



Versuch 4: Dehnungsmesstechnik

1. Versuchsaufbau

1.1. Umfang des Versuches

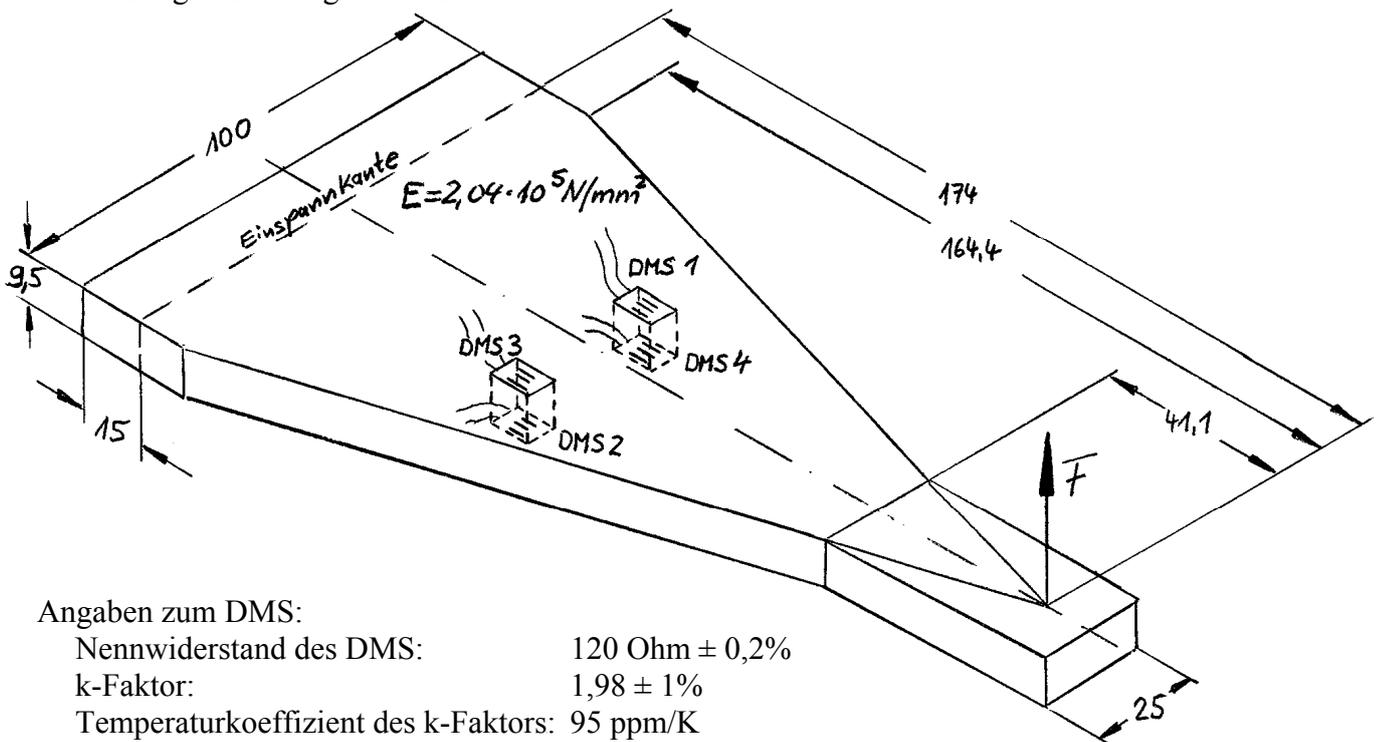
Im Versuch werden folgende Themenkreise behandelt:

- Versuchsstand mit Biegebalken
- Trägerfrequenzmessverstärker MGC mit AB22 und MC55
- Kalibrierung einer Wägezelle als Kraftaufnehmer
- Kalibrierung einer DMS-Messkette mit verstärkerintegrierter Kalibriervorrichtung
- Kalibrierung einer DMS Messkette mit Shunt-Kalibrierung
- Schaltung einer Vollbrücke: biegeempfindlich, zugkompensiert, 4 aktive DMS
- Schaltung einer Viertelbrücke, 1 aktiver DMS

