

# Oszillograph

**Bitte einen USB-Stick zum Versuch mitbringen!**

## Stichpunkte zur Vorbereitung

Braun'sche Röhre, Wechselspannung, Kapazität, Ohm'scher Widerstand, Spule, Schwingkreise, Triggern, Lissajous-Figur, Frequenz

## 1 Grundlagen

### 1.1 Aufbau eines Kathodenstrahloszilloskops

Ein Oszilloskop dient im allgemeinen zur Darstellung zeitlicher Verläufe von elektrischen Spannungssignalen. Die Auslenkung am Schirm ist dabei der angelegten Spannung proportional. Sollen andere physikalische Größen dargestellt werden, so sind entsprechende Wandler notwendig.

In der Braun'schen Röhre des Kathodenstrahloszilloskops (siehe Abb. 1) werden von der geheizten Kathode  $K$  Elektronen emittiert und gegen die Anode  $A$  hin beschleunigt. Durch eine Öffnung können die Elektronen diese durchsetzen. Durch die an die Horizontal-  $P_x$  bzw. Vertikalablenkplatten  $P_y$  angelegten Spannungen  $U_x$  bzw.  $U_y$  werden sie abgelenkt, und treffen auf den Leuchtschirm  $LS$ .

Um die Stärke des Elektronenstrahls und somit die Helligkeit des Bildes zu regeln, kann die negative Spannung am Wehnelt-Zylinder  $WZ$  variiert werden. Damit können diesen nur Elektronen mit einer hinreichend großen Energie verlassen. Zur Fokussierung des Strahls werden meist elektrische Linsen  $F$  verwendet. Die notwendige Fokussierspannung  $U_F$  ist unter anderem von der Intensität des Elektronenstrahls abhängig.

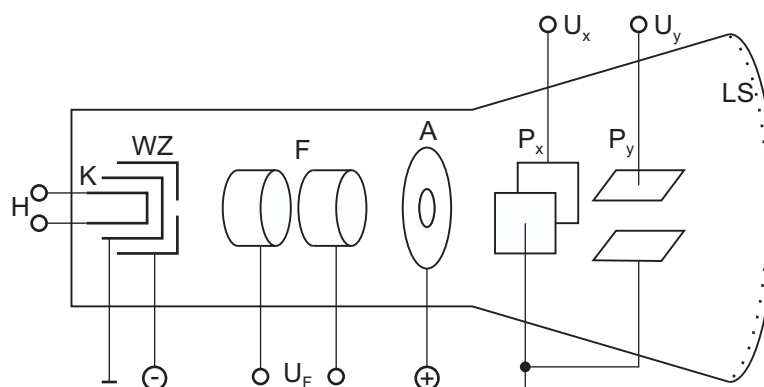


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Braun'schen Röhre.  $H$  Heizdraht;  $K$  Kathode;  $WZ$  Wehnelt-Zylinder;  $F$  Fokussierelektroden;  $U_F$  Fokussierspannung;  $A$  Anode;  $P_x$ ,  $P_y$  Platten für Horizontal- und Vertikalablenkung;  $U_x$ ,  $U_y$  Spannungen für horizontale und vertikale Ablenkung;  $LS$  Schirm mit Leuchtstoff.

Das Blockschaltbild eines einfachen, triggerbaren (s. Kap. 1.2) Zweikanal-Oszilloskops ist in Abb. 2 zu sehen. Die an den Kanälen 1 und 2 anliegenden Spannungen können gefiltert und verstärkt, sowie in der Position verschoben werden. Im AC-Betrieb ist, anders als im DC-Mode, der Kondensator (s. Abb. 2) nicht durch den Schalter kurzgeschlossen, weshalb die Nulllinie am Oszi der Zeitmittelwert der untersuchten Spannung ist. Zu beachten ist der Spannungsabfall von zwar rein periodischen Spannungen mit niedriger Frequenz. Hier kann es zu Verzerrungen im AC-Modus kommen (Versuch: Rechtecksignal bei 50 Hz).

Im Normalbetrieb kann gewählt werden, ob nur ein Kanal oder beide angezeigt werden. Auch eine Addition der Kanäle ist möglich. In diesen Betriebsarten liegt an den horizontalen Ablenkplatten eine Sägezahnspannung an, die über einen Trigger angesteuert wird.

