



Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften

Ostfalia Fakultät Fahrzeugtechnik

Labor Elektronische Fahrzeugsysteme

Versuch 2: Beschleunigungssensor

Prüfer:
Prof. Dr. M. Kolbus

Bearbeitet von:



Durchgeführt am:
24. April 2022

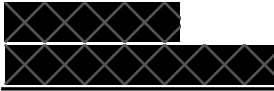


Inhaltsverzeichnis

1	Erläuterung Piezo-Beschleunigungssensor	1
2	Versuchsaufbau zum ersten Teilversuch	3
3	Versuchsdurchführung des ersten Teilversuches	4
4	Auswertung	5
5	Erläuterung zur Anforderung der Messreihe in Versuch 2	6
6	Versuchsaufbau zu Versuch 2	7
7	Versuchsdurchführung und Auswertung des 2. Teilversuchs	8

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.0 Vereinfachte Darstellung eines Piezo Elements	1
Abbildung 1.1 Vereinfachte Symmetrische Betrachtung eines SO_2 Moleküls	1
Abbildung 1.2 Vereinfachte Darstellung eines Piezo-Beschleunigungssensors	2
Abbildung 1.3 Foto des 1. Versuchsaufbaus	3
Abbildung 1.4 Diagramm des 1. Versuchsaufbaus	3
Abbildung 1.5 Messwerttabelle	4
Abbildung 1.6 Amplitudenverhältnis von Referenzsensor zum Piezo-Klopfsensor in dB	5
Abbildung 2.0 Beispiel Ausgangssignal eines Klopfsensors bei Klopfender und normalen Verbrennung	6
Abbildung 2.1 Foto der Messreihe aus dem 2. Versuchsteil	7
Abbildung 2.2 Diagramm Messreihe aus dem 2. Versuchsteil	7
Abbildung 2.3 Oszilloskop Bild	8
Abbildung 2.4 Oszilloskop Bild	9
Abbildung 2.5 Oszilloskop Bild	9
Abbildung 2.6 Oszilloskop Bild nach Verstärker *7	10



1 Erläuterung Piezo-Beschleunigungssensor zu Teilversuch 1

In diesem Teilversuch handelt es sich um Klopfensoren, deren Funktion sich auf Piezo-Kristalle basiert. Piezo Kristalle weisen die Eigenschaft auf unter Druck eine Spannung zu erzeugen.

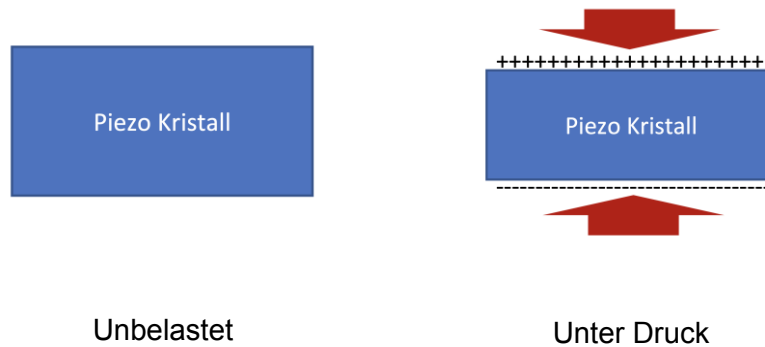


Abbildung 1.0 Vereinfachte Darstellung eines Piezo Elements

Diese Eigenschaft ist auf atomare Charakteristika der Moleküle, aus der die Kristallstruktur besteht, zurückzuführen. Als Beispiel wird die Symmetrie einer vereinfachten Darstellung der Struktur eines Quarz-Kristalles betrachtet. Quarz-Kristalle besitzen Piezo-elektrische Eigenschaften.

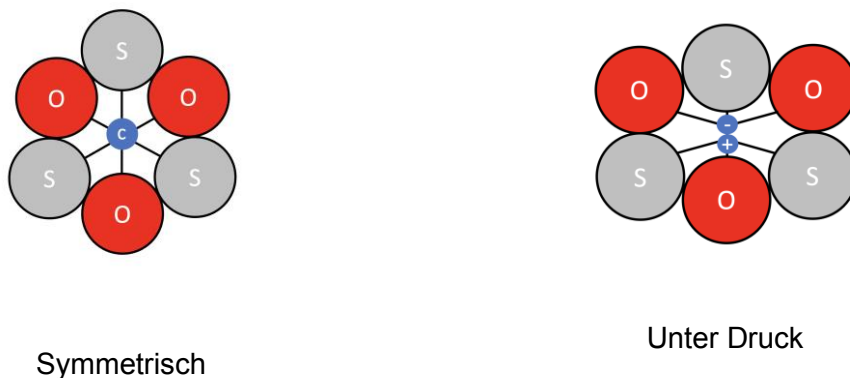
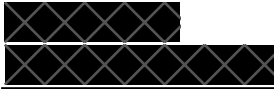