1.2. Grundlagen und Versuchsaufbau

1.2.1. Biegebalken

Abmessungen des Biegebalkens:



Angaben zum DMS:

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Nennwiderstand des DMS: | 120 Ohm ± 0,2% |
| k-Faktor: | 1,98 ± 1% |
| Temperaturkoeffizient des k-Faktors: | 95 ppm/K |
| Wärmeausdehnungskoeffizient: | 11 ppm/K (angepasst an Stahl) |

1.2.2. Dehnungsmesstechnik und Wheatstone'sche Messbrücke

Die DMS-Messtechnik beruht auf der Widerstandsänderung eines Messgitters infolge einer eingeleiteten Dehnung. Durch die Längung des Messgitters bei gleichzeitiger Kontraktion nimmt der elektrische Widerstand des DMS zu.

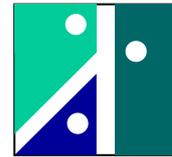
$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

ε : Dehnung
 k : k-Faktor

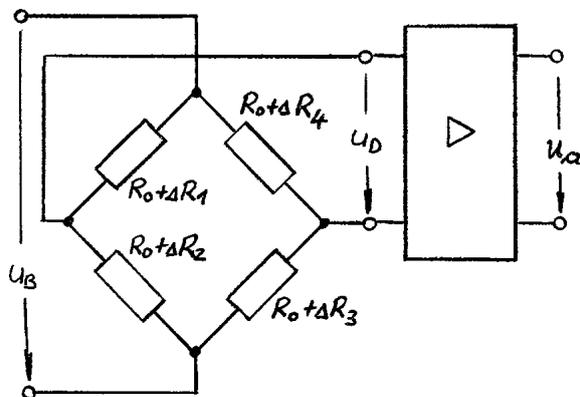
Der Proportionalitätsfaktor k liegt bei handelsüblichen Folien DMS in der Größenordnung von 2. Zur Berechnung der Spannung dient das Hooke'sche Gesetz.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

σ : Spannung
 E : Elastizitätsmodul



Die applizierten DMS werden in einer Wheatstone'schen Brückenschaltung verschaltet und von einem Messverstärker eingespeist. Das erhaltene Signal in der Brückendiagonalen wird verstärkt und angezeigt.



u_B : Brückenspeisespannung
 u_D : Brückendiagonalspannung
 u_a : Ausgangsspannung
 R_0 : Nennwiderstand
 ΔR_i : Widerstandsänderung

Beim verwendeten Verstärker handelt es sich um einen Trägerfrequenzmessverstärker. Zum einfacheren Verständnis kann die Schaltung zur Berechnung der Brückengleichungen jedoch wie ein Gleichstromsystem aufgefasst werden.

Allgemeine Grundgleichung:

Für die Brückendiagonalspannung u_D lässt sich folgende allgemeine Beziehung herleiten:

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\Delta R_2}{R_0} + \frac{\Delta R_4}{R_0} - \frac{\Delta R_1}{R_0} - \frac{\Delta R_3}{R_0} \right) \quad ; \quad |\Delta R_i| \ll R_0$$

Um ein möglichst großes (positives) Ausgangssignal zu erhalten, müssen R_2 und R_4 gleiches Vorzeichen haben, aber entgegengesetztes Vorzeichen zu R_1 und R_3 .

"Gleiches Signal in gegenüberliegende Zweige, ungleiches Signal in benachbarte Zweige."

Fall 1: Biegebalken, 4 aktive DMS, Vollbrücke, biegeempfindlich, zugkompensiert

$$\Delta R_2 = \Delta R_4 = -\Delta R_1 = -\Delta R_3 = \Delta R \quad \text{ergibt:} \quad \frac{u_D}{u_B} = \frac{\Delta R}{R_0}$$

Anmerkung: Ist eine Zugkraft überlagert, so sind alle R_i positiv und gleich groß, so dass der Anteil an der Brückendiagonalspannung zu Null wird (zugkompensiert).