Im xy-Modus liegt Kanal 1 an der y-Ablenkung, Kanal 2 an der x-Ablenkung. Sägezahn sowie Triggerung sind in diesem Modus unbenutzt.

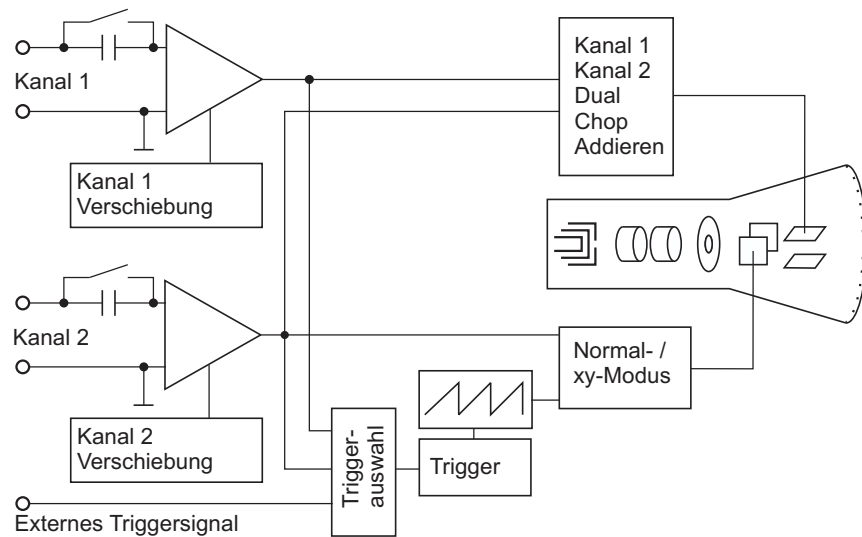


Abbildung 2: Blockschaltbild eines einfachen triggerbaren Zweikanal-Oszilloskops.

## 1.2 Normalbetrieb, Triggerung

An die Horizontalablenkung wird eine Sägezahnspannung gelegt, das heißt, der Kathodenstrahl wird mit konstanter Geschwindigkeit über den Schirm bewegt. Ist er am rechten Rand angekommen, so wird er rasch an den linken zurückbewegt. In dieser Zeit wird der Elektronenstrahl abgeschaltet. Wird ohne Triggerung gearbeitet, so startet der Sägezahn sofort wieder (dies ist beim Hameg HM 203-6 Oszilloskop z.B. dann der Fall, wenn im automatischen Triggermodus kein Triggerpuls gefunden wird).

An der y-Ablenkung liegt im Einkanal-Betrieb einer der beiden Kanäle an. Im Zweikanal-Betrieb wird zuerst der eine Kanal ganz gezeichnet, mit dem nächsten Sägezahnimpuls der andere. Bei sehr langsamen Signalen führt dies zu einem störenden Flackern der Meßkurven. In diesem Fall kann auf Chop-Betrieb umgestellt werden, d.h. während eines Sägezahnimpulses werden wechselweise Kanal 1 und 2 dargestellt.

Um für periodisch wiederkehrende Signale ein stehendes Bild zu erhalten, wird in den heute üblichen Oszilloskopen die Triggerung verwendet (vgl. Abb. 3). Die Spannung an der Horizontalablenkung wird so gewählt, das sich der Elektronenstrahl am linken Schirmrand befindet, die Intensität ist Null (Ruhestellung). Über- bzw. unterschreitet die Triggerspannung  $U_y$  einen vorgegebenen Wert (Triggerlevel), so startet der Sägezahn und das Signal wird auf den Schirm geschrieben. Ist der Strahl am rechten Rand angelangt, so kehrt er in die Ruhestellung zurück.

und wartet auf den nächsten Triggerpuls.

Bei älteren Geräten wurde ein stehendes Bild dadurch erzeugt, das die Periodendauer des Sägezahns mit jener des Signals synchronisiert wurde.

Zur Darstellung nicht periodischer Signale werden Speicheroszilloskope verwendet. Dabei wird das zu untersuchende Signal zwischengespeichert und der Inhalt des Speichers am Schirm angezeigt.