Abbildung 1.1 Vereinfachte Symmetrische Betrachtung eines SO_2 Moleküls

Die einzelnen SO_2 Moleküle weisen eine Polarität auf, wobei die Sauerstoff Atome negativ und die Stickstoff Atome positiv geladen sind. Somit besteht zwischen den negativen und positiven Atomen eine Art Symmetrie. Es herrscht im Mittelpunkt „C“ des Moleküls eine Neutralität. Damit ist die Ladung der einzelnen Strukturen ausgeglichen, sodass keine Spannung außerhalb des Moleküls existiert.



Wird das Molekül zusammengedrückt, verfällt die Symmetrie der Struktur, sodass eine Ladungsungleichgewicht entsteht. Entsprechend resultiert auch eine Spannung. Wird ein Kristall zusammengedrückt, so entsteht über der gesamten Oberfläche eine Spannung. Diese Eigenschaft kann mithilfe eines einfachen Aufbaus genutzt werden, um Beschleunigung zu messen.

Realisierung eines Beschleunigungssensors mit Piezo Kristall als Element

Folgende Darstellung zeigt (in vereinfachter Form) wie die Piezoelektrische Eigenschaft eines Kristalls in ein Beschleunigungssensor umgesetzt werden kann.

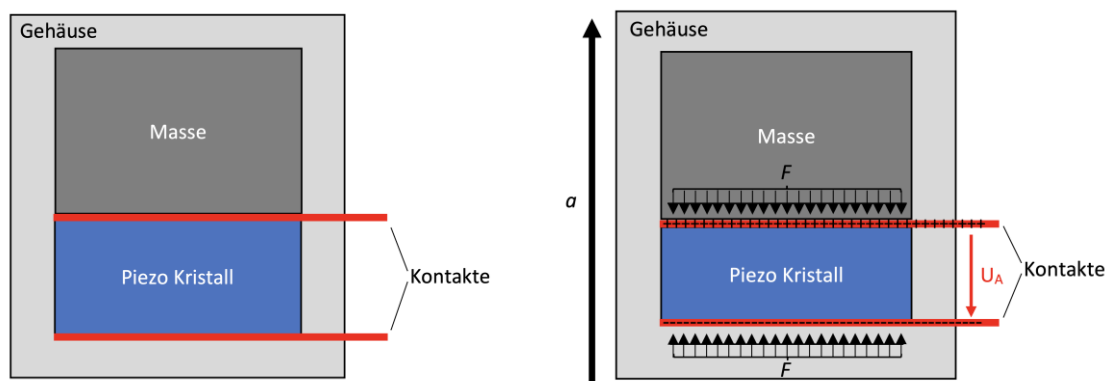
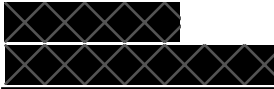


Abbildung 1.2 Vereinfachte Darstellung eines Piezo-Beschleunigungssensors

Wenn der Sensor, samt Gehäuse, beschleunigt wird, erzeugt die Masse eine Kraft, welche das Piezo Element zusammendrückt. Über das zusammengedrückte Piezo Kristall entsteht nun eine Spannung, die über den Kontaktplatten (rot) an die Kontakte außerhalb des Gehäuses übertragen wird. Je nach Beschleunigungsrichtung, erzeugt das Element eine positive bzw. negative Spannung, die proportional zur Beschleunigung steigt oder sinkt.



2 Versuchsaufbau zum ersten Teilversuch

In diesem Versuch sollte ein kostengünstiger Piezo-Beschleunigungssensor (Klopfsensor) mithilfe eines präzisen Referenzsensors kalibriert werden. Hierzu wurde ein von Brüel & Kjaer hergestellter Beschleunigungssensor verwendet. In dem untenstehenden Foto ist der Versuchsaufbau sichtbar.