Ist der k-Faktor gleich 2,0 und der Betrag der Dehnung unter allen DMS $500 \mu\text{m/m}$, so führt dies zu einer Brückenverstimmung von:

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon = 2 \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 10^{-3} = 1 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$$

Fall 2: Biegebalken, 1 aktiver DMS in Zugzone, Viertelbrücke

$$\Delta R_2 = \Delta R \quad ; \quad \Delta R_4 = \Delta R_1 = \Delta R_3 = 0 \quad \text{ergibt:} \quad \frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R_0}$$

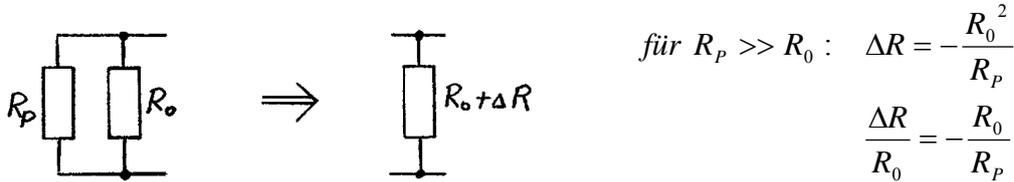
Ist der k-Faktor gleich 2,0 und die Dehnung $2000 \mu\text{m/m}$, so führt dies zu einer Brückenverstimmung von:

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{1}{4} \cdot k \cdot \varepsilon = \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot 2000 \cdot 10^{-6} = 10^{-3} = 1 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$$



Shunt-Kalibrierung:

In einem Brückenweig wird ein bekannter Parallelwiderstand R_p zu einem DMS parallel geschaltet:



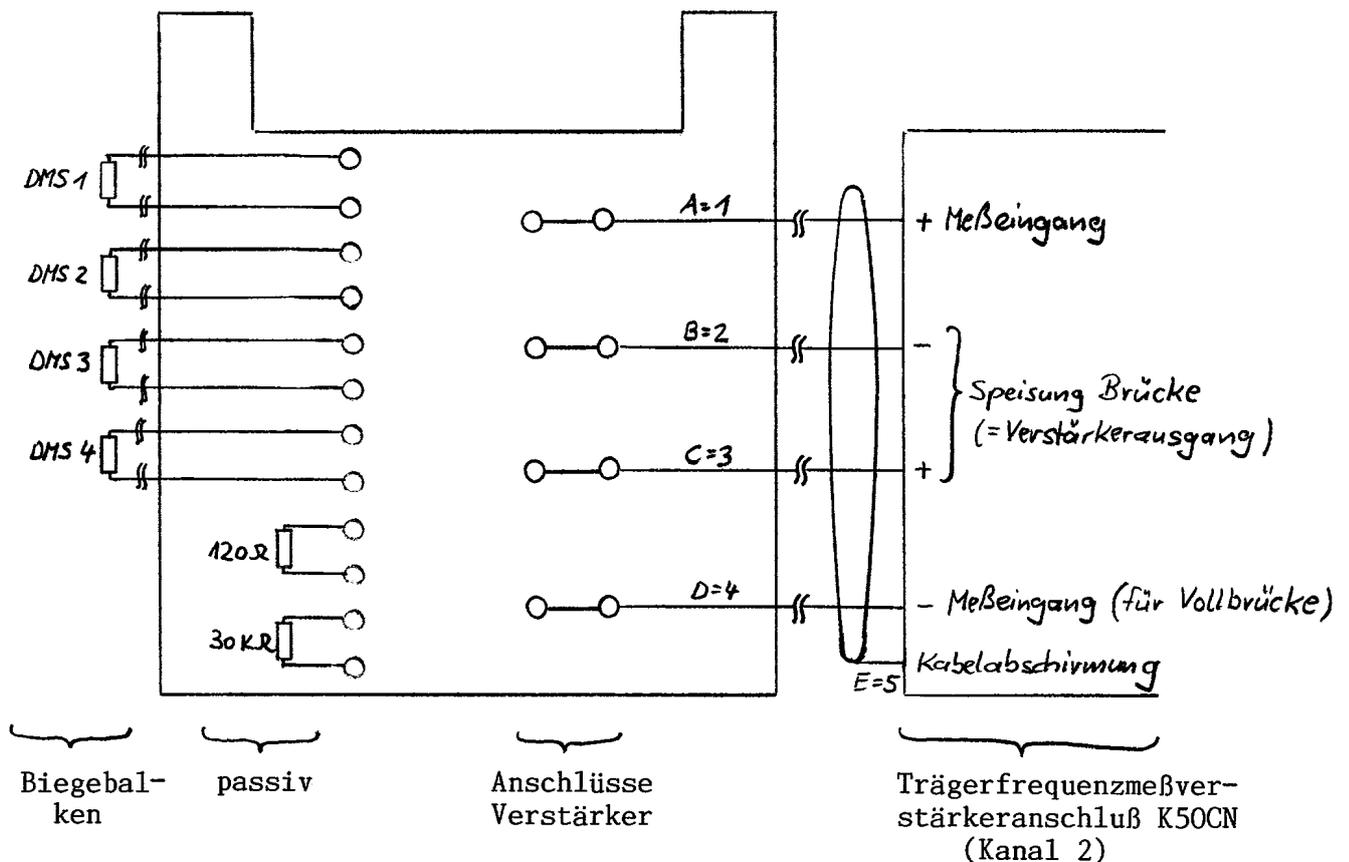
Als Parallelwiderstand wird $R_p = 250R_0$ (hier: $250 \cdot 120\Omega = 30\text{ k}\Omega$) gewählt. Die Parallelschaltung erfolgt mit dem Widerstand R_3 .

