

Messen mit Dehnmessstreifen

André Schieleit,
Alexander Böhm

11.11.2004
zweite, verbesserte Version

Inhaltsverzeichnis

1	Gleichspannungsmessverstärker	3
1.1	Bestimmung der oberen Grenzfrequenz	3
1.2	Bestimmen der Anstiegszeit	4
1.3	Bestimmen der Phasenlaufzeit	5
1.4	Einfluss von Störsignalen	6
2	Trägerfrequenzmessverstärker	7
2.1	Bestimmung der oberen Grenzfrequenz	8
2.2	Messen der Anstiegszeit	9
2.3	Bestimmen der Phasenlaufzeit	9
2.4	Einfluss von Störsignalen	10
2.5	Vergleich von Gleichspannungs- und Trägerfrequenz-Messverstärker	10
3	Messungen am Biegebalken	11
4	Messung eines Kraftstoßes mit dem Gleichspannungsmessverstärker	12
4.1	Messbereich berechnen	12
4.2	Aufnahme des Kraftstoßes	13

Tabellenverzeichnis

1	Messwerte Gleichspannungsmessverstärker	3
2	Frequenzgang Trägerfrequenzmessverstärker bei Sensorsignalpegel $\hat{u}=150\text{mV}$	8
3	Vergleich Gleichspannungs- und Trägerfrequenz-Messverstärker	10
4	Abhängigkeit der Ausgangsspannung vom Biegemoment	11

Abbildungsverzeichnis

1	Spannungsverlauf von u_{SS} über der Frequenz	3
2	Anstiegszeit des Gleichspannungsmessverstärkers	4
3	Phasenlaufzeit des Gleichspannungsmessverstärkers	5
4	Störsignal 50 Hz	6
5	Störsignal 5 kHz	6
6	Voreinstellung des Verstärkungsfaktors	7
7	Spannungsverlauf von u_{SS} über der Frequenz	8
8	Anstiegszeit Trägerfrequenzmessverstärker	9
9	Phasenlaufzeit Trägerfrequenzmessverstärker	9
10	Störsignal Trägerfrequenzmessverstärker $f=50\text{Hz}$	10
11	Ausgangsspannung über Biegemoment am Biegebalken	11
12	Signalverlauf beim Kraftstoß	13

1 Gleichspannungsmessverstärker

1.1 Bestimmung der oberen Grenzfrequenz

Wir sollten den Amplitudengang des Gleichspannungsmessverstärkers aufnehmen. Dazu wurde der Messverstärker mit einer Eingangsspannung von $u_E = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$ mit $\hat{u} = 20 \text{ mV}$ und $f = 10 \text{ Hz}$ auf eine Ausgangsspannung von $\hat{u}_A = 10 \text{ V}$ eingestellt. Anschließend nahmen wir folgende Messreihe auf. Dabei ist zu beachten, dass hier die Spitze-Spitze-Werte der Spannung aufgenommen wurden, da sich diese am Oszilloskop besser ablesen lassen als die einfachen Spitzenwerte.

$\frac{f}{\text{kHz}}$	0,01	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{u_{SS}(f)}{\text{V}}$	20,0	19,5	19,1	18,6	18,3	17,7	17,2	16,4	15,7	15,0
$\frac{f}{\text{kHz}}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\frac{u_{SS}(f)}{\text{V}}$	14,3	13,6	12,7	11,9	11,1	10,4	9,7	9,2	8,6	8,1

Tabelle 1: Messwerte Gleichspannungsmessverstärker

Der Graph zu diesen Messwerten:

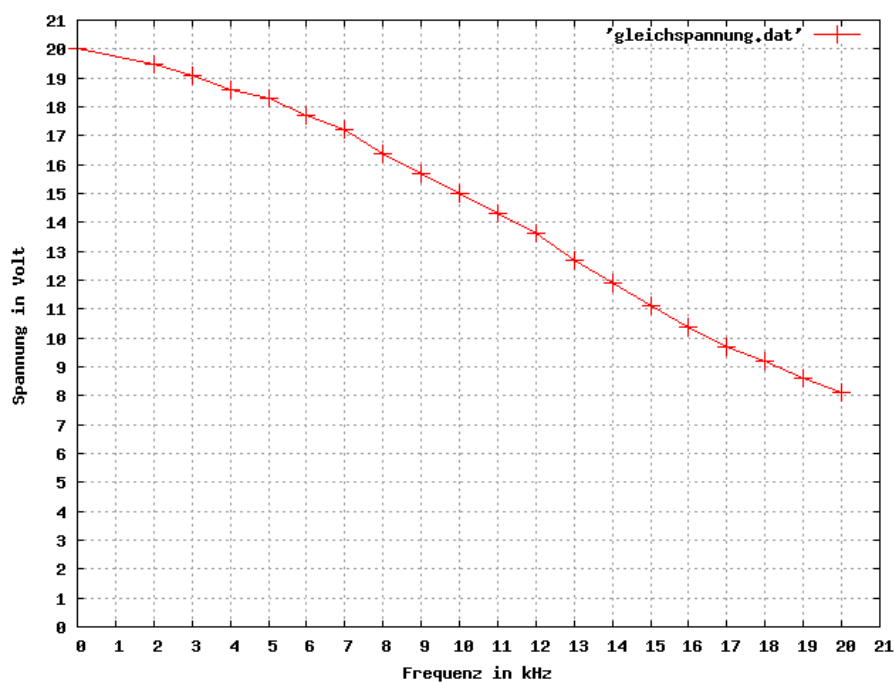


Abbildung 1: Spannungsverlauf von u_{SS} über der Frequenz

Der dB-Wert y der Spannung U_x berechnet sich wie folgt:

$$\frac{y}{\text{dB}} = 20 \log \left(\frac{U_x}{\hat{U}} \right) \implies U_x = 10^{\left(\frac{y}{20\text{dB}}\right)} \cdot \hat{U}$$

Für $y = -1\text{dB}$ ergibt sich:

$$U_x = 10^{\left(\frac{-1\text{dB}}{20\text{dB}}\right)} \cdot \hat{U} = 10^{-0,05} \cdot \hat{U} = 0,891 \cdot \hat{U}$$

Damit ergibt sich der -1dB -Wert für die Spannung $\hat{u}_{f_{g0}}(f_{g0}) = 0,891 \cdot 10 \text{ V} = \underline{8,91\text{V}}$
 $\hat{u}_{SS} = 17,82\text{V}$.

Die aus dem Kurvenverlauf ermittelte 1dB -Grenzfrequenz: $f_{g0} \approx 6\text{kHz}$.

Die aus dem Kurvenverlauf ermittelte 3dB -Grenzfrequenz: $f_{3\text{dB}} = f(0,707 \cdot 10\text{V}) = f(7,07\text{V}) \approx 11 \text{ kHz}$.

1.2 Bestimmen der Anstiegszeit

Der Verstärker wurde mit einer rechteckigen Eingangsspannung mit $\hat{u} = 20\text{mV}$ und $f = 5 \text{ kHz}$ betrieben. Dabei ergab sich folgender Signalverlauf. Dabei ist Kanal 1 das Eingangssignal und Kanal 2 das Ausgangssignal des Verstärkers.

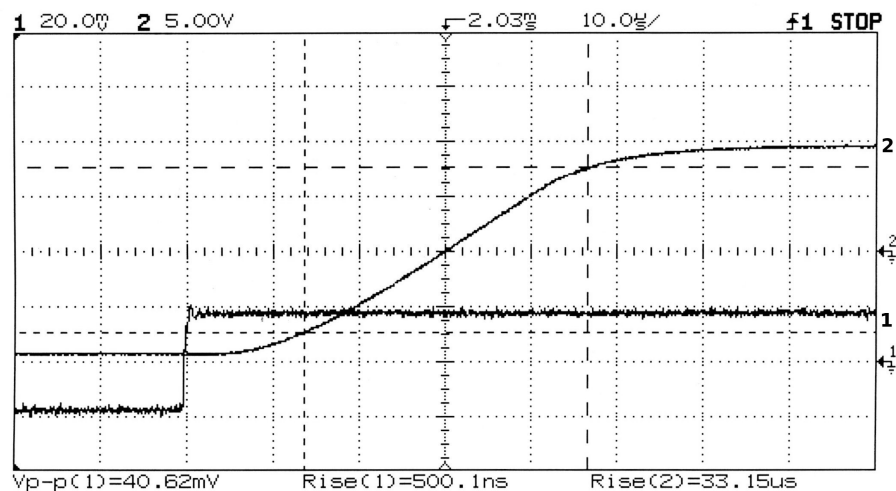


Abbildung 2: Anstiegszeit des Gleichspannungsmessverstärkers

Die gemessene Anstiegszeit von 10% auf 90% der Ausgangsspannung beträgt $33,15\mu\text{s}$, wie man an der Cursorsdarstellung $\text{Rise}(2)=33.15\mu\text{s}$ im Bild 2 sehen kann.