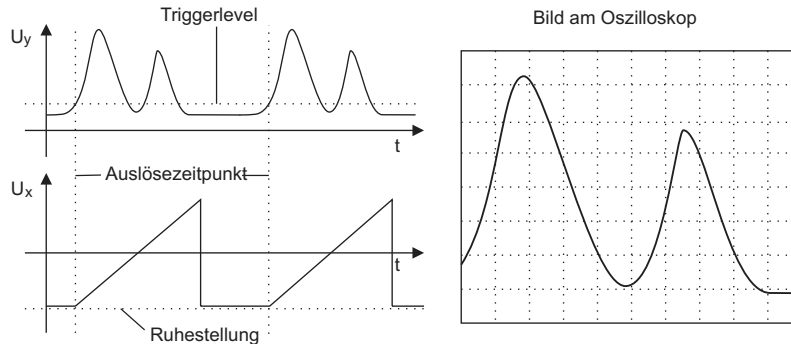


Abbildung 3: Triggerung:  $U_y$  zu messendes Signal, dient hier gleichzeitig zur Triggerung;  $U_x$  von Trigger und Sägezahn-generator erzeugt Spannung für Horizontalablenkung.

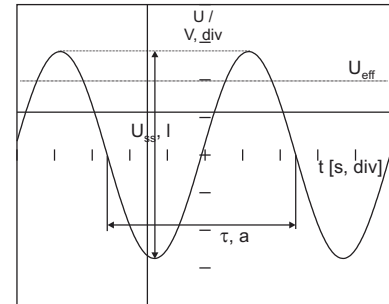


Abbildung 4: Kalibrierung des Spannungs- bzw. Zeitablenkfaktors.

### 1.3 xy-Betrieb

Der xy-Betrieb des Kathodenstrahloskilloskops wird zur Darstellung von funktionalen Abhängigkeiten zwischen zwei zeitabhängigen Größen  $U_x \hat{=} x(t)$  und  $U_y \hat{=} y(t)$  verwendet. Dabei wird  $U_y$  an die Vertikalablenkung (Kanal 1) und  $U_x$  an die Horizontalablenkung (Kanal 2) gelegt, am Schirm wird damit  $y = f(x)$  dargestellt.

Eine Anwendung ist die Darstellung von Kennlinien elektrischer Bauelemente, vgl. Praktikumsübung „Halbleiterdiode“. Weiters können unter Zuhilfenahme von Lissajou-Figuren die Frequenzen zweier Signale angeglichen bzw. Frequenzverhältnisse gemessen werden. Auch die Bestimmung von kleinen Phasenverschiebungen zwischen zwei Signalen ist so möglich.

Werden im xy-Betrieb beide Kanäle gleichzeitig auf Erdpotential gelegt, so ist nur mehr ein Punkt am Bildschirm zu sehen. Diese Einstellung sollte vermieden werden, weil der Fluoreszenzbelag durch andauernde Bestrahlung zerstört werden kann.

### 1.4 Wandler

Sollen andere Größen als Spannungen am Oszilloskop gemessen werden, so müssen diese in Spannungen umgewandelt werden. Zur Messung von elektrischen Strömen werden ohm'sche Widerstände als Wandler verwendet, für Temperaturen z.B. Thermoelemente, für Magnetfelder Hallsonden, für Drücke Piezoelemente etc. Die Bestimmung der jeweiligen Ablenkfaktoren (z.B. A/cm) kann entweder durch das Anlegen bekannter Signale oder die Ausnutzung physikalischer Zusammenhänge im Wandler (z.B.  $U = RI$ ) geschehen.

### 1.5 Digitaloszilloskope

Bei dem vorliegenden Versuchsaufbau wird ein Digitaloszilloskop verwendet (Teledyne T3DSO 1000 Serie, Bedienungsanleitung im TeachCenter verfügbar).