ergibt: $\frac{u_D}{u_B} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R_3}{R_0} = -\frac{1}{4} \cdot \left(-\frac{R_0}{R_p}\right) = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{250} = 10^{-3} = 1 \frac{mV}{V}$

Durch Parallelschaltung eines Shunt-Widerstandes kann eine Brückenverstimmung simuliert werden.

1.2.3. Schaltungstableau mit Verstärkeranschluss

Bezeichnung der Steckbuchsen:



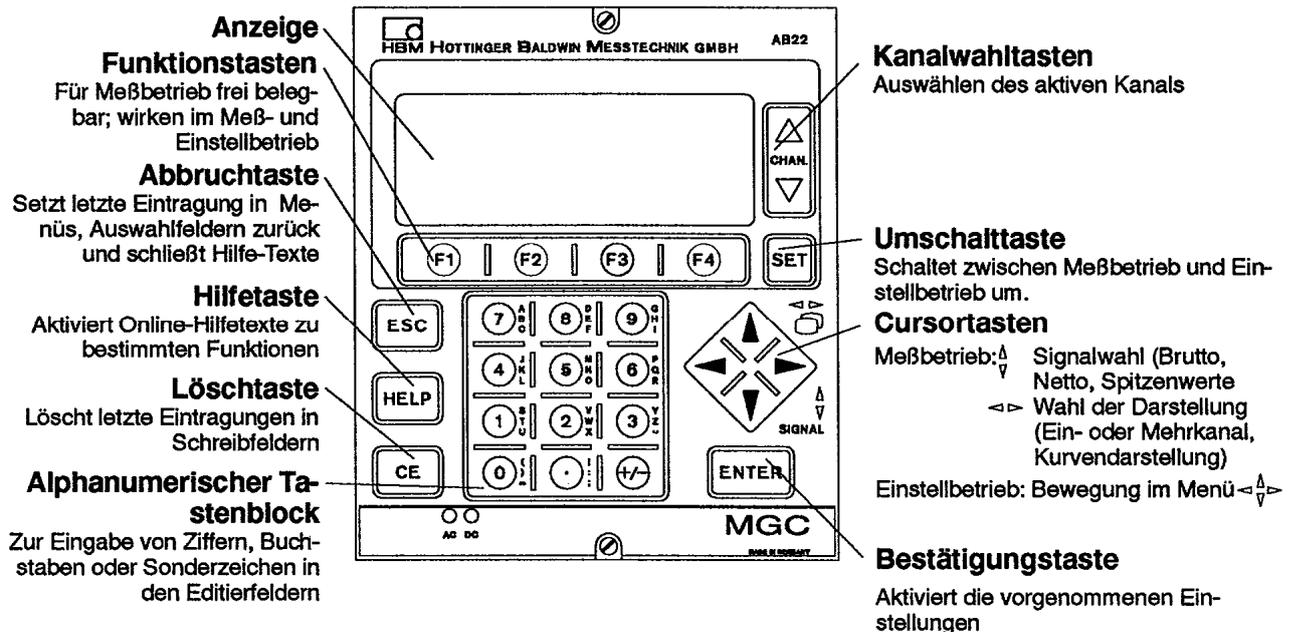
1.3. Trägerfrequenzmessverstärker

In jedem Verstärkerkanal wird nach einer analogen Signalaufbereitung nach dem Trägerfrequenzverfahren der Messwert digitalisiert und kann auf vielfältige Weise ausgewertet werden. Von den vielfältigen Funktionen des Verstärkersystems wird in dem Versuch nur ein Bruchteil angewendet.



Die einzelnen Messbrücken sind in Vierleitertechnik angeschlossen. Im Stecker unmittelbar am Verstärker erfolgt der Übergang zum Sechslleitersystem. Das jeweilige Ausgangssignal steht an der vorne angebrachten BNC-Buchse als Ausgangsspannung zur Verfügung, wird jedoch auch am Display des AB22 angezeigt und dort abgelesen.

Alle Einstellungen des MGC-Gerätes werden mit den Tasten des Anzeige- und Bedienfeldes AB22 durchgeführt.



