



TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Professur Mess- und Sensortechnik

Praktikum Sensor- und Sensorsignalauswertung

Versuch DMS – Kraftmessung

Versuchsdatum: 16.01.2019

Abgabedatum: 23.01.2019

Praktikumsgruppe: BET2

Namen der Studenten: Christian Behl, Florian Zylla, Bin Sun

Betreuer:

Versuchsvorbereitung

3.1 Versuchs Vorbereitung

3.1.1

Folien - DMS	Halbleiter - DMS
dünn biegsam bruchstabil flexibel hohe Genauigkeit (kleine Gitterabstände) linear billiger	dünn relativ starr kann leicht brechen unflexibel kleinere Genauigkeit temperaturabhängig teurer

3.1.2

- Mehrere DMS auf einem Trägerkörper, exakt untereinander positioniert
- erlaubt gleichzeitig unterschiedliche Messungen

3.1.3

Weil die Verformung noch nicht in ein elektrische Signal gewandelt und somit keine Rückschlüsse auf die einwirkende Kraft gibt.

Bsp.: DMS in Waage

- Verbiegung des DMS durch Gewicht
- mit Hilfe der Geometrie und Materialkonstanten kann auf die anliegende Kraft und die Masse geschlossen werden

3.1.4.

$$\frac{\Delta U_{\text{mess}}}{U_B} = \frac{1}{U_B} \frac{\partial U_{\text{mess}}}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{1}{U_B} \frac{\partial U_{\text{mess}}}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{1}{U_B} \frac{\partial U_{\text{mess}}}{\partial R_3} \Delta R_3 + \frac{1}{U_B} \frac{\partial U_{\text{mess}}}{\partial R_4} \Delta R_4$$

$$= -\frac{R}{(2R)^2} (\Delta R) + \frac{R}{(2R)^2} \Delta R + \frac{R}{(2R)^2} \Delta R - \frac{R}{(2R)^2} (-\Delta R) = \frac{R}{R^2} \Delta R = \frac{\Delta R}{R}$$

3.1.5

$$U_{\text{mess}} = \frac{3klU_B}{Eb^3} \cdot F(m)$$

l in mm	l	b in mm	h in mm	$\frac{U_{\text{mess}}}{F(m)}$ in $\frac{V}{N}$
DMS 1 und DMS 2	500	14,1	5	$4,388 \cdot 10^{-4}$
DMS 3 und DMS 8	250	14,1	5	$2,191 \cdot 10^{-4}$
DMS 5 und DMS 6	500	5	14,1	$1,554 \cdot 10^{-4}$

3.1.6

Wenn Wellenberg und -tal in einer Messgitterlänge liegen, dann ist die Gesamtlängenänderung ca. 0 und man bekommt das Auftreten der Welle nicht mit.

3.1.7

- Trägermaterial und Kleber dürfen nicht schmelzen
- Temperaturgang muss gut kompensierbar sein

3.1.8.

- Dehnung des Messgitters \propto veränderter Widerstandswert

3.1.9

- haben einen an das Messobjekt angepaarten Ausdehnungskoeffizienten
- keine Verfälschung durch Temperaturänderung

$$3.1.10 \quad \Delta l = \frac{6Lg}{Eb^3} m = \frac{6 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6,55 \text{ mm}}{200 \text{ GPa} \cdot 14,1 \text{ mm} \cdot (5 \text{ mm})^2} \cdot 0,1 \text{ kg} = 2,65 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 265 \text{ nm}$$

Versuchsdurchführung

3.2.1

Die Brückenschaltung wurde aufgebaut und auf 0 V abgeglichen.

g/ V	Viertelbrücke DMS1	Halbbrücke DMS1 & 2	Vollbrücke DMS1 bis 4	Halbbrücke DMS7 & 8	Halbbrücke DMS5 & 6
0	0,0042	-0,0029	1,3877	-0,0033	0,0069
100	-0,0203	-0,0468	1,4735	0,0198	-0,0084
200	-0,0425	-0,0903	1,5596	0,0429	-0,0238
300	-0,0648	-0,1333	1,6459	0,0658	-0,0392
400	-0,0871	-0,1785	1,7316	0,0888	-0,0548
500	-0,1095	-0,2226	1,8192	0,1119	-0,0704

