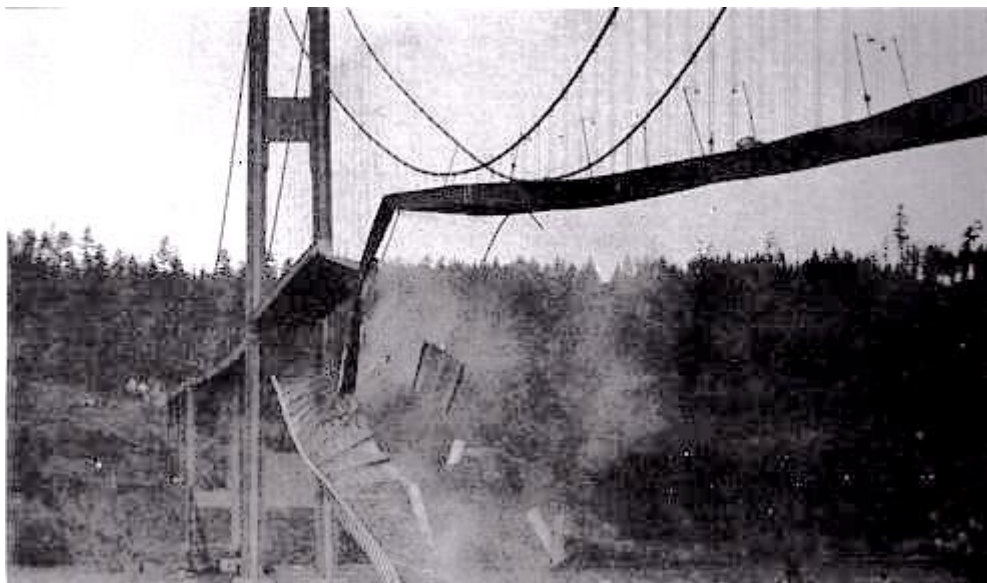


1



Schwingungsmessungen (FFT-Analysen)

LA1 - IV. Jahrgang

Letzte Überarbeitung: September 2017

AUTOR: DI GERALD SCHNUR

DATEI: SCHWINGUNG_2017.DOC

LERNZIELE

Nach dieser Laborübung soll der Teilnehmer

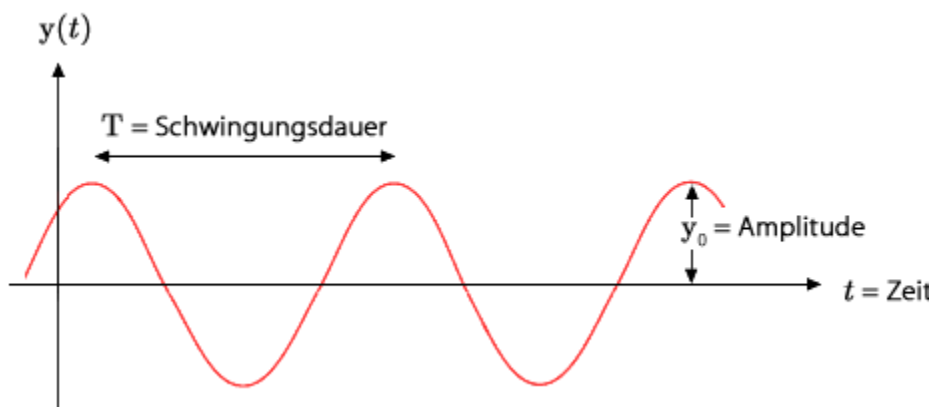
- ☐ Ein grundsätzliches Verständnis für Schwingungsmessungen haben,
- ☐ die zur Auswertung notwendigen Werkzeuge und Techniken (Fourier, FFT) kennen,
- ☐ konkret Messketten zur Messung von akustischen und mechanischen Schwingungen realisieren können,
- ☐ entsprechende Messprogramme für FFT – Analysen erstellen können,
- ☐ konkrete Messungen an diversen Modellen durchführen und interpretieren können.

2 VERWENDETE GERÄTE

- ☐ Rechner, Software, Verstärkermodule (5B), Multifunktionskarte (myDAQ) wie bisher, Modelleinheiten je nach Messaufgabe (Gitarre, Biegestab mit Unwuchterreger)
- ☐ Mikrophon, Beschleunigungsaufnehmer (ADXL 335 von Analog Devices)

3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Was ist eine Schwingung? – Unter Schwingung versteht man periodische wiederkehrende Verläufe einer beliebigen Größe im Zeitbereich. Unterscheide dazu stochastische bzw. statische Signale. Einer Schwingung können eine Amplitude und eine Frequenz (bzw. Periodendauer) zugeordnet werden.