Die Menüstruktur des Geräteherstellers (Setup-Werkseinstellung) ist auf Anwendungen in der Wägetechnik abgestimmt. Sie ist bewusst nicht verändert worden (auf den Versuch zugeschnitten wäre dies möglich gewesen). Somit finden die Auszubildenden/Studierenden das Gerät so vor wie bei der Erstinbetriebnahme in der Praxis. Lediglich das Passwort ist belegt, damit ein Sperren verschiedener Verstärkerfunktionen nicht ermöglicht wird.

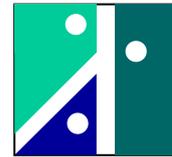
2. Versuchsaufgabe und Anleitung zur Durchführung

2.1. Setup der Werkseinstellung einstellen

Damit jeder Auszubildende das Gerät in der gleichen Konfiguration vorfindet, wird zunächst das Setup der Werkseinstellung eingestellt. Es ist auch eine Übung zum Kennenlernen des Anzeige- und Bedienfeldes.

Folgende Tastenfolgen sind notwendig:

- SET Taste drücken
- F1=System Taste drücken
- Save/Recall (mit Cursortasten anwählen), mit ENTER auslösen
- Setup ... (mit Cursortasten anwählen), mit ENTER auslösen
- Menüpunkt ALLE (ist aktiviert), mit ENTER auslösen
→ dadurch werden die erforderlichen Häkchen gesetzt
- mit Cursortasten OK anwählen, mit ENTER auslösen
- mit SET verlassen, Ja mit ENTER bestätigen



Bemerkung: Das Verlassen des Einstellmenüs (aus einer beliebigen Stelle) lässt sich stets einleiten, indem die SET-Taste gedrückt wird, dann mit den Cursor-Tasten *Einstellungen sichern = NEIN* angewählt wird und mit ENTER bestätigt wird.