1.3 Bestimmen der Phasenlaufzeit

Der Verstärker wurde mit einer sinusförmigen Eingangsspannung mit $\hat{u} = 10 \text{ mV}$ und $f = 4\text{kHz}$ betrieben. Der Signalverlauf stellte sich wie folgt dar.

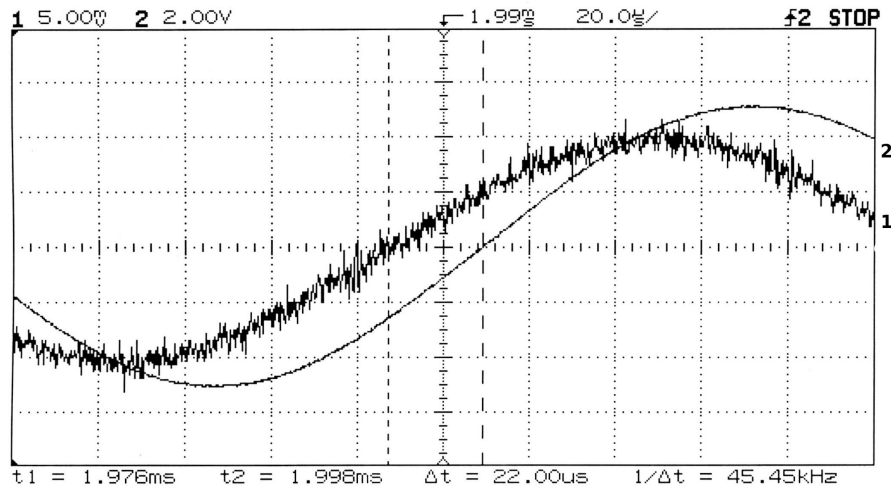


Abbildung 3: Phasenlaufzeit des Gleichspannungsmessverstärkers

Daraus lässt sich eine Phasenlaufzeit von $22,0 \mu\text{s}$ ablesen, wie man aus der Cursorsstellung in Bild 3 erkennen kann. Kurve 1 ist dabei die Eingangsspannung und Kurve 2 stellt die Ausgangsspannung des Verstärkers dar.

1.4 Einfluss von Störsignalen

Ein statisches Signal mit einer Gleichspannung von 87,1 mV wurde an den Eingang des Verstärkers gelegt. Dieses Signal wurde dann mit einer sinusförmigen Spannung mit $\hat{u} = 20$ mV und einer Frequenz $f = 5$ kHz und einmal mit $f = 50$ Hz überlagert.

Die beiden Oszillogramme zeigen, dass der Einfluss der höheren Frequenz fast gleich dem der niedrigeren Frequenz ist. Ausserdem ist der Störeinfluss deutlich erkennbar mit $\hat{u}_{ss} \approx 2$ V. Da die störende Frequenz mit 50 Hz bzw. 5 000 Hz noch unterhalb der Grenzfrequenz des Verstärkers liegt, wird sie fast nicht bedämpft und somit fast voll verstärkt.

In den Oszillogrammen ist jeweils in Kurve 1 die Eingangsspannung und in Kurve 2 die Ausgangsspannung des Verstärkers dargestellt.