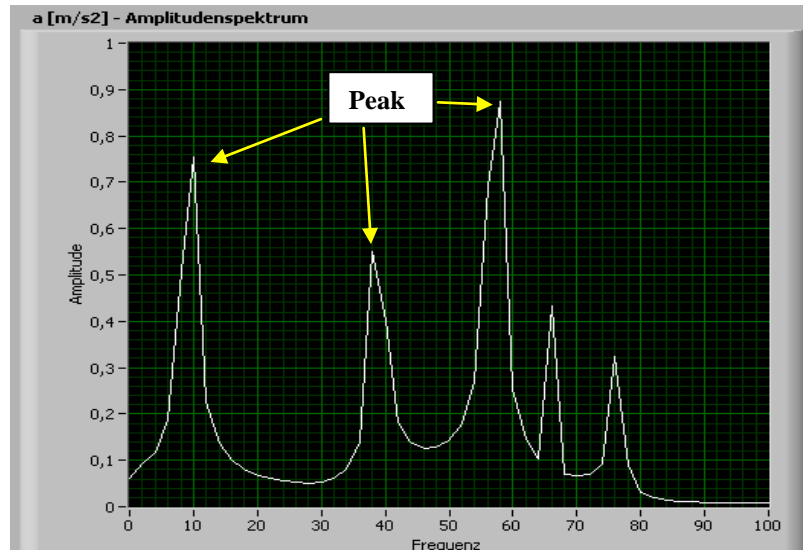


Wozu Schwingungsmessungen? – Schwingungsmessungen kommen in der Technik vielfach vor. Unter Schwingung versteht man ein periodisches Verhalten einer beliebigen Größe (Beispiele: mechanische Schwingungen, hydraulische Druckschwingungen, Schwingungen von Antrieben und Motoren, Schwingungen von Prozessgrößen und vieles mehr). In vielen Fällen will man Schwingungen vermeiden, z. Bsp. mechanische Schwingungen (Vibrationen, Resonanzen) da diese unangenehm oder mitunter zu Zerstörungen führen können.

In manchen Fällen dienen sie aber als ausgezeichnetes Diagnosewerkzeug. In Kernkraftwerken z. Bsp. werden unzählige Größen in Frequenz und Amplitude ständig überwacht, wobei jede Veränderung Zeichen einer Veränderung im System bedeutet (z. Bsp. Schwingungsüberwachung von Wellen zur Frühdiagnose von Dauerbrüchen).

Wie sieht das Ergebnis einer Schwingungsauswertung aus ?

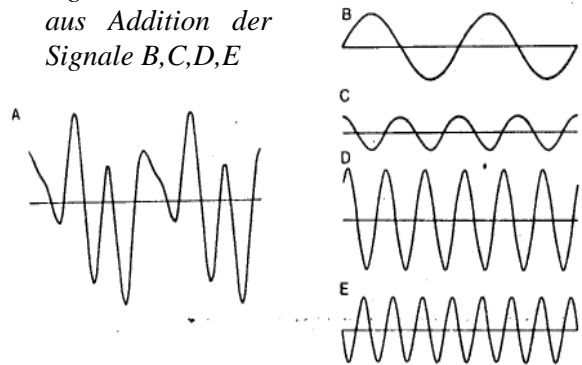
Schwingungsmessergebnisse werden dargestellt durch ein sogenanntes Frequenzspektrum, in welchem über die Frequenz auf der x-Achse die Amplituden auf der y-Achse aufgetragen werden (siehe unten). Dieses sogenannte Frequenzspektrum wird durch FFT-Analyse aus dem zeitlichen Verlauf (Zeitdaten, Zeitbereich) der gemessenen Größe ermittelt. Damit ist festgelegt, welche Frequenzen mit welcher Amplitude im untersuchten System vorkommen.



Wie kommt man zu einer Schwingungsauswertung ?

Die Auswertung ist ein sehr komplexer Vorgang, der an dieser Stelle nur in groben Zügen erläutert werden soll. Die Auswertung baut auf die Theorie von Fourier auf, die besagt, dass man jedes periodische Signal durch Überlagerung von Sinussignalen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude darstellen kann. Umgekehrt kann man von einem vorhandenen periodischen Signal durch Fourieranalyse alle Sinussignale in Frequenz und Amplitude herausanalysieren.

