: Start Button → sni.. bei ... durchsuchen eingeben → starten (und falls noch nicht geschehen mit re. Maust. an Startmenü oder Taskleiste anheften)



belastet



unbelastet



belastet u_d

Schalten Sie nun auf U_a -Darstellung um und Testen Sie die Gleichrichtervarianten, wenn Sie den Biegestab auf und ab bewegen. Notieren Sie die Beobachtungen ins Protokoll:
Keine Gleichrichtung:

Phasenselektive Gleichrichtung (Signum oder Sinus):

Normale Gleichrichtung:

Nachfolgend soll das dynamische Schwingverhalten des Biegestabes untersucht werden. Die Aufzeichnung erfolgt in der Registerkarte „LIVE Zeitverlauf“ und wird in „Analyse File Daten“ visualisiert. Für diese Analyse wird der abgetastete Zeitverlauf in dem File zwischengespeichert, welches beim Starten des VI's angegeben werden muss.

„Spannen“ Sie den Biegebalken mit einer Kraft, die maximal 1kg Gewicht entspricht und lassen ihn dann los so, dass er eine Eigenschwingung ausführt. Drücken Sie unmittelbar danach die Taste „REC“. Nun werden 2 s aufgezeichnet, gespeichert und dann wird automatisch in die Registerkarte „Analyse File Daten“ gesprungen, wo sie im linken Teil den gesamten Zeitverlauf und im rechten einen zoomten Ausschnitt sehen. Im zoomten Fenster können Sie durch Aktivierung der LED-ähnlichen, farbigen Schalter die jeweilige Größe zusätzlich darstellen. Durch klicken auf die jeweiligen Messglieder können diese ausgeschaltet bzw. modifiziert werden.

Ermitteln Sie die Frequenz der freien Schwingung und fügen Sie den entsprechenden Zeitverlauf nachfolgend ins Protokoll ein:

Probieren Sie die Features aus und vermerken Sie relevante Erkenntnisse, zu denen Sie gelangen.

Schalten Sie nun auf Waage um und stellen Sie die Amplitude der Versorgungsspannung so ein, dass 1mV der aufgelegten Masse 1kg entspricht. Da der Brückenabgleich nicht genau bei aufgehängter leerer Gewichthalterung vorgenommen wurde, muss die Kalibrierung iterativ vorgenommen werden.

Vorgehen:

1. Stellen Sie die Updaterate auf langsam (höchste Genauigkeit, da längste Mittelungszeit)
2. Hängen Sie die Gewichthalterung ohne Gewichte auf und drücken Sie dann die Taste „Tarieren“.
3. Stellen Sie das 1kg Gewicht auf die Halterung und ändern die Amplitude der Versorgungsspannung so ab, dass die Anzeige 1mV (0,001000) entspricht.
4. Nehmen Sie das Gewicht wieder runter und überprüfen Sie den Nullpunkt. Dieser kann sich wegen des unvollkommenen Nullpunktabgleichs wieder verstellt haben. Falls ja, drücken Sie erneut „Tarieren“
5. Wiederholen Sie Schritt 3. Und 4. so lange, bis Nullpunkt und Endpunkt bei 1kg stimmen.

Zum Test der Waage legen Sie nacheinander 10 verschiedene Massen auf und notieren die Anzeige in die Tabelle. Bewerten Sie die Genauigkeit und Stabilität der Waage im Vergleich zu der entsprechenden DC-DMS-Waage.

Masse m in g	200	500	1000	1500
U_d in μV	-0,0002	-0,0005	-0,0010	-0,0015