Tabelle 1: Messergebnisse für verschiedene Brückenschaltungen mit 1, 2 oder 4 Dehnmessstreifen

g/ V	Viertelbrücke DMS1	Halbbrücke DMS1 & 2	Vollbrücke DMS1 bis 4	Halbbrücke DMS7 & 8	Halbbrücke DMS5 & 6
0	0,0042	0,0029	0,0000	0,0033	0,0069
100	0,0203	0,0468	0,0858	0,0198	0,0084
200	0,0425	0,0903	0,1719	0,0429	0,0238
300	0,0648	0,1333	0,2582	0,0658	0,0392
400	0,0871	0,1785	0,3439	0,0888	0,0548
500	0,1095	0,2226	0,4315	0,1119	0,0704

Tabelle 2: Messergebnisse für verschiedene Brückenschaltungen mit 1, 2 oder 4 Dehnmessstreifen, betragsmäßig und Offset korrigiert

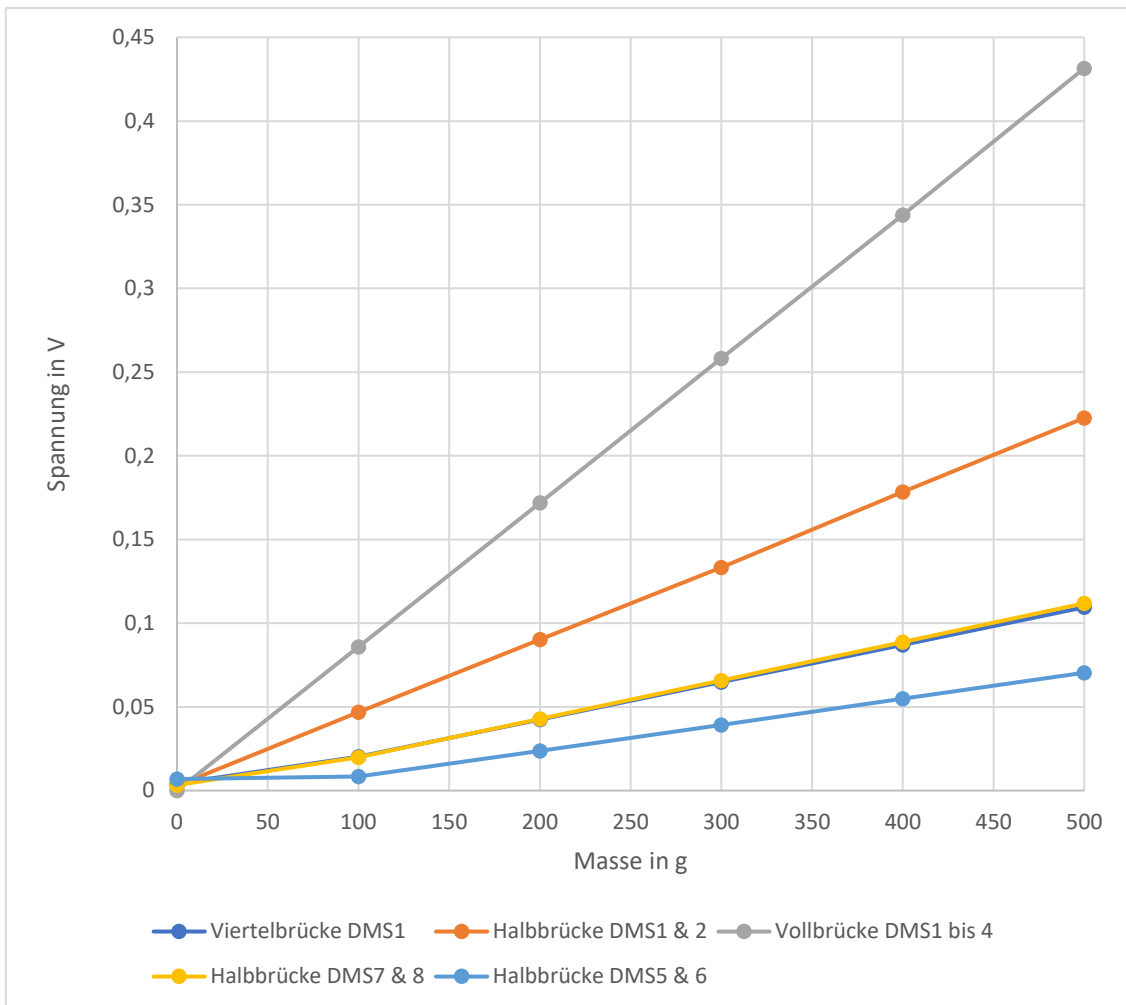


Diagramm 1: Kennlinien der verschiedenen Messbrücken

In Diagramm 1 kann man die wichtigsten Charakteristiken von Dehnmessstreifen und ihren Einsatz in Messbrücken erkennen. So sind alle Kennlinien linear, was stets erwünscht ist.

So hat die Kennlinie der Vollbrücke erwartungsgemäß den größten Anstieg also die größte Empfindlichkeit.

Danach folgt die Halbbrücke aus DMS1 & 2 mit großer Empfindlichkeit, da sich die beiden Dehnmessstreifen (und auch DMS3 & 4) nah an der Einspannung des Biegebalkens befinden, wo die größte Spannung und damit auch Dehnung auftritt. Als Ergebnis ändern sich die Widerstände der Messstreifen am stärksten.

Weiter weg gelegen von der Einspannstelle befinden sich die DMS7 & 8. Schaltet man sie in eine Halbbrücke, ist ihre Empfindlichkeit auf eine Belastung des Balkens kleiner, denn die Dehnung an der Position ist niedriger.