Signal A besteht aus Addition der Signale B, C, D, E



In einer speziellen Art, der sogenannten Fast Fourier Transformation (**FFT**), wird die zu untersuchende periodische Funktion nur punktwise abgetastet. Dadurch bedingt sind einige Kriterien zu beachten, um dennoch ein weitgehend unverfälschtes Frequenzspektrum zu erhalten. Hier seien nur einige Tips angeführt:

- Wähle eine Abtastfrequenz, die mindestens 5 bis 10-fach höher ist, als die höchste zu untersuchende Frequenz des periodischen Signals (theoretisch reicht die doppelte Frequenz, diese führt praktisch aber zu sehr schlechten Ergebnissen).
- Das brauchbare Spektrum beschränkt sich auf einen Frequenzbereich, der unter der halben Abtastfrequenz liegt, da durch Spiegelung an der halben Abtastfrequenz Amplituden an Frequenzen erzeugt werden, die real nicht existieren, sondern nur durch die Art der Auswertung bedingt entstehen (z.Bsp. wenn eine Abtastfrequenz von $f_a=1000$ Hz gewählt wurde, repräsentiert das Ergebnis der Fourieranalyse bis maximal $f_{max}=500$ Hz die realen Verhältnisse). Diesen Effekt nennt man Aliasing. Dazu sind entsprechende Anti – Aliasing – Tiefpassfilter (Softwarefilter helfen nicht!) einzusetzen, die ab halber Abtastfrequenz oder darunter das gemessene Signal wegfiltern.
- Setze auch entsprechende Digitalfilter ein (Hochpass, Tiefpass), um den zu untersuchenden Frequenzbereich möglichst unbeeinflusst von Störfrequenzen bekannter Frequenz zu erhalten. Besonders das niederfrequente Rauschen höherer Amplituden kann damit gut herausgefiltert werden. Theoretisch würde unter optimalen Bedingungen ein reines Sinussignal einen spitzen Peak im Frequenzspektrum erzeugen. Bedingt durch sogenannte Leakage – Effekte werden aber Frequenzanteile, die nicht einem exakten Vielfachen der Grundfrequenz betragen, auf andere Frequenzen aufgeteilt. Der Grund liegt in der Tatsache,

dass man immer ein vorzugebendes fixes Zeitfenster analysiert, dessen Signalinhalt aber immer leicht variiert. Die Basis der Peaks (Peak = Amplitude im Frequenzspektrum) wird durch diesen Effekt jedenfalls breiter, die Wahl des Zeitfensters (Form und Länge) beeinflusst die Auswirkung.

Eigenfrequenz / Erregerfrequenz / Resonanz: – Die Begriffe sind für das Verständnis der möglichen Auswirkung bei Schwingungsvorgängen von zentraler Bedeutung.

Eigenfrequenz: Schwingfrequenz eines grundsätzlich schwingungsfähigen Systems nach einer Störung (Auslenkung). Ist unabänderlich für ein bestehendes System ($f_y = \text{konst.}$).

Erregerfrequenz: Schwingfrequenz, die dem System von Außen durch einen Erreger aufgezwungen wird.

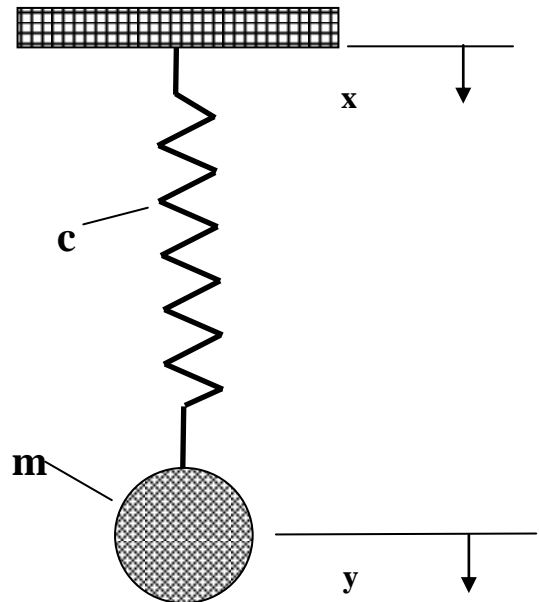
Dabei kann f_x beliebig vorgegeben werden.