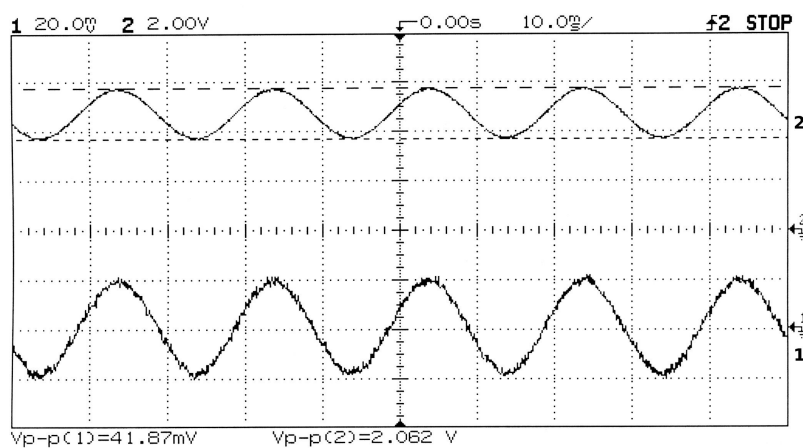


Abbildung 4: Störsignal 50 Hz

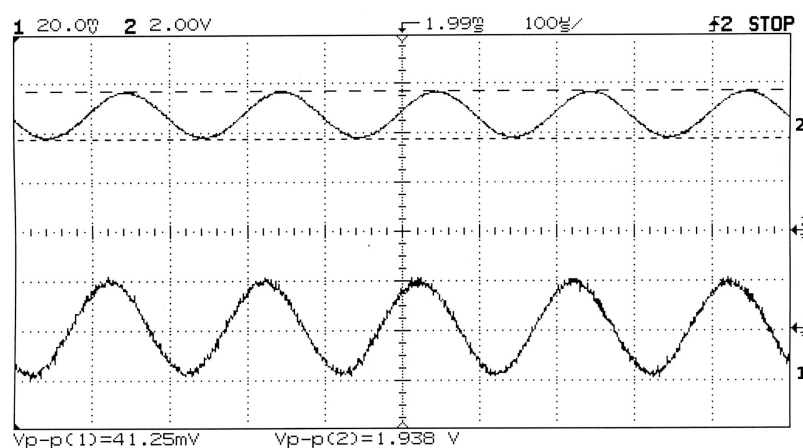


Abbildung 5: Störsignal 5 kHz

2 Trägerfrequenzmessverstärker

Vor Beginn der Messungen wurde der Messverstärker laut den Vorgaben aus dem Versuchsumdruck vorbereitet. Dieses Oszillogramm zeigt die Voreinstellung des Verstärkungsfaktors bei einer Eingangsfrequenz $f = 50\text{Hz}$.

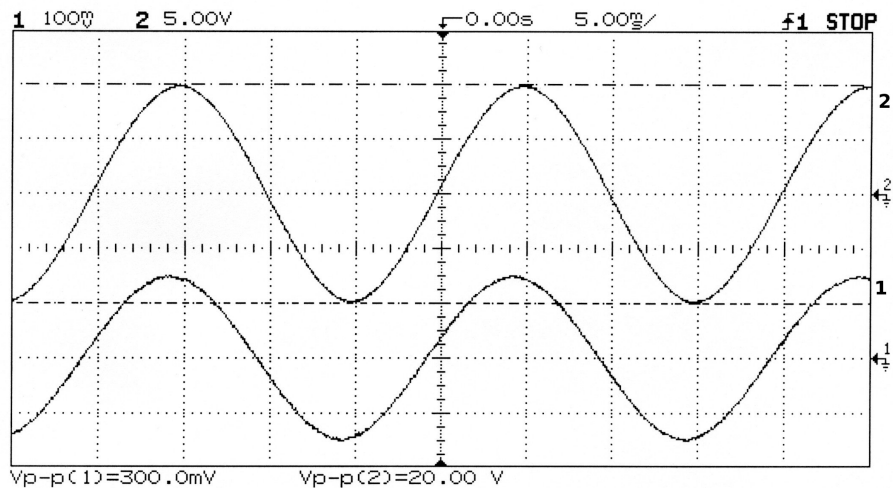


Abbildung 6: Voreinstellung des Verstärkungsfaktors

Kurve 1 ist hierbei die Eingangsspannung mit $u_{eSS} = 300,0\text{mV}$ und Kurve 2 die eingestellte Ausgangsspannung mit $u_{aSS} = 20,00\text{V}$. Der Verstärkungsfaktor v ergibt sich aus:

$$v = \frac{u_{aSS}}{u_{eSS}} = \frac{20,00\text{V}}{0,3000\text{V}} = 66,66 \approx 67$$