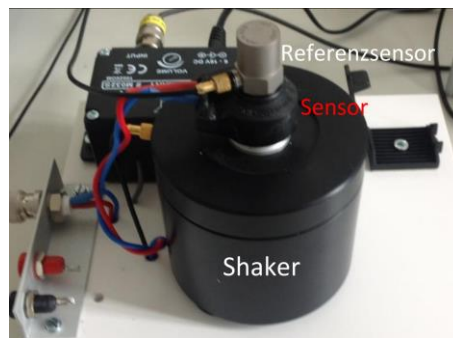


Abbildung 1.3 Foto des 1. Versuchsaufbaus

Zur Veranschaulichung wurde der Aufbau (aus Abbildung 1.3) als Diagramm (Abbildung 1.4) dargestellt, mit Nummerierungen der einzelnen Komponenten (*1..*7).

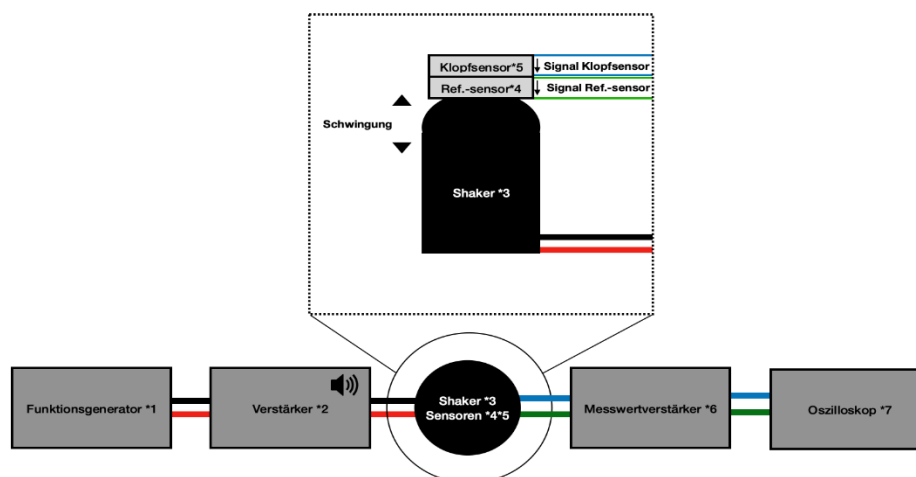
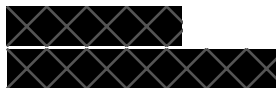


Abbildung 1.4 Diagramm des 1. Versuchsaufbaus

Hier wird dargestellt, wie der Shaker *3 mit einem Verstärker *2 betrieben wird, welches die vom Funktionsgenerator *1 erzeugte Wechselspannung verstärkt. Der Shaker *3 setzt diese Wechselspannung in eine mechanische Schwingung um. Diese soll von den beiden Beschleunigungssensoren *4 *5 erfasst werden. Die von den Beschleunigungssensoren *4 und *5 erfasste Wechselspannung wird mithilfe eines Messverstärkers *6 umgespannt, sodass



daraus eine saubere Wechselspannung erzeugt wird. Die Umgespannte Spannung der Sensoren wird anschließend mit einem Oszilloskop *7 veranschaulicht.

3 Versuchsdurchführung des ersten Teilversuches

Vorerst wurden beide Ausgänge des Messverstärkers *6 auf 31,6mV / 1m/s² eingestellt. Diese Ausgänge führen direkt zum Oszilloskop *7, wo sie veranschaulicht werden. Zur Ansteuerung des Shakers *3 wird der Funktionsgenerator *1 mit folgenden Werten (siehe Tab. 1.0) eingestellt. Die resultierenden Ausgangsamplituden wurden von dem Oszilloskop *7 abgelesen und protokolliert.

Messwert Nr.	Frequenz f in kHz	\hat{u}_R (Referenzsen sor) in mV	\hat{u}_S (untersuchter Sensor) in mV	X in dB
1	5	100	368	11.32
2	5.5	100	335	10.5
3	6	100	330	10.38
4	6.5	100	326	10.26
5	7	100	324	10.22
6	7.5	100	324	10.22
7	8	100	318	10.04
8	8.5	100	316	10.00
9	9	100	304	9.66
10	9.5	100	302	9.60
11	10	100	316	10.00
12	10.5	100	252	8.02
13	11	100	244	7.74
14	11.5	100	258	8.24
15	12	100	262	8.36
16	12.5	100	248	7.88
17	13	100	266	8.50
18	13.5	100	280	8.94
19	14	100	264	8.44
20	14.5	100	250	7.96
21	15	100	264	8.44
22	15.5	100	298	9.48
23	16	100	278	8.88
24	16.5	100	296	9.42
25	17	100	284	9.06
26	17.5	100	286	9.12
27	18	100	276	8.82

Abbildung 1.5 Messwerttabelle

4 Auswertung

Die Messdaten aus der obigen Tabelle wurden im folgenden Diagramm eingezeichnet.