Resonanz: Erregerfrequenz = Eigenfrequenz
Es kommt zum Aufschwingen der Amplitude.

Das Amplitudenmaximum wird durch das Energiegleichgewicht bestimmt (wenn pro Zyklus die Energiezufuhr durch den Erreger gleich groß ist wie die, die vom System herausgedämpft wird).

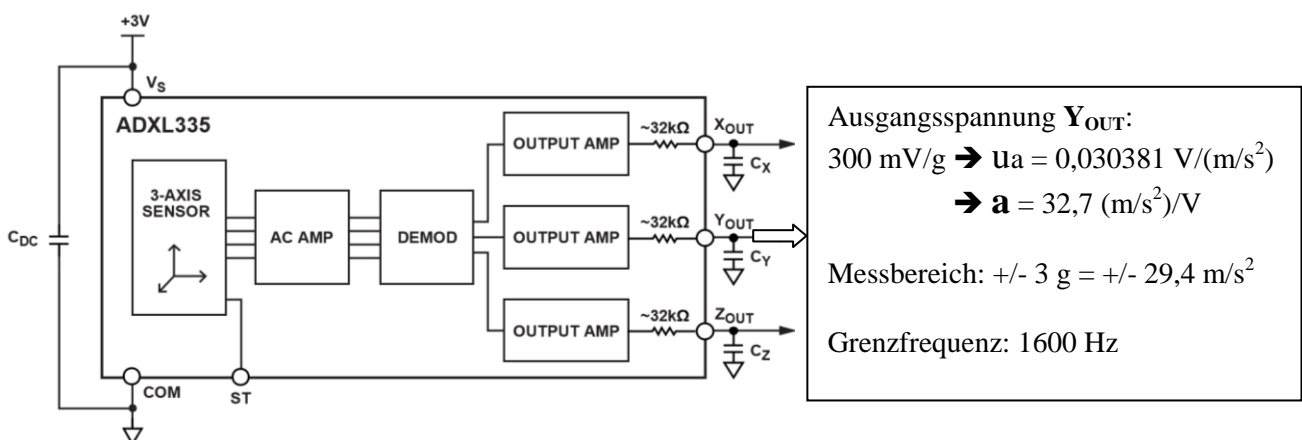
Wenn man Pech hat, fliegt das System um die Ohren, bevor dieser Zustand erreicht wird (siehe Titelbild Brücke).

Die Phasenlage zwischen Erreger und Eigenschwingung spielt für das Endergebnis keine Rolle.

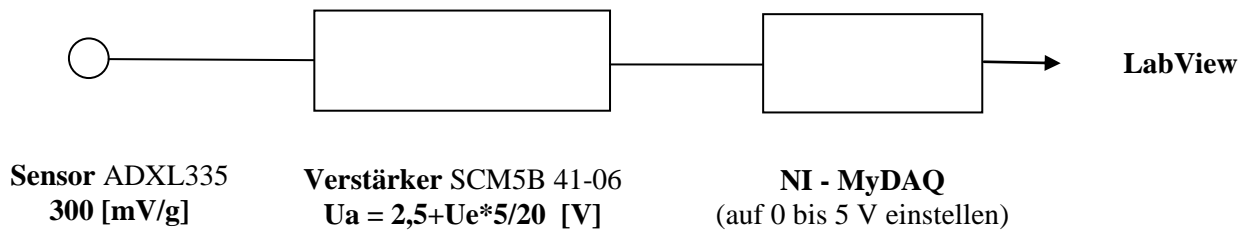


4. AUFNEHMER / VERSTÄRKER / SIGNALAUSWERTUNG

Sensor: Die Messung erfolgt mit einem 3-achsigen Beschleunigungsaufnehmer des Types ADXL335 von Analog Devices. Wir im Unterricht nützen dabei nur die y-Achse der Schwingrichtung.