2.1 Bestimmung der oberen Grenzfrequenz

$\frac{f}{\text{Hz}}$	100	200	300	400	500	600	700	800
$\frac{\hat{u}_{SS}(f)}{\text{V}}$	19,7	18,9	17,8	16,4	15,3	13,7	12,1	10,3
$\frac{f}{\text{Hz}}$	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	
$\frac{\hat{u}_{SS}(f)}{\text{V}}$	8,7	7,2	5,9	4,8	4,0	3,3	2,8	

Tabelle 2: Frequenzgang Trägerfrequenzmessverstärker bei Sensorsignalpegel $\hat{u}=150\text{mV}$

Der Graph zu diesen Messwerten stellt sich so dar. Auch hier haben wir wieder die Spitzen-Spitzen-Spannung aufgenommen.

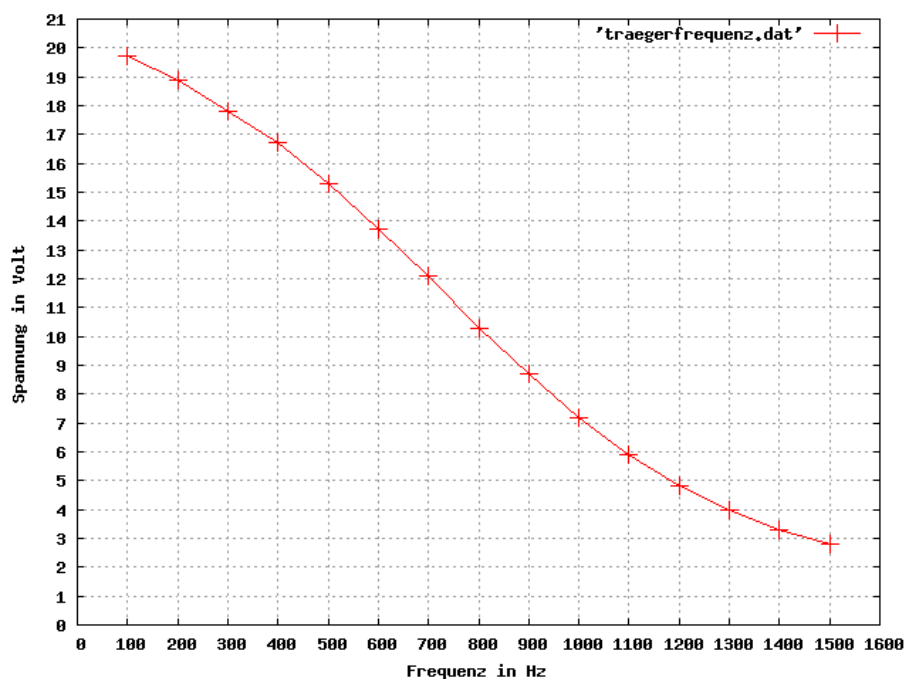


Abbildung 7: Spannungsverlauf von u_{SS} über der Frequenz

Die 3dB-Grenzfrequenz f_{3dB} beträgt: $f_{3dB} = f(u_{ss} \cdot 0,707) = f(20\text{V} \cdot 0,707) = f(14,14\text{V}) \approx 550\text{Hz}$.

2.2 Messen der Anstiegszeit

Eine rechteckförmige Eingangsspannung mit $\hat{u} = 100 \text{ mV}$ und einer Frequenz von $f = 100 \text{ Hz}$ wurde am Eingang angelegt. Aus dem Oszillogramm lässt sich eine Anstiegszeit von $578 \text{ }\mu\text{s}$ ablesen. Kurve 1 ist dabei die Eingangsspannung und Kurve 2 das Ausgangssignal.