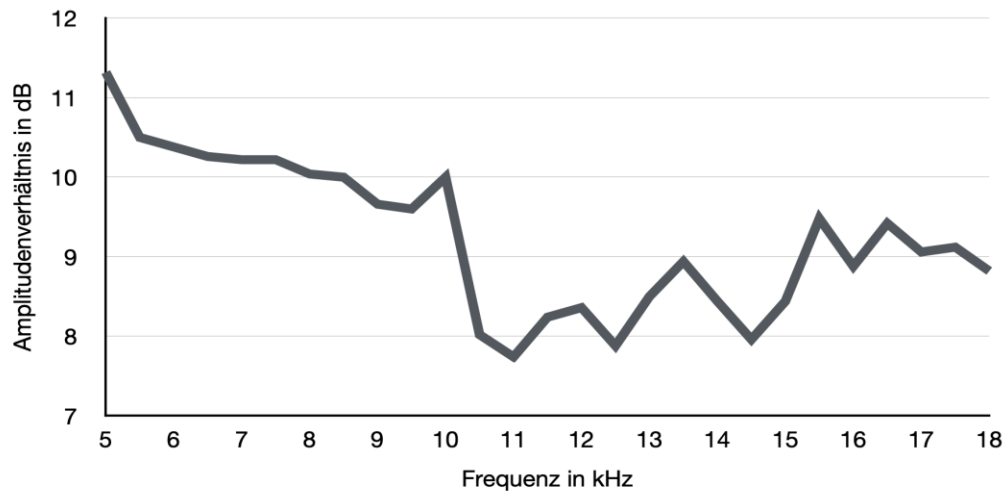
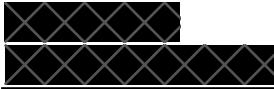


Abbildung 1.6 Amplitudenverhältnis von Referenzsensor zum Piezo-Klopfsensor in dB

Das obige Diagramm stellt in dB das Amplitudenverhältnis des Referenzsensors zum zu kalibrierenden Klopfsensor über 5-18 kHz dar. Ersichtlich ist dass die Amplitude des zu kalibrierenden Sensors im Frequenzbereich von 5 bis 10 kHz mit zunehmender Frequenz sinkt. Im Frequenzbereich von 10 bis 18 kHz bleibt das Amplitudenverhältnis der beiden Sensoren und somit auch die Amplitude des zu kalibrierenden Sensors nahezu konstant.

Bekannt über den Referenzsensor aufgrund seines Datenblattes ist, dass dieser über den Frequenzbereich von 5 bis 20 kHz eine nahezu gleichbleibende Empfindlichkeit besitzt. Insgesamt ist die Amplitude des zu kalibrierenden Sensors über den gesamten Frequenzbereich hinweg 2,5 bis 3,5-mal so hoch, wie die des Referenzsensors.

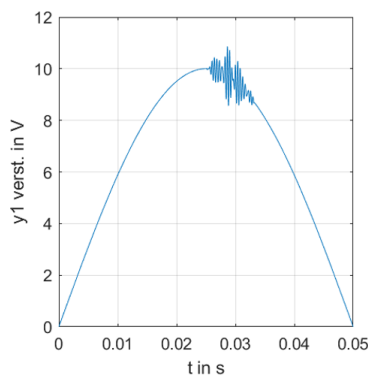
Das Klopfen im Motor äußert sich durch hochfrequente Vibrationen im Frequenzbereich von 5 bis 20 kHz. Ein Sensor, der zu Erkennung des Klopfens im Motor eingesetzt werden soll, muss diesen Frequenzbereich mit gleichbleibender Empfindlichkeit erfassen können. Ansonsten besitzen die erfassten Messwerte keine eindeutige Aussage darüber ob im Motor ein Klopfen vorliegt oder nicht. Da bei dem bemessenen Klopfsensor eine geringere Empfindlichkeit bei höheren Frequenzen ersichtlich ist, ist dieser zum Bemessen der klopfenden Verbrennung nicht ideal. Aber je nach Einsatzbereich könnte er dennoch als kostengünstige Alternative verwendet werden.