2.2. Nullpunkteinstellung und Kalibrierung der Wägezelle zur Kraftmessung (Kanal 1)

Auszug aus dem Datenblatt Wägezelle U1 HBM:

- Nennlast 200 kg
- Nennempfindlichkeit 2 mV/V
- Widerstand 350 Ω
- Genauigkeitsklasse 0,1

Auszug aus Datenblatt des Messverstärkereinschubs MC55:

- Trägerfrequenz 4,8 kHz
- Brückenspeisespannung 5 V_{eff} (Werkseinstellung)
- Genauigkeitsklasse 0,03

Bei der Nullpunkteinstellung und der Kalibrierung muss der Biegebalken und die Wägezelle unbelastet sein.

Nullpunkteinstellung und Kalibrierung:

Bemerkung: Bei Kanal 1 (=Wägezelle zur Kraftmessung) muss stets eine Vollbrücke eingestellt sein (Bem.: Ist durch Werkseinstellung bereits vorgegeben).

Folgende Tastenfolgen sind notwendig:

- SET Taste drücken
- F3=Verstärker Taste drücken
- Kalibrieren (mit Cursortasten anwählen), mit ENTER bestätigen
- in der Zeile *Nullpunkt* mit Cursortasten nach rechts auf Menüpunkt *messen* fahren und mit ENTER auslösen

Bem.: Verstärker misst die Brückenverstimmung (ohne Belastung) in mV/V und zeigt sie an.

Zur nachfolgenden Festlegung der Verstärkung ist eine kurze Zwischenrechnung erforderlich. Aus der Herstellerangabe, dass bei der Wägezelle eine Masse von 200 kg eine Brückenverstimmung von 2 mV/V erzeugt und der Forderung, dass 100 N ein Ausgangssignal von 1 V erzeugen soll, lässt sich bestimmen:

Bem.: $9,81 \approx 9,80665$

$$\begin{array}{l} 2 \text{ mV/V} \hat{=} 200 \text{ kg} \hat{=} 200 \cdot 9,80665 \text{ N} \hat{=} 1961,33 \text{ N} \\ \dots \text{ mV/V} \qquad \qquad \qquad 100 \text{ N} \hat{=} 1 \text{ V (Forderung)} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 1000 \text{ N} \hat{=} 10 \text{ V} \hat{=} 100 \% \end{array}$$

Dreisatz: $\dots \text{ mV/V} = \frac{1000 \text{ N} \cdot 2 \text{ mV/V}}{1961,33 \text{ N}} = 1,01972 \text{ mV/V} \approx 1,020 \text{ mV/V}$

Der Zahlenwert von 1,01972 muss nun im Feld *Meßbereich 1* eingegeben werden.

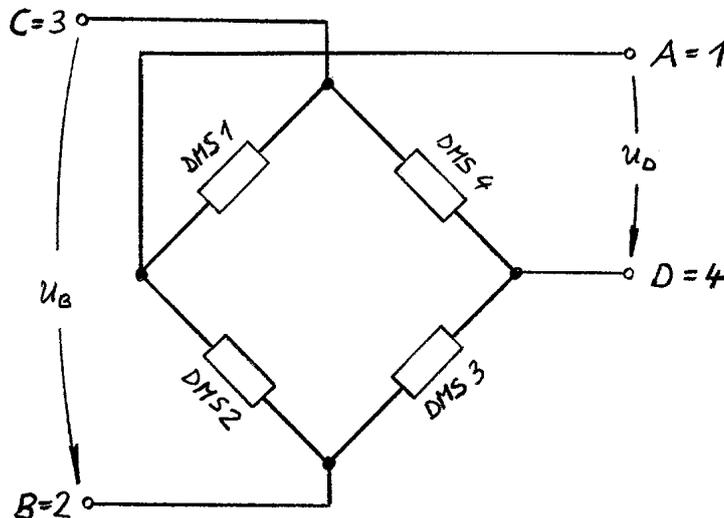
Folgende Tastenfolgen sind notwendig:

- Feld *Meßbereich 1* mit Cursortasten anwählen (z.Z. steht da noch ein Wert von 2.00000) und den Zahlenwert von 1.01972 eingeben und mit ENTER übernehmen.
Bem.: Damit wird eine Änderung von 1.01972 mV/V in eine Anzeigeänderung von genau 10 Volt abgebildet (Dies entspricht 1000 N).
- mit SET Einstellmenü verlassen
- Ja mit ENTER bestätigen



2.3. Nullpunkteinstellung und Kalibrierung von Kanal 2, Biegebalken in Vollbrücke, 4 aktive DMS

Zunächst soll eine Vollbrücke entsprechend dem unten abgebildeten Schaltplan auf dem Schaltungstableau gesteckt werden.



Nullpunkteinstellung und Kalibrierung:
Der Biegebalken muss wie zuvor unbelastet sein.

Folgende Tastenfolgen sind notwendig:

- durch Betätigen der *CHAN*-Kanalwahltasten Kanal 2 anwählen
- *SET* Taste drücken
- *F3=Verstärker* Taste drücken
Bem.: Aufnehmer Vollbrücke ist eingestellt durch *SETUP*-Werkseinstellung (bleibt unverändert)
- *Kalibrieren* (mit Cursortasten anwählen), mit *ENTER* bestätigen
- in der Zeile *Nullpunkt* mit Cursortasten nach rechts auf Menüpunkt *messen* fahren und mit *ENTER* auslösen
Bem.: Verstärker misst die Brückenverstimmung in mV/V und zeigt sie an
- Feld *Meßbereich 1* mit Cursortasten anwählen (z.Z. steht da noch ein Wert von 2.00000) und den Zahlenwert von 1,00000 eingeben und mit *ENTER* übernehmen
Bem.: Damit wird eine Änderung von 1 mV/V in eine Anzeigeänderung von genau 10 Volt abgebildet.
- mit *SET* Einstellmenü verlassen
- *Ja* mit *ENTER* bestätigen

Überprüfen Sie die Verstärkereinstellung mit einem Shuntwiderstand. Schalten Sie parallel zu DMS 3 einen Widerstand von 30 $k\Omega$ und messen Sie die Ausgangsspannung. Wieso müssen (ca.) 10 V gemessen werden?

Hinweis:

Beim Stecken des Parallelwiderstandes ändert sich der Übergangswiderstand der zuvor gesteckten Messbrücke. Es ist ein erneuter Nullpunktgleich erforderlich. Er lässt sich im Messbetrieb durch Hintereinanderbetätigung der Funktionstasten *F4, F4, F2* (vereinfacht) durchführen.



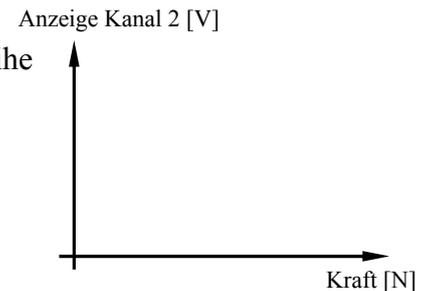
Messen Sie eine Messreihe durch, wobei als Laststufen 0, 100, 200, 300, 400, 500 N gewählt werden. Entlasten Sie nach der Messreihe den Biegebalken und überprüfen Sie den Nullpunkt.

Bem.: Da eine Wägezelle im Normalfall auf Druck belastet wird, ergeben sich bei der Zugkraft im Versuch negative Messwerte bei Kanal 1. Dies kann verhindert werden, indem bei der Kalibrierung von Kanal 1 anstatt 1,01972 mV/V ein negativer Wert von -1,01972 mV/V eingegeben wird.