Die Viertelbrücke mit DMS1 ist gleich empfindlich wie die Halbbrücke aus DMS7 & 8. Da die Empfindlichkeit einer Halbbrücke doppelt so groß ist wie die einer Viertelbrücke verwundert das Ergebnis zunächst. Schaut man sich jedoch die Skizze der DMS-Positionen auf dem Biegebalken an, so wird klar das die Nähe des DMS1 zur Einspannung (stärkere Dehnung), den zweiten DMS kompensiert. Andersrum liegen DMS7 & 8 soweit von der Einspannung weg, dass der Einsatz eines zusätzlichen DMS im Bezug zur Viertelbrücke mit DMS1 keinen Vorteil bringt. Dementsprechend sollten DMS immer so nah wie möglich an der Einspannstelle oder maximaler Dehnung positioniert werden. Ist die Empfindlichkeit dann zu niedrig kann die Anzahl der DMS erhöht werden (zur Halb- oder Vollbrücke).

Betrachte man die Halbbrücke aus DMS5 & 6 fällt ein sehr niedriger Anstieg bzw. eine sehr niedrige Empfindlichkeit selbst zur Viertelbrücke DMS1 auf. Die DMS sind jedoch nicht noch weiter weg von der Einspannung positioniert als DMS7 & 8, sondern genauso nah an der Einspannung wie DMS1 & DMS2, also genau an der Stelle maximaler Biegung. Da der Balken jetzt dicker ist (90°-Drehung) ist er auch deutlich formstabiler gegen Belastung von oben als der dünnere Biegebalken. Dementsprechend tritt auch weniger Dehnung an der Stelle maximaler Belastung auf, weswegen sich der Balken weniger zum Bestimmen kleinerer Kräfte eignet als zur Bestimmung großer Lasten. Daraus lässt sich ableiten, dass man um maximale Empfindlichkeit zu erreichen den Biegebalken so dünn wie möglich machen sollte ohne plastische Verformung zu riskieren.