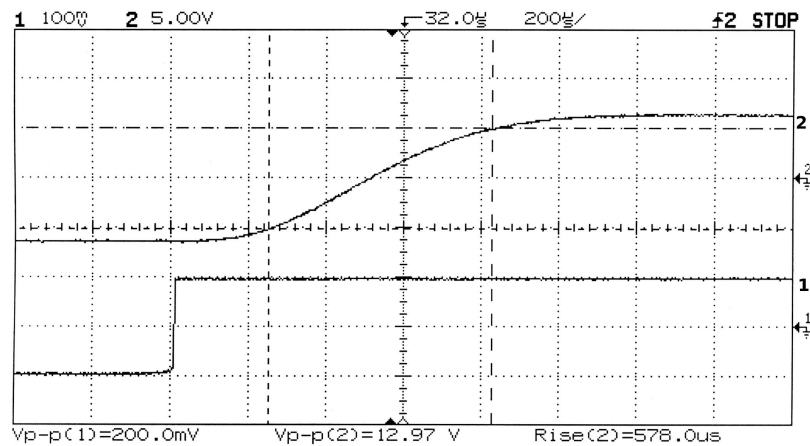


Abbildung 8: Anstiegszeit Trägerfrequenzmessverstärker

2.3 Bestimmen der Phasenlaufzeit

Eine sinusförmige Eingangsspannung mit $\hat{u} = 75 \text{ mV}$ und einer Frequenz von $f = 300 \text{ Hz}$ wurde am Eingang angelegt. Aus dem Oszillogramm lässt sich eine Phasenlaufzeit von $534 \text{ }\mu\text{s}$ ablesen. Kurve 1 ist die Eingangsspannung und Kurve 2 das Ausgangssignal.

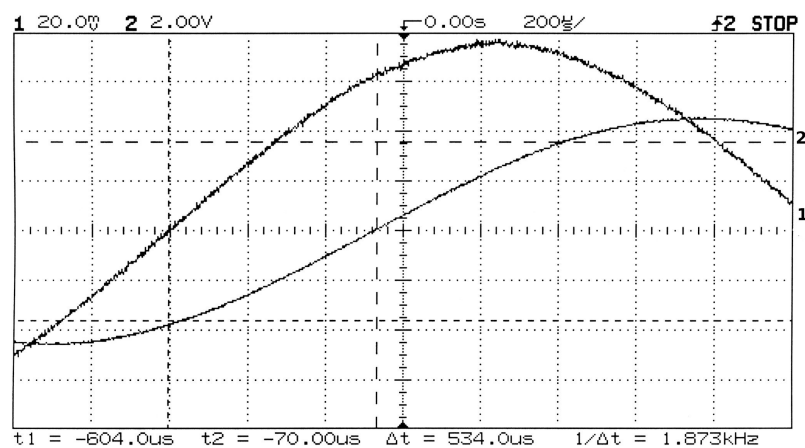


Abbildung 9: Phasenlaufzeit Trägerfrequenzmessverstärker

2.4 Einfluss von Störsignalen

Am Eingang des Verstärkers wurde eine statische Eingangsspannung von 86,6 mV mit einer sinusförmigen Spannung mit $\hat{u} = 20\text{mV}$ und $f=50\text{Hz}$ überlagert. Dabei ergab sich folgendes Bild. Der Einfluss der Störspannung ist offensichtlich sehr gering. Kurve 1 ist die Eingangsspannung und Kurve 2 das Ausgangssignal.