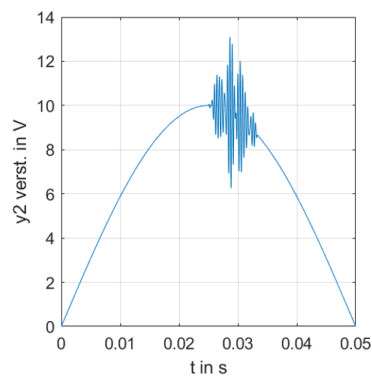
5 Erläuterung zur Anforderung der Messreihe in Versuch 2

Im 2. Teilversuch sollte eine Praxisnahe Anwendung des Klopfensors realisiert werden, in Form einer Messreihe, die das Ausgangssignal eines Klopfensors verarbeiten kann.

Aus dem 1. Teilversuch ist bekannt, dass Piezo-Klopfensoren verwendet werden können um Hochfrequente, mechanische Schwingungen im Bereich von 5-18kHz in ein Elektrisches Signal umzuwandeln. Diese Eigenschaft wird im Fahrzeugbereich verwendet, um Klopfende Verbrennung im Verbrennungsmotor messtechnisch zu erfassen. Motorklopfen geschieht, wenn neben den, durch dem normalen Verbrennungsprozess entstehenden Schwingungen, Hochfrequente Klopferschwingungen auftreten. Die Hochfrequente Klopferschwingungen befinden sich, je nach Motortyp, im Bereich von 5-20kHz und resultieren von ungewollten Nebenverbrennungen vor der eigentlichen Zündung. Normale Schwingungen befinden sich, je nach Motor, unterhalb der sog. Klopfgrenze, meist um die 5kHz.



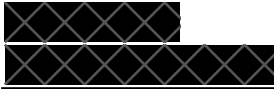
Signal ohne Klopfender Verbrennung



Signal bei Klopfender Verbrennung

Abbildung 2.0 Beispiel Ausgangssignal eines Klopfensors bei Klopfender und normalen Verbrennung

Bei der Normalen Verbrennung sind jedoch trotzdem Schwingungen im Klopfbereich vorhanden, wie in Abbildung 1.7 sichtbar ist, jedoch mit geringerer Amplitude. Dieses soll von der Messreihe vernachlässigt werden. Zusätzlich entstehen zu den o.g. Schwingungen noch höher frequente Störsignale (über 20kHz) deren Ursachen nicht weiter relevant sind, da hier nur die Signale im Klopfbereich erfasst werden sollen. Alle Schwingungen werden mit einem Piezo-Klopfensor erfasst bzw. in ein Elektrisches Signal umgeformt und an die Messreihe weitergegeben. Die Messreihe muss also alle irrelevanten Signale rausfiltern, sodass nur die Schwingungen im Klopfbereich weiterverarbeitet werden. Dann muss beurteilt werden ob diese Schwingungen stark genug sind, um auf Klopfende Verbrennung anzudeuten.



6 Versuchsaufbau zu Versuch 2

In diesem Abschnitt wird eine mögliche Umsetzung der oben beschriebenen Messreihe erklärt.

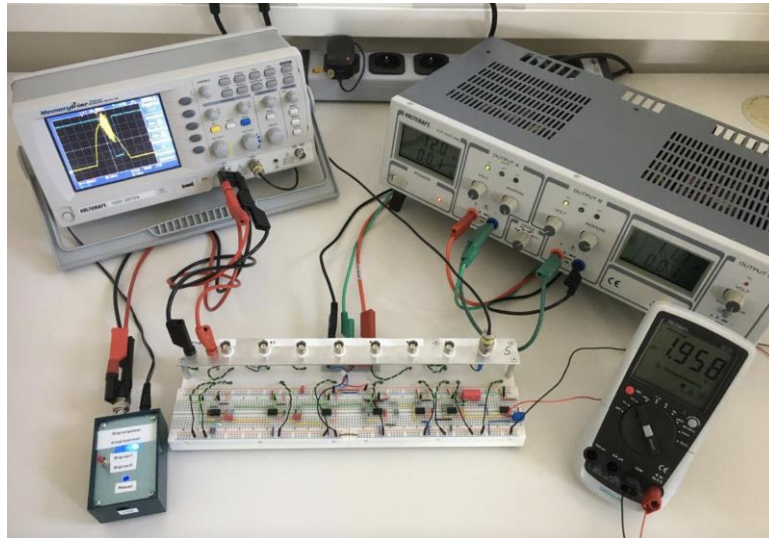


Abbildung 2.1 Foto der Messreihe aus dem 2. Versuchsteil

Das Obige Foto zeigt den Versuchsaufbau in diesem Teilversuch. Zur Veranschaulichung wurde der Aufbau in der untenliegenden Abbildung in vereinfachter Form dargestellt.