3.2.2

g/ V	0°	180°	0° (offsetkorrigiert & betragsmäßig)	180° (offsetkorrigiert & betragsmäßig)
0	1,3877	1,0090	0,0000	0,0000
100	1,4735	0,9222	0,0858	0,0868
200	1,5596	0,8357	0,1719	0,1733
300	1,6459	0,7495	0,2582	0,2595
400	1,7316	0,6630	0,3439	0,3460
500	1,8192	0,5758	0,4315	0,4332

Tabelle 3: Messergebnisse für Kennlinien der Vollbrücke DMS1 bis DMS4 jeweils in Ursprungseinspannung und 180° gedreht

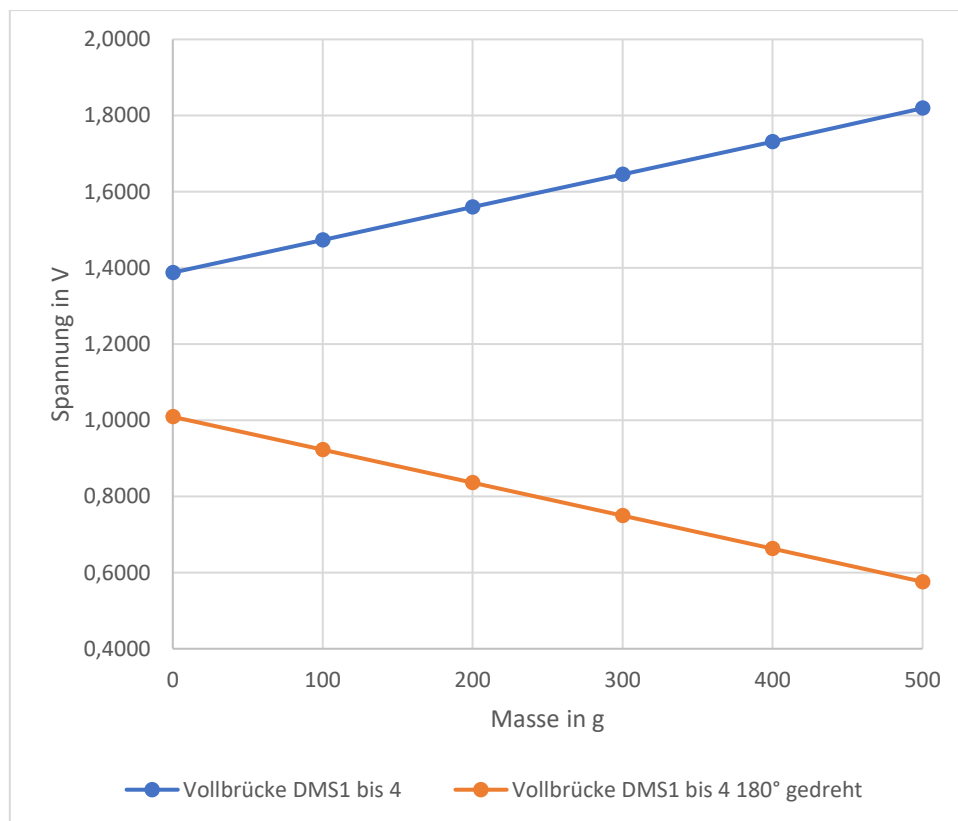


Diagramm 2: Kennlinien der Vollbrücke DMS1 bis DMS4 jeweils in Ursprungseinspannung und 180° gedreht

Wie in Diagramm 2 zu sehen nimmt die Messspannung bei nicht gedrehten Vollbrücke linear zu. Die Messspannung der gedrehten Vollbrücke nimmt jedoch linear ab. Ursache dafür ist die jetzt umgekehrte Anordnung der Dehnmessstreifen. Die Dehnmessstreifen, die sich auf der Oberseite befanden und gedehnt wurden befinden sich jetzt auf der Unterseite und werden gestaucht, somit kehrt sich die Charakteristik der Messbrücke um.

Diesem Wissen nach müsste der Startwert für beide Messungen gleich groß sein, die Messwerte liegen jedoch mehr als 0,4 V auseinander. Das ist jedoch durch das Eigengewicht des Balkens und damit einer gewissen Grunddehnung zu erklären. Dabei wirkt das Eigengewicht je nach Orientierung des Balkens in die eine oder in die andere Richtung.

Entfernt man den Offset und bildet den Betrag der Spannungen so erhält man Diagramm 3. In Diagramm 3 kann man erkennen, dass die Kennlinien des Biegebalkens in beiden Belastungsrichtungen gleich verläuft (linear mit selbem Anstieg).