Verstärker: Verwende Modul SCM5B 41-06 mit Eingangssignal +/- 10V und Ausgangssignal 0...5 V
Die gesamte Messkette sieht daher folgendermaßen aus:



Damit ist im LabView mittels Formelrechner folgende Beziehung einzugeben, damit aus der Spannung vom My-DAQ die Beschleunigung errechnet werden kann:

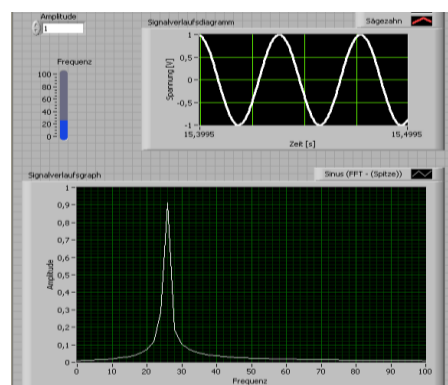
$$a = (U_{\text{MyDAQ}} - 2.5) \cdot 20/5 \cdot 9.81/0.3 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Weitere Tipps für das Messen:

- ➔ Verwende eine Bandsperre (Digitalfilter) bei etwa 50 Hz (z.Bsp. 49,5 bis 50,5 Hz, Ordnung 10), um die Spannungseinstreuung vom Netz optisch zu unterdrücken
- ➔ Verwende einen Hochpass (Digitalfilter) bei etwa 3 Hz mit der Ordnung 10, um "Rumpelfrequenzen" rauszufiltern

5. KONKRETE AUFGABENSTELLUNGEN

Teil 5a: Die **Programmierung mit LabView** soll in Schritten erfolgen. Die entsprechenden Schritte werden im Unterricht gemeinsam durchgeführt. Das Endergebnis sollte etwa wie unten dargestellt aussehen. Dabei sollen vorerst einmal Sinussignale (vorgegebener Frequenz und Amplitude) mit einem Generator erzeugt und dann einer Fourieranalyse unterzogen werden (siehe Abbildung rechts daneben).



Zur Ermittlung von Geschwindigkeit und Weg sind Integrationsschritte notwendig. Das Programm stellt dazu entsprechende Module zur Verfügung, an dieser Stelle sei aber noch einmal der Zusammenhang erläutert. Unterstehendes Bild analysiert ein aus Sinusschwingungen (Beschleunigungen) bestehendes Zeitsignal und ermittelt daraus die Geschwindigkeits- und Wegamplituden.

Da die FFT reine Sinusschwingungen als Ergebnis liefert, ergibt sich eine einfache Integration.

Mit den Definitionen $a = dv / dt$ und $v = ds / dt$ ergibt sich aus der Beschleunigung Geschwindigkeit und Weg:

$$s = (A_s) * \sin(\omega * t)$$

$$v = (A_s * \omega) * \cos(\omega * t)$$

$$a = -(A_s * \omega^2) * \sin(\omega * t)$$

mit A_s [m]