Anleitung zur Auswertung:

- tabellarische und graphische Darstellung der gesamten Messreihe
- rechnerisch nur für höchsten Lastpunkt:
 - Berechnung der Biegespannung aus angreifender Last
 - Berechnung der Biegespannung aus DMS-Messung
- Erklärungen für eventuelle Abweichungen

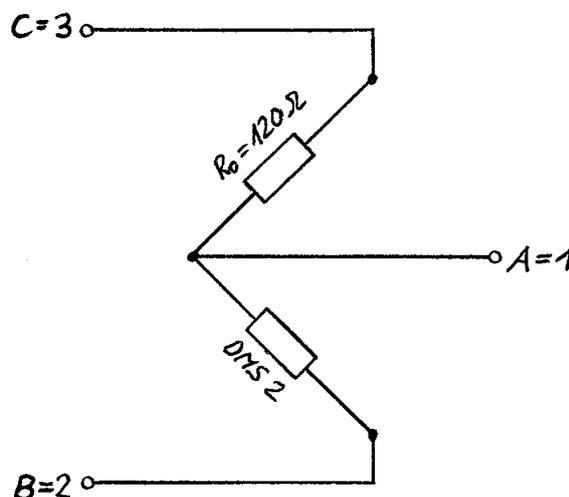
Anm.: k-Faktor ist nicht gleich 2



2.4. Biegebalken in Viertelbrücke, 1 aktiver DMS

Es soll eine Viertelbrücke entsprechend dem unten abgebildeten Schaltplan auf dem Schaltungstableau (Kanal 2) gesteckt werden.

Bem.: Rechentechnisch handelt es sich um eine Viertelbrücke. Für den Verstärker handelt es sich um eine Halbbrücke.



Nullpunkteinstellung und Kalibrierung:

Die Einstellung des Verstärkers erfolgt ähnlich wie im vorigen Abschnitt. Jedoch muss zusätzlich die Halbbrücke aktiviert werden. Der Biegebalken muss wie zuvor unbelastet sein.

Folgende Tastenfolgen sind notwendig:

- durch Betätigen der *Kanalwahltasten* Kanal 2 anwählen
- *SET* Taste drücken
- *F3=Verstärker* Taste drücken
- *Aufnehmertyp* (mit Cursortasten anwählen), mit *ENTER* bestätigen
- *Typ* (zuvor war eine DMS-Vollbrücke eingestellt, jetzt muss eine DMS-Halbbrücke eingestellt werden) mit Cursortasten anwählen, nach Betätigung mit *ENTER* werden alle möglichen Aufnehmertypen angezeigt, mit Cursortasten *DMS Halbbrücke* anwählen und mit *ENTER* bestätigen



Bem.: Somit ist der Aufnehmertyp *DMS-Halbbrücke* vorgewählt

- erneut *F3=Verstärker* Taste betätigen
- *Kalibrieren* (mit Cursortasten anwählen), mit *ENTER* bestätigen
- in der Zeile *Nullpunkt* mit Cursortasten nach rechts auf Menüpunkt *messen* fahren und mit *ENTER* auslösen

Bem.: Verstärker misst die Brückenverstimmung in mV/V und zeigt sie an

Der folgende Schritt ist überflüssig, falls zwischenzeitlich keine Übernahme der Werkseinstellung durchgeführt wurde:

- Feld *Meßbereich 1* mit Cursortasten anwählen (z.Z. steht da noch ein Wert von 2.00000) und den Zahlenwert von *1* eingeben und mit *ENTER* übernehmen
Bem.: Damit wird eine Änderung von 1 mV/V in eine Anzeigeänderung von genau 10 Volt abgebildet
- mit *SET* Einstellmenü verlassen
- *Ja* mit *ENTER* bestätigen

Messen Sie die gleiche Messreihe durch wie im vorigen Abschnitt (0, 100, 200, 300, 400, 500 N). Die Auswertung erfolgt ebenfalls wie zuvor.

Bem.: Die graphische Darstellung erfolgt im gleichen Diagramm wie im vorigen Abschnitt.