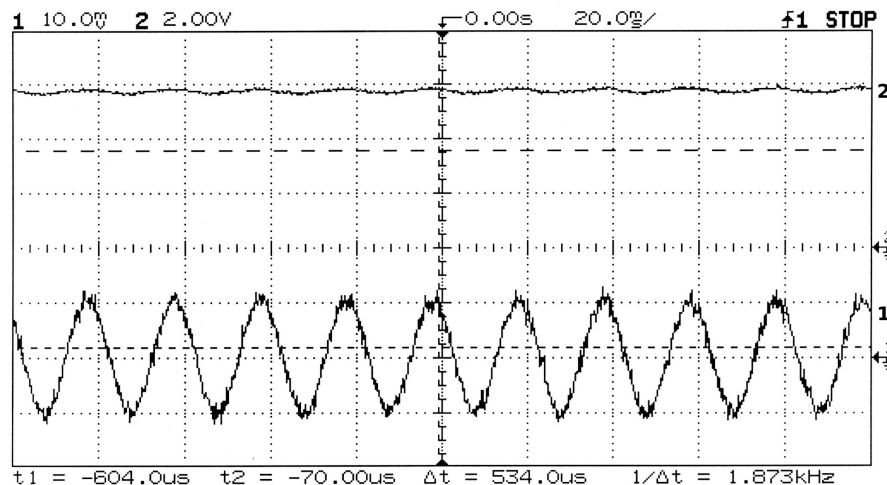


Abbildung 10: Störsignal Trägerfrequenzmessverstärker $f=50\text{Hz}$

2.5 Vergleich von Gleichspannungs- und Trägerfrequenz-Messverstärker

	Gleichspannungs- messverstärker	Trägerfrequenzmess- verstärker
Bandbreite	groß	klein
Impulswiedergabe	sehr gut	gut
Einfluss von Störgrößen auf das Ausgangssignal	groß	klein

Tabelle 3: Vergleich Gleichspannungs- und Trägerfrequenz-Messverstärker

Der Gleichspannungsmessverstärker eignet sich somit für Aufgaben, bei denen eine gute Impulswiedergabe wichtig ist, also für Messungen, bei denen die Messwerte sich schnell ändern.

Der Trägerfrequenzmessverstärker ist besonders für Messungen geeignet, bei denen Störungen das Messergebnis verfälschen würden.

3 Messungen am Biegebalken

Die Messungen wurden mit dem Trägerfrequenzmessverstärker durchgeführt. Vor Beginn der Messungen wurde ohne Belastung des Biegebalkens ein Nullabgleich durchgeführt. Anschließend wurde der Biegebalken mit 50 N belastet und die Ausgangsspannung des Verstärkers auf $U_A = 3$ V bei $F = 50$ N abgeglichen. Danach wurde der Balken mit unterschiedlichen Kräften belastet und dabei die Ausgangsspannung gemessen. Die Werte finden sich in folgender Tabelle.

F in N	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
U_A in V	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0

Tabelle 4: Abhängigkeit der Ausgangsspannung vom Biegemoment

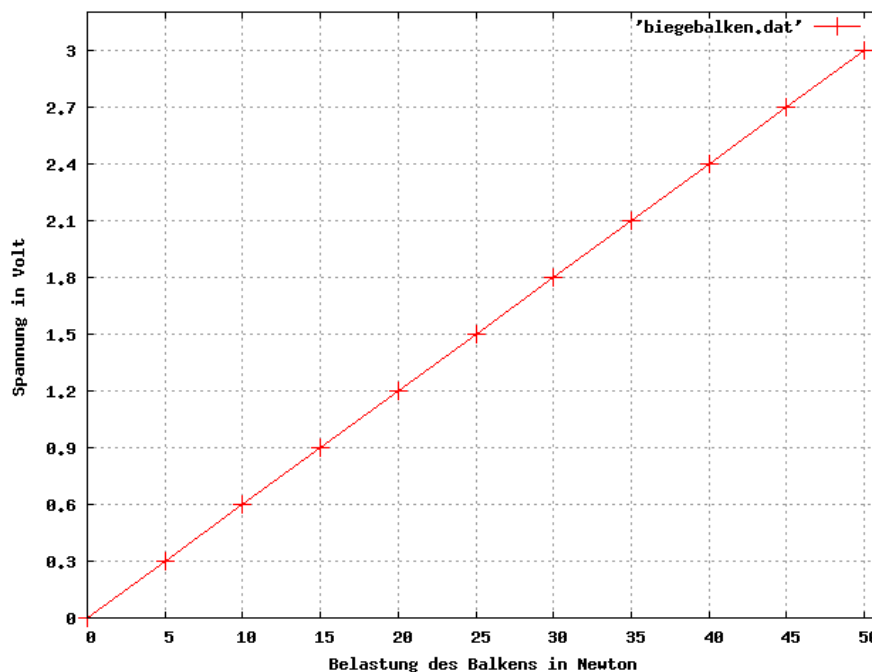


Abbildung 11: Ausgangsspannung über Biegemoment am Biegebalken

Aus der Tabelle und dem Diagramm ist sehr gut der lineare Zusammenhang zwischen Belastung des Biegebalkens und der Ausgangsspannung zu erkennen.