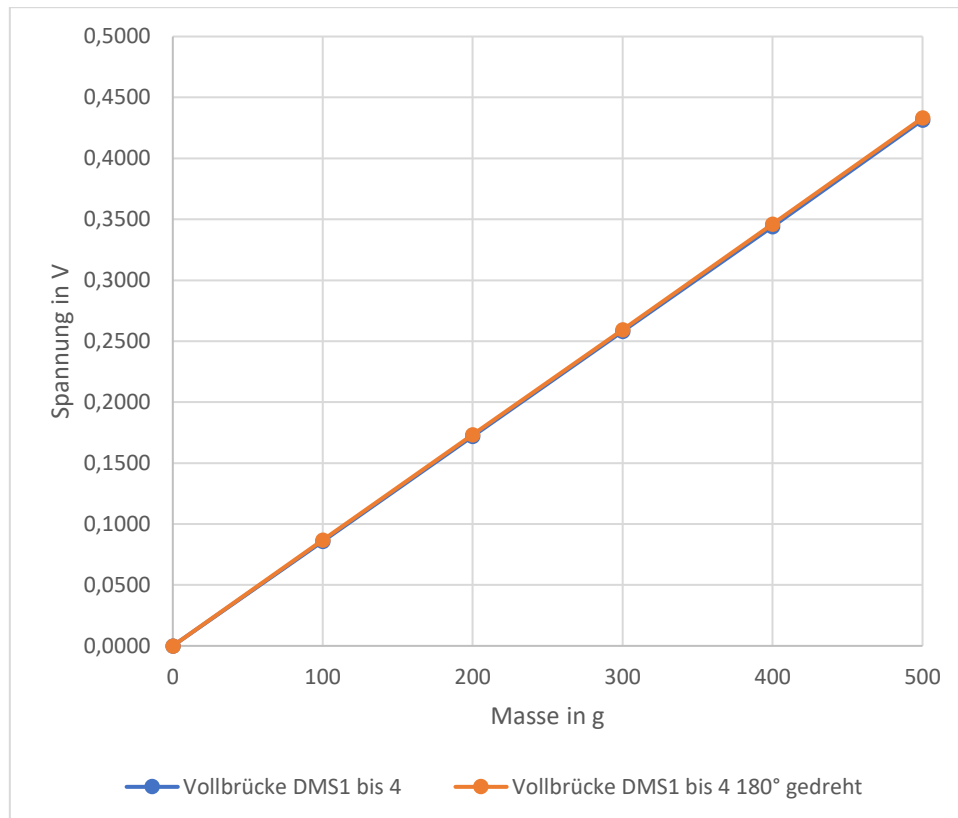


Diagramm 3: Kennlinien der Vollbrücke DMS1 bis DMS4 jeweils offsetkorrigiert und betragsmäßig in Ursprungseinspannung und 180° gedreht

3.2.3

g/ V	Halbbrücke DMS1 & 2	Halbbrücke DMS7 & 8	Halbbrücke DMS5 & 6
0	0,0029	0,0033	0,0069
100	0,0468	0,0198	0,0084
200	0,0903	0,0429	0,0238
300	0,1333	0,0658	0,0392
400	0,1785	0,0888	0,0548
500	0,2226	0,1119	0,0704

Tabelle 4: Messergebnisse für Kennlinien die Halbbrücken DMS1 & 2, DMS7 & 8, DMS5 & 6

	Halbbrücke DMS1 & 2	Halbbrücke DMS7 & 8	Halbbrücke DMS5 & 6
Empfindlichkeit (gemessen, mittels Excel RGP bestimmt) in $\frac{V}{N}$	4,390E-04	2,208E-04	1,349E-04
Empfindlichkeit (berechnet) in $\frac{V}{N}$	4,383E-04	2,191E-04	1,554E-04

Tabelle 5: berechnete und gemessene Empfindlichkeiten für die Halbbrücken DMS1 & 2, DMS7 & 8, DMS5 & 6

Aus den Messwerten wurde jeweils die Änderung zwischen zwei Messwerten bestimmt und von diesen Änderungen der Mittelwert berechnet. Dieser entspricht der Empfindlichkeit der jeweiligen Halbbrücke. Für DMS1 & 2 und DMS7 & 8 sind berechnete und gemessene Empfindlichkeiten beinahe gleich groß. Lediglich für DMS5 & 6 ergibt sich eine kleine Abweichung zwischen Berechnung und Messung.