Das Eingangssignal wird analog verstärkt und analog gefiltert. Die Bandbreite des Oszilloskop begrenzt die Frequenz der digitalen Abtastung: Behinhaltet das Eingangssignal höhere Frequenzen als die Abtastrate, würde es zu einem Alias-Effekt kommen, höhere Frequenzen werden dann

falsch dargestellt. Die eigentliche Abtastung erfolgt durch einen Analog-Digital-Wandler, der in festgelegten Zeitintervallen das Signal erfasst und die Signalamplitude bestimmt. Für eine ausreichende Auflösung des Signalverlaufs muss die Frequenz der diskreten Abtastung ein Vielfaches der Signalfrequenz sein. Die Bandbreite eines Oszilloskops ist also ein wichtiges Kriterium bei der Datenerfassung.

Die Signalamplitude wird in diskrete Werte konvertiert. Ein 10-Bit A/D-Wandler kann zum Beispiel  $2^{10}$  Signalstufen, also 1024 verschiedene diskrete Werte darstellen wobei ein 8-Bit A/D-Wandler nur 256 verschiedene Stufen anzeigen kann.

Die digitalisierten Daten werden in einen Speicher geschrieben. Ein Prozessor liest die Daten aus und stellt sie auf einem Display dar. Da die Daten ohnehin im Speicher liegen, lassen sich diverse Algorithmen wie FFTs oder weitere mathematischen Operatoren darauf anwenden. Außerdem können die Daten auf einem USB-Stick abgespeichert oder über einen Computer ausgelesen/gespeichert werden.

## 1.6 Schwingkreise

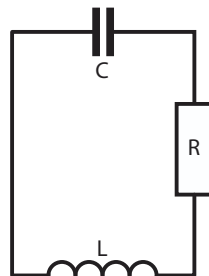


Abbildung 5: Der klassische Serienschwingkreis.

Ein geschlossener Stromkreis, bestehend aus einer Kapazität, einer Induktivität und einem Widerstand, stellt einen gedämpften elektrischen Schwingkreis dar (siehe Abb. 5). Im Falle eines Serienschwingkreises gilt die Maschenregel:

$$u_C + u_L + u_R = 0 \quad (1)$$

Setzt man  $u_L = L \frac{di}{dt}$ ,  $u_R = Ri$ , folgt durch Differenzieren von Glg. 1 und mit  $i_c = C \frac{du_c}{dt}$  die Differentialgleichung des Schwingkreises:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + i \frac{1}{LC} = 0 \quad (2)$$

Mit Hilfe der charakteristischen Gleichung (Glg. 3)

$$\lambda^2 + \lambda \frac{R}{L} + \frac{1}{LC} = 0 \quad (3)$$

können drei Fälle unterschieden werden.

1.  $R^2 C - 4L > 0$ : zwei reelle Lösungen, **Kriechfall**.
2.  $R^2 C - 4L = 0$ : eine reelle doppelte Lösungen, **aperiodischer Grenzfall**.
3.  $R^2 C - 4L < 0$ : zwei imaginäre Lösungen, **Schwingfall**.

## 2 Fragen

1. Warum können am Oszilloskop im Gegensatz zu einem Drehspulinstrument schnell veränderliche Spannungssignale gemessen werden?
2. Erklären Sie den Aufbau einer Braunschen Röhre
3. Erklären Sie die Funktionsweise der Ablenkplatten am Kathodenstrahloszilloskop
4. Die Netzspannung  $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$  soll am Oszilloskop (20 V/cm, 8 cm Schirmhöhe, Eingangsimpedanz  $1 \text{ M}\Omega$ ) dargestellt werden. Wie hoch ist die Spitze–Spitze Spannung  $U_{ss}$ ? Wie muß ein Spannungsteiler am Eingang dimensioniert werden, damit das ganze Signal sichtbar ist?
5. Wie sieht der zeitliche Verlauf von Strom und Spannung an
  - (a) einem ohm'schen Widerstand,
  - (b) einer Kapazität,
  - (c) an einer Induktivität aus?
6. Erklären Sie die Schaltung in Abb. 7.
7. Erklären Sie wie mit Schaltung Abb. 8 die Induktivität einer Spule bestimmt werden kann wenn  $C$ ,  $R_M$  und  $R_P$  bekannt sind.
8. Wozu dient der Kondensator an den Eingängen der Kanäle 1 bzw. 2 in Abbildung 2?
9. Erklären Sie wie man mit einem Oszilloskop einen Strom oder einen Druck messen kann.
10. Veranschaulichen Sie die Funktionsweise eines Triggers anhand von 2 einfachen Skizzen
11. Skizzieren Sie das Verhalten von den 3 Schwingfällen im Schwingkreis und veranschaulichen Sie so für sich die Unterschiede.