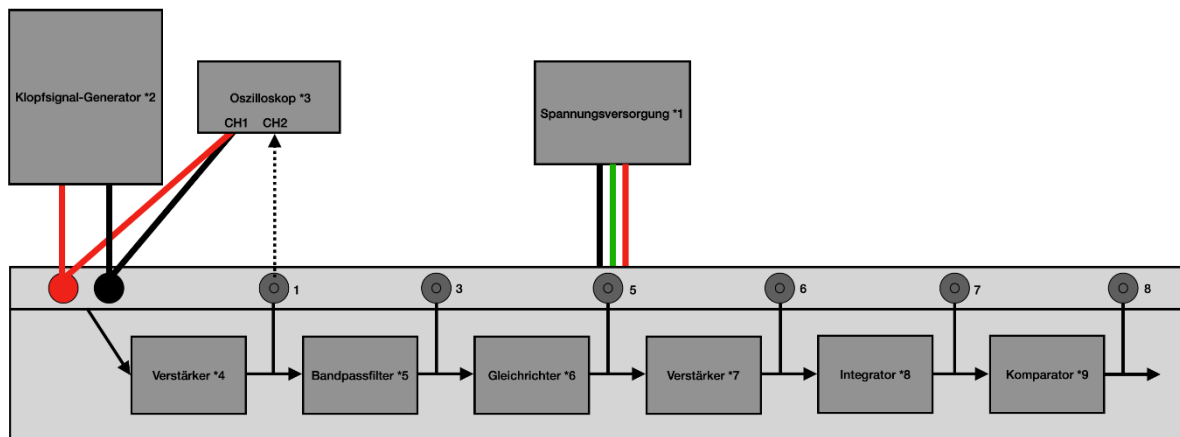
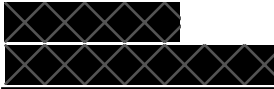


Abbildung 2.2 Diagramm Messreihe aus dem 2. Versuchsteil

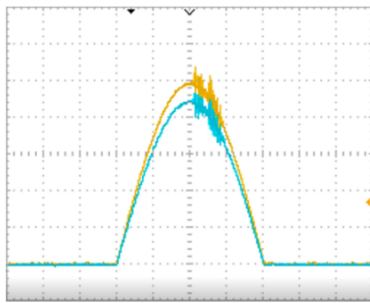


7 Versuchsdurchführung und Auswertung des 2. Teilversuchs

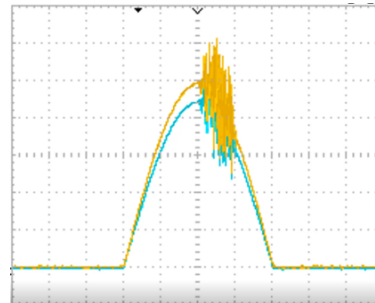
***1 Spannungsversorgung** - Wie in der obigen Abbildung sichtbar ist, erzeugt die Spannungsversorgung *1 eine positive (rot) und negative (schwarz) Spannung, sowie ein 0V Bezugspotential (grün). Diese werden von den jeweiligen Bauteilen (*4..*9) verwendet um das vom Klopfsignal-Generator *2 erzeugte Signal zu verarbeiten.

***2 Klopfsignal-Generator** - Der Klopfsignal-Generator *2 erzeugt, je nach Einstellung, ein Signal, welches das Ausgangssignal eines Piezo-Klopfsensors simulieren soll. Es kann entweder eine Klopfende Verbrennung oder Normale Verbrennung simulieren. Dieses Signal wird direkt an das Oszilloskop *3 übergeben.

Verstärker *4 -Zusätzlich wird es an der Messreihe angeschlossen, wo es vorerst von dem Verstärker *4, welches von der Spannungsversorgung *1 betrieben wird verstärkt wird.