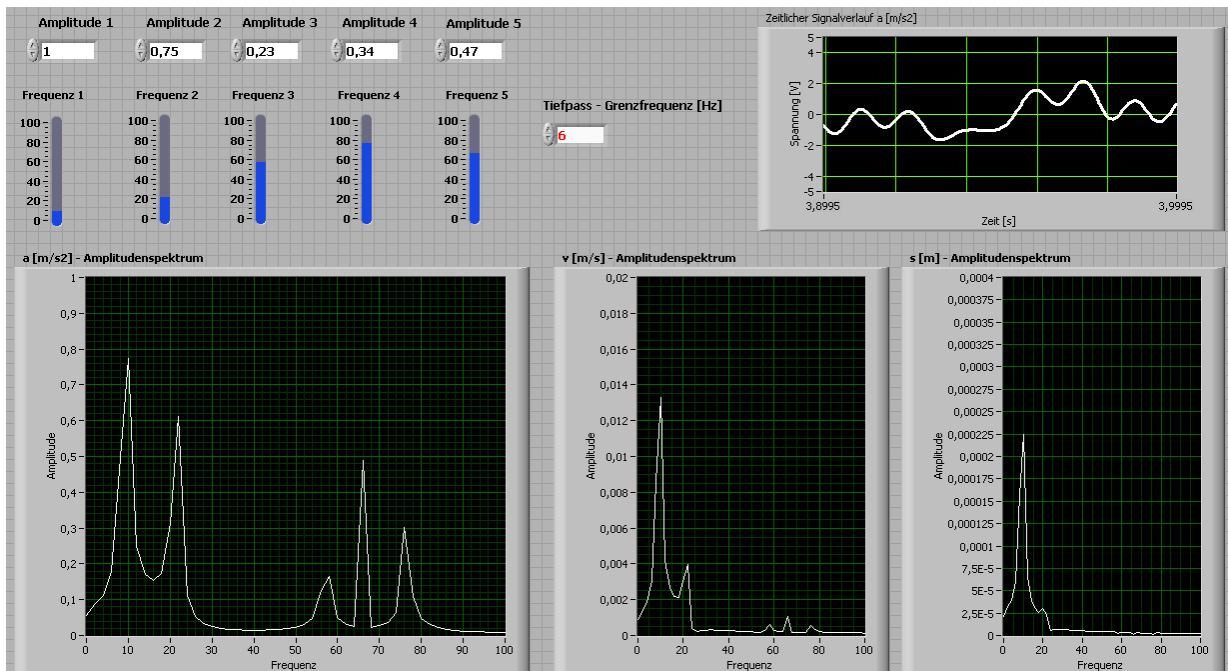
mit A_v [m/s] = $(A_s * \omega)$

mit A_a [m/s²] = $(A_s * \omega^2)$

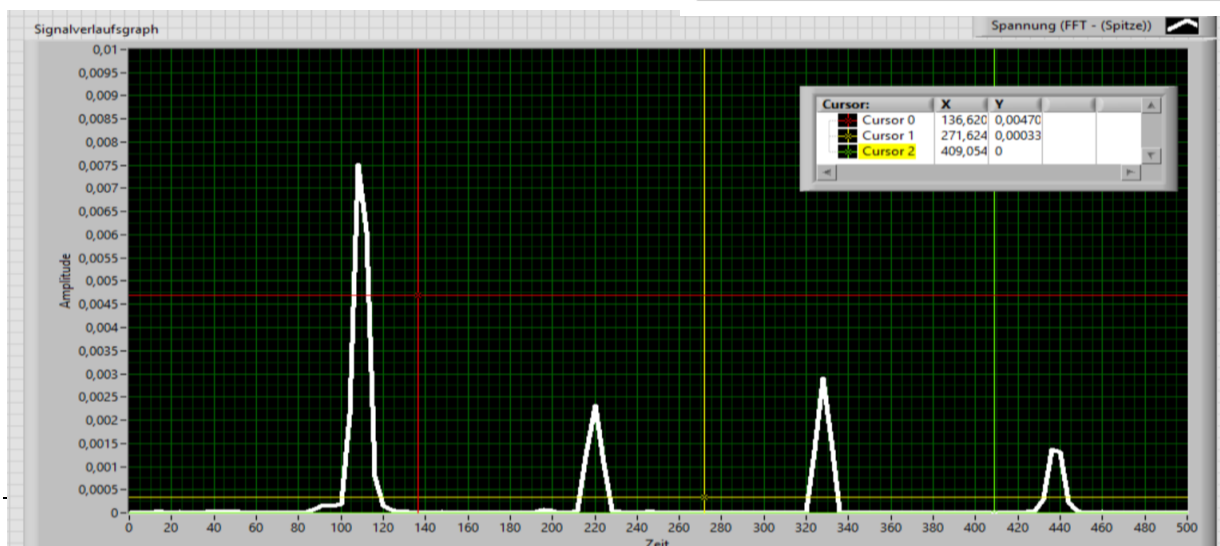
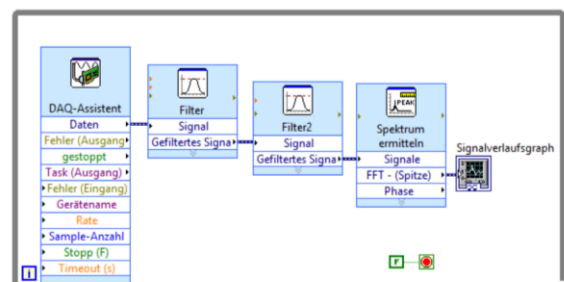
... Wegamplitude