3.2.4

Eine genaue Temperaturänderung von 10°C war mit dem Versuchsaufbau nicht erzeugbar. Stattdessen wurde der Kohlewiderstand in der Brückenschaltung durch einen anderen Widerstand für 10 s erhitzt. War die Brückenspannung zuvor auf ca. 0 V kalibriert so erreichte sie nach 10 s ca. 1 V. Wäre der Widerstand beispielsweise in einer Halbbrücke mit DMS1, DMS2 und einem anderen Widerstand verbaut würde fälschlicherweise eine Belastung mit 2777,8 N gemessen, was ca. 230 kg entsprechen würde. Für andere Messbrücken mit niedrigerer Empfindlichkeit wäre der Messfehler noch höher.

3.2.5

Abweichungen durch den Versuchsaufbau können entstehen, weil:

- Dehnmessstreifen händisch aufgebracht wurden sind und somit nicht 100% gerade zur Dehnungsrichtung.
- Widerstände sämtlicher (sehr langer) Zuleitungskabel und Widerstände der Steckverbindungen vernachlässigt werden.
- Der Kleber zwischen Dehnmessstreifen und Messobjekt regelmäßig nach einigen Jahren erneuert werden muss (bzw. Dehnmessstreifen muss ersetzt werden)

3.2.6

m in g	T in ms	F in Hz
0	100	10,0
100	140	7,1
200	170	5,9
300	195	5,1
400	210	4,8

Tabelle 6: Periodendauer (berechnete Frequenzen) des schwingenden Biegebalkens für verschiedene Massen

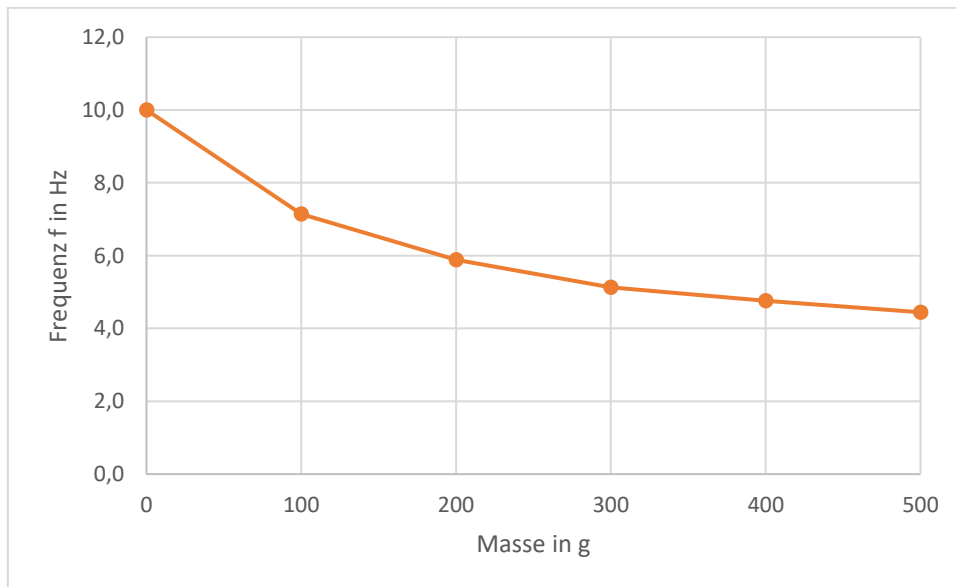


Diagramm 4: Kennlinie des schwingenden Biegebalkens

Mit zunehmender Masse nimmt die Frequenz der Schwingung ab bzw. die Periodendauer zu. Basis dafür bildet die Formel des Masseschwingers $T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{m}{D}}$, wobei D die Federkonstante ist.