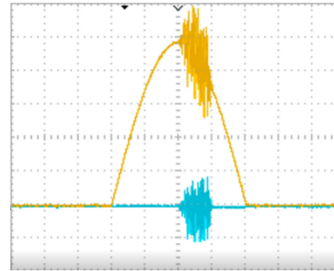
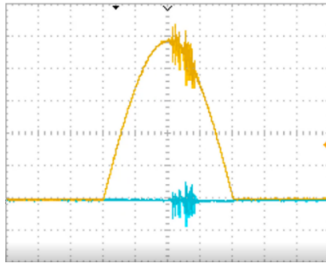
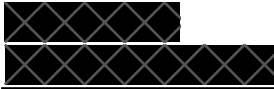
*Verstärktes (Gelb) und Unverstärktes (Blau)
Simuliertes Signal bei normaler
Verbrennung.*



*Verstärktes (Gelb) und Unverstärktes (Blau)
Simuliertes Signal bei Klopfender
Verbrennung.*

Abbildung 2.3 Oszilloskop Bild

Das Verstärkte Signal wird dann dem Bandpassfilter *5 übergeben welches alle Schwingungen Außerhalb des Klopfbereiches (hier von 10-20 kHz) blockiert.



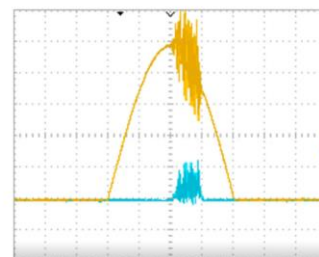
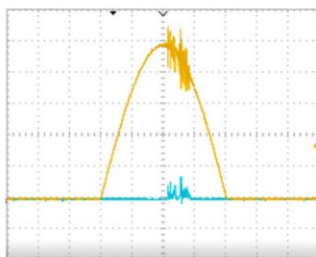
Gefiltertes (Blau) und Ungefiltertes (Gelb) Simuliertes Signal bei normaler Verbrennung. *Gefiltertes (Blau) und Ungefiltertes (Gelb) Simuliertes Signal bei Klopfender Verbrennung.*

Abbildung 2.4 Oszilloskop Bild

Bandpassfilter *5 - Die obige Abbildung zeigt, wie der Bandpassfilter das Klopfsignal von der normalen Schwingung des Motors isoliert.

Nun muss evaluiert werden, ob eine Klopfende Verbrennung vorhanden ist oder nicht. Diese Evaluierung geschieht mithilfe einer Integration des Signals, um die ‚Signalstärke‘ zu ermitteln. Integriert wird jedoch nicht das gesamte Signal, sondern der Absolutwert des Signals, sodass die Positiven und Negativen Bereiche der Schwingung sich bei der Integration nicht aufheben.

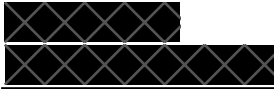
Gleichrichter *6 - Also wird das Signal zunächst von einem 2-wege-präzisionsgleichrichter *6 gleichgerichtet. Dies hat zur Folge, dass die negativen Bereiche der Schwingung invertiert werden, und keine negativen Werte im Ausgangssignal des Gleichrichters *6 auftreten.



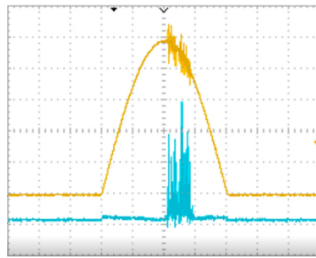
Gleichgerichtetes (Blau) und Ungefiltertes Simuliertes (Gelb) Signal bei normaler Verbrennung. *Gleichgerichtetes (Blau) und Ungefiltertes Simuliertes (Gelb) Signal bei Klopfender Verbrennung.*

Abbildung 2.5 Oszilloskop Bild

Da bei einem 2-Wege-Gleichrichter zwei Dioden verwendet werden geht über dem Signal 2-mal die Durchlassspannung der jeweiligen Dioden verloren. Um dafür zu kompensieren, und



dem Integrator ein möglichst klares Signal weiterzugeben, muss das Ausgangssignal nochmals verstärkt werden.



*Gleichgerichtetes (Blau) und Ungefiltertes Gleichgerichtetes (Blau) und Ungefiltertes
Simuliertes (Gelb) Signal bei normaler Simuliertes (Gelb) Signal bei Klopender
Verbrennung. Verbrennung.*

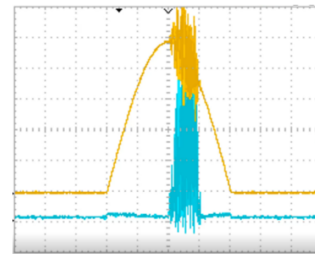
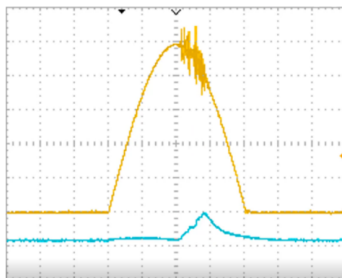