4 Messung eines Kraftstoßes mit dem Gleichspannungsmessverstärker

4.1 Messbereich berechnen

- Nennlast der Wägezelle: 2000 kg
- Kennwert der Wägezelle: $2,2857 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$

Die maximal zu messende Last wird mit 700 kg festgelegt. Damit ergibt sich:

$$\frac{2000\text{kg}}{2,2857 \frac{\text{mV}}{\text{V}}} = \frac{700\text{kg}}{U_x}$$

$$U_x = \frac{700 \cdot 2,2857 \frac{\text{mV}}{\text{V}}}{2000} = 0,7999 \frac{\text{mV}}{\text{V}} \approx 0,8 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$$

Das heißt, dass bei einer Belastung von 700kg die Wägezelle die Spannung um 0,8mV pro Volt der angelegten Spannung verändert. Bei 10V angelegter Spannung wird diese also um 8mV verändert.

Mit diesem Wert wurde nun der Gleichspannungsmessverstärker eingestellt. Anschließend führten wir einen Nullabgleich durch. Bei entlasteter Wägezelle wurde nun der Messverstärker kalibriert. Dazu wurde durch eine interne Schaltung des Verstärkers ein Brückenspannungssignal von $0,2 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$ simuliert. Die Last, der dieses Signal entspricht, berechnet sich so:

$$\frac{700\text{kg}}{0,8 \frac{\text{mV}}{\text{V}}} = \frac{m_x}{0,2 \frac{\text{mV}}{\text{V}}} \implies m_x = \underline{175\text{kg}}$$

Jetzt soll die Ausgangsspannung des Verstärkers so eingestellt werden, dass bei 700kg Belastung ein Wert von 10V erreicht wird. Daraus folgt, dass bei $0,2 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$ folgende Ausgangsspannung eingestellt werden muss:

$$\frac{0,8 \frac{\text{mV}}{\text{V}}}{10\text{V}} = \frac{0,2 \frac{\text{mV}}{\text{V}}}{U_x} \implies U_x = \underline{2,5\text{V}}$$

4.2 Aufnahme des Kraftstoßes

Nun wurde die Messeinrichtung entsprechend den Vorgaben im Laborumdruck aufgebaut und das Oszilloskop eingestellt. Anschließend wurde eine Stahlkugel auf die Wägezelle fallen gelassen. Dabei ergab sich folgender Signalverlauf.

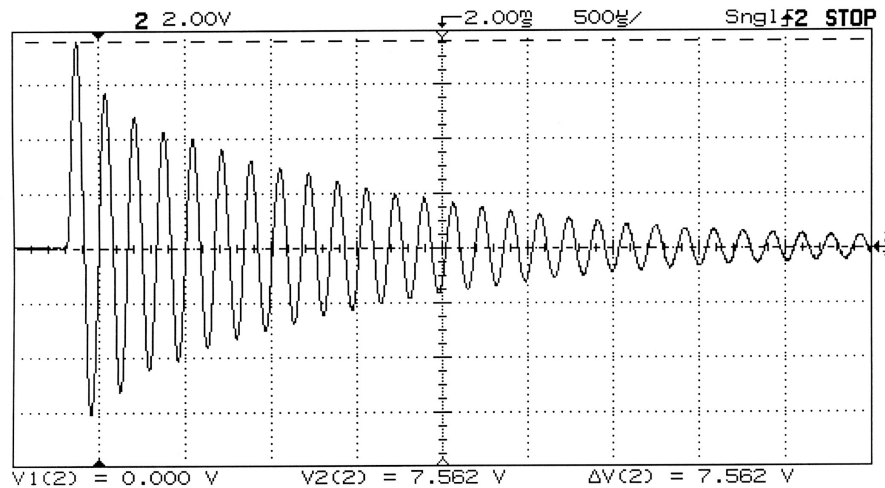


Abbildung 12: Signalverlauf beim Kraftstoß

Aus dem Kurvenverlauf erkennt man die maximale Belastung der Zelle am größten Ausschlag, der 7,562V beträgt. Daraus berechnet sich eine Belastung von:

$$\frac{7,562V}{m_x} = \frac{10V}{700kg} \implies m_x = \underline{529,34kg}$$

Dieser Anzeigewert lässt mit Hilfe der Formel $F_G = m \cdot g$ auf die Impulskraft schließen, die sich aus der starken Abbremsung der Stahlkugel beim Aufprall auf die stählerne Oberfläche der Wägezelle ergibt.