... Geschwindigkeitsamplitude

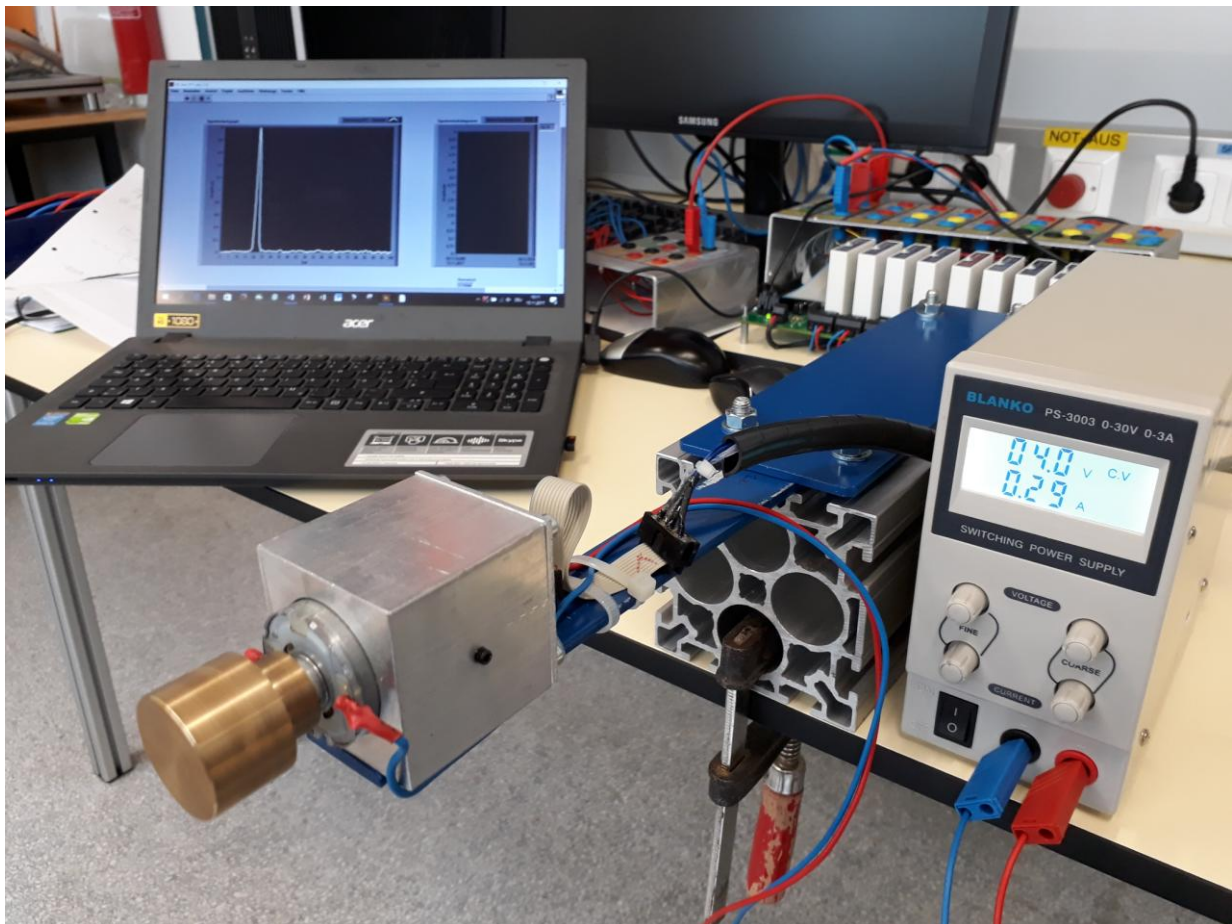
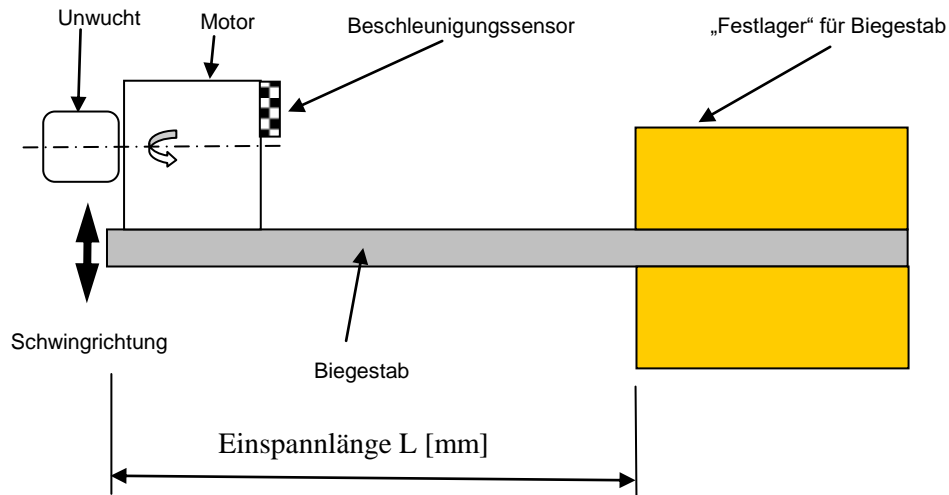
... Beschleunigungsamplitude