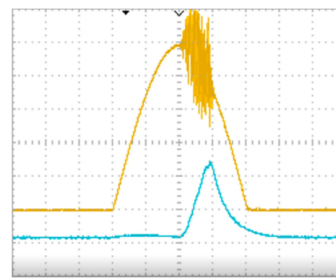
Abbildung 2.6 Oszilloskop Bild nach Verstärker *7

Verstärker *7 - Die zusätzliche Verstärkung hat auch zur Folge, dass der Unterschied zwischen den Amplituden bzw. den Integralen der beiden Signale größer ist, sodass eine Unterscheidung besser verwirklicht werden kann.

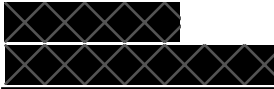
Integrator *8 - Das Integrieren des gleichgerichteten Signals geschieht mithilfe eines Integrators *8.



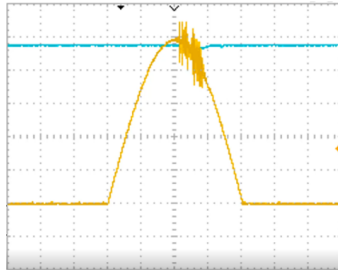
*Integriertes (Blau) und Ungefiltertes Integriertes (Blau) und Ungefiltertes
Simuliertes (Gelb) Signal bei normaler Simuliertes (Gelb) Signal bei Klopender
Verbrennung. Verbrennung.*



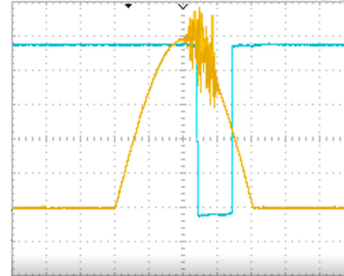
Daran wird ersichtlich, dass das Signal bei Klopender Verbrennung am Integrator über einer bestimmten Zeit einen wesentlich größeren Wert besitzt als bei normaler Verbrennung. Dieser wird als Schwellwert bezeichnet.



Komparator *9 - Nun wird mithilfe eines Komparators beurteilt ob tatsächlich eine klopfende Verbrennung stattfindet, oder nicht. Der Komparator soll, sobald das Integrierte Signal einen bestimmten Schwellwert erreicht, Zustand wechseln.



Komparator-Signal (Blau) bei Ungefiltertes Simuliertes (Gelb) Signal bei normaler Verbrennung.



Komparator-Signal (Blau) bei Ungefiltertes Simuliertes (Gelb) Signal bei Klopfender Verbrennung.

Wie in den Oszilloskop Bildern sichtbar ist, wechselt der Komparator erst bei einem bestimmten Schwellwert seinen Zustand, sodass nur bei dem Klopf-Signal der Zustand gewechselt wird. Das Bisschen an Hochfrequente Schwingungen im Klopf-Bereich wird erfolgreich ignoriert. Der Komparator bleibt in diesem Klopf-zustand, bis der Schwellwert beim Integrator wieder unterschritten ist. Dieses Signal kann recht einfach von dem Steuergerät eingelesen werden, um ein weiteres Klopfen zu verhindern durch Änderung des Zündzeitpunkts, bzw. des Benzin-Luft-Gemisches.

Um diese Messkette einzusetzen, müssten einige Parameter eingestellt werden, sodass die Messreihe erfolgreich evaluiert, ob eine Klopfende Verbrennung vorhanden ist oder nicht. Vorerst müsste ein Bandpassfilter verwendet werden der einen, zum Motor passenden, Frequenzbereich durchlässt. Das heißt dass der Bandpassfilter Frequenzen ab dem sog. Klopfwert durchlassen muss. Zudem muss er hochfrequente Störsignale, die sonst das Ergebnis verfälschen würden, ausblockieren. Diese müssten erstmal messtechnisch erfasst werden, sodass ein guter Frequenzbereich gewählt werden kann, der zum Motor passt.

Zudem muss entschieden werden ab welchem Schwellwert die Messreihe die Klopfende-Verbrennung signalisiert. Hierzu muss der Komparator so eingestellt werden, dass er ab einem bestimmten Schwellwert vom Integrator umstellt, der weder zu hoch noch zu klein ist. Dies erfordert auch eine Kalibrierung, sodass die Messreihe an den Motor angepasst werden kann.