### 3 Versuchsaufbau & Durchführung

#### 3.1 Lissajous-Figuren

Aufbau:

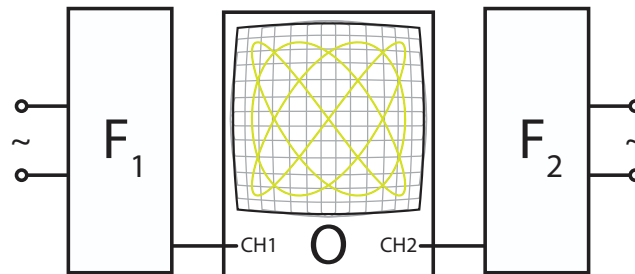


Abbildung 6: Aufbau zur Darstellung von Lissajous-Figuren am Kathodenstrahloszilloskop  $O$  mit den beiden Frequenzgeneratoren  $F_1$  &  $F_2$ .

Der Aufbau dieses Versuchs wird gemeinsam mit dem Betreuer von allen Teilnehmern durchgeführt.

#### Durchführung:

Kennenlernen des Kathodenstrahloszilloskops. Stellen Sie einige Lissajous-Figuren auf dem Kathodenstrahloszilloskop dar. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- Stellen Sie eine feste Frequenz an einem der beiden Funktionsgeneratoren ein.
- Verändern sie jetzt die Frequenz am anderen Funktionsgenerator und beobachten sie den Schirm des Oszilloskops.
- Wann bekommen sie ein stehendes Bild? Wann entstehen Kreuzungspunkte? Diskutieren Sie in der Gruppe um welche Frequenzverhältnisse es sich anhand der Lissajous-Figur handelt und den Frequenzgang bei hohen Frequenzen.
- Untersuchen Sie den Einfluss von unterschiedlichen Signalformen auf die Lissajous-Figur.
- Können Sie aus der Anzeige ein Spannungsverhältniss bestimmen? Diskutieren Sie in der Gruppe.

#### Protokoll:

Diesen Versuch gilt es **nicht** zu Protokollieren.

## 3.2 Serienschaltung

### Aufbau:

Bauen Sie eine Serienschaltung nach Abb. 7 aus einem ohm'schen Widerstand ( $R = 1 \text{ k}\Omega$ ) und einer Kapazität ( $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ) auf. Der Trenntrafo  $T$  dient zur Trennung des erdbehafteten Signals aus  $F$  von der Erde. Dennoch ist zu beachten, das Erdschleifen über das Oszilloskop vermieden werden (Das Oszilloskop ist intern geerdet, es reicht also aus beim Arbeiten mit den Bananensteckern die Schaltung nur einmal zu erden).

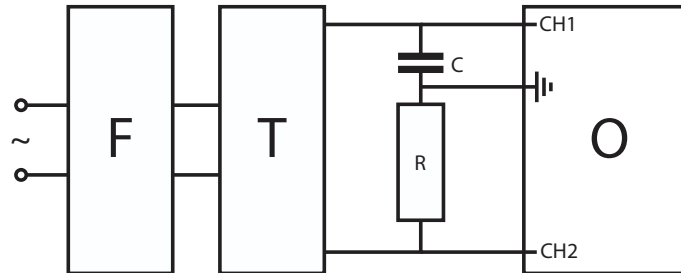


Abbildung 7: Aufbau zur Messung des zeitlichen Verlaufs von Strom und Spannung an einer Kapazität  $C$ . Funktionsgenerator  $F$ , Trenntrafo  $T$ , Widerstand  $R$ , Oszilloskop  $O$ . **Vorsicht:** 20 dB Abschwächung am Funktionsgenerator voreinstellen!

Lassen Sie zuerst den Betreuer ihren Aufbau begutachten bevor Sie den Trenntrafo einschalten!