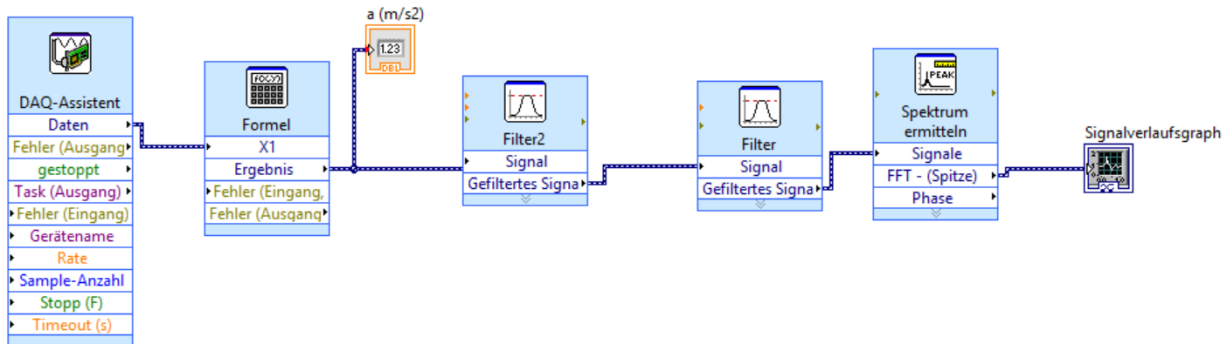
Teil 5b: Wir versuchen in einem ersten Schritt mittels Mikrophon einen von einer **Gitarre erzeugten Ton** (z. Bsp. Den Kammerton $a = 440$ Hz) aufzunehmen und einer FFT-Analyse zu unterziehen. Überlege anhand des Ergebnisses, was die Ursache dafür sein kann, dass man trotz gleicher Töne das Instrument erkennen kann.



Teil 5c: Wir wollen uns nun an die **Schwingungsmessung mechanischer Systeme** (Feder-Masse Systeme) inklusiver Auswertung in kleinen Schritten herantasten. Das Ziel sollte letzten Endes darin bestehen, mechanische Schwingungen mit Beschleunigungsaufnehmern messen zu können. Durch einfache (zweifache) Integration sollen auch die Amplituden der Geschwindigkeit und des Weges dieser Schwingung ermittelt werden.



Der mittels rotierender Unwucht erregte Biegestab soll für eine gegebene Einspannlänge L [mm] hinsichtlich seines Frequenzverhaltens untersucht werden. Versuche zuerst einmal die Eigenfrequenz herauszumessen, indem das System in Schwingung versetzt wird. Dann ist der ganze Erregerfrequenzbereich zu durchfahren und die Eigenfrequenz aufzuspüren und die Resonanzamplitude zu messen. Der Unwuchtmotor darf mit maximal 10 V gespeist werden (verwende dazu die 24 V DC Spannungsversorgung und stelle die Spannung mit Drehknopf vorsichtig ein). Experimentiere mit verschiedenen Einspannlängen (starte mit einer Einspannlänge von $L=190$ mm, da sollte die Eigenfrequenz im Bereich von 20 bis 25 Hz liegen).



6. KONTROLLFRAGEN

Prüfungsfragen:

- Berechnungsbeispiel zur verwendeten Meßkette (Datenfluß Sensor bis LabView).
- Aufbau und Durchführung von Messungen (Teilmessungen)
- Erklären Sie in wesentlichen Zügen die Hintergründe einer Fourieranalyse.
- “Eigenfrequenz, Erregerfrequenz, Messfrequenz, Resonanz“ - Erklären Sie diese Begriffe und deren Zusammenhänge.
- Was ist ein Frequenzspektrum? – Skizzieren Sie ein Beispiel (z. Bsp. 4-Takt –Motor bei 3000 U/min und erklären Sie, unter welchen Bedingungen z. Bsp. der Rückspiegel stark zu vibrieren beginnen kann).
- Überlege folgende Messaufgabe hinsichtlich schwingungstechnisch relevanter Aspekte:

An einem Vierzylinder - Verbrennungskraftmotor sollen im Drehzahlbereich von $n = 6000$ U/min Schwingungsuntersuchungen durchgeführt werden.

- ➔ Messparameter und Messeinstellungen (im Frequenzspektrum)?
- ➔ Sensorwahl?