### Durchführung:

Verwenden Sie für die folgenden Unterpunkte das digitale Oszilloskop. Speichern Sie die Messdaten am USB Stick und stellen sie Strom und Spannung am Kondensator über der Zeit dar. Lesen sie die Messdaten über den PC ein und stellen sie Strom und Spannung am Kondensator über der Zeit dar. Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf von Strom (siehe Kapitel 1.4 Wandler) und Spannung am Kondensator für

1. eine sinusförmige Speisespannung von 50 Hz und ermitteln Sie den Phasenversatz mithilfe des Cursors. Schätzen Sie mithilfe des Cursors ebenfalls die Unsicherheiten und geben Sie diese mit an. Speichern Sie ein JPG vom Oszilloskop auf ihren USB Stick.
2. eine rechteckförmige Speisespannung von 50 Hz und bestimmen sie die Zerfallskonstante  $\tau$ . Vergleichen Sie  $\tau$  mit dem erwarteten Wert unter berücksichtigung ihrer Bauteile und deren **Toleranzen**. Exportieren Sie dazu den Spannungsabfall als CSV oder ASCII auf einen USB Stick und plotten als auch fitten Sie ihn nach der Laboreinheit mit Hilfe eines Datenanalyseprogramms (z.B. SciDAVis oder QTIPlot). Vergessen Sie nicht sich die Unsicherheiten der einzelnen Bauteile zu notieren und im Protokoll auch anzuführen.

### Protokoll:

Zeichnen sie ihren Schaltplan für diesen Versuch selbst.

Stellen Sie die ermittelten Daten aus (1) in einem Fließtext dar inklusive dem von ihnen gespeicherten Plot.

Stellen Sie ihre Messdaten aus (2) als einen Plot dar. In der Auswertung fitten Sie die Daten und bestimmen so die Zerfallskonstante  $\tau$ . Überprüfen Sie Ihr Ergebnis durch vergleichen mit dem zu erwartenden Wert für  $\tau = R \cdot C$ . Erklären Sie die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Unsicherheiten.

### 3.3 Serienschwingkreis

**Aufbau:**

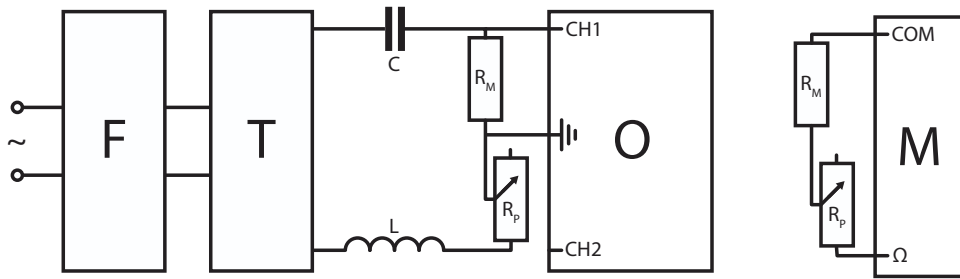


Abbildung 8: Aufbau zur Messung des zeitlichen Verlaufs des Stroms in einem Serienschwingkreis mit dem Kondensator  $C$ , Funktionsgenerator  $F$ , Trenntrafo  $T$ , Messwiderstand  $R_M$ , Drehpotentiometer  $R_P$  und Oszilloskop  $O$  als auch zur Messung des Gesamtwiderstands mit dem Multimeter  $M$ . Vorsicht: 20 dB Abschwächung am Funktionsgenerator voreinstellen!

Bauen Sie einen Serienschwingkreis nach Abb. 8 mit  $R_M = 50 \, \Omega$ ,  $R_P = 470 \, \Omega$  und  $C = 1 \, \mu\text{F}$  auf. Als Induktivität verwenden sie eine Spule ( $n=500$ ) mit eingesetztem Eisenkern.

**Durchführung:**

1. Zeichnen Sie die folgenden Fälle des Serienschwingkreises bei 50 Hz rechteckförmiger Speisespannung mit dem digitalen Oszilloskop auf:
  - $R^2C - 4L > 0$ : Kriechfall.
  - $R^2C - 4L = 0$ : aperiodischer Grenzfall.
  - $R^2C - 4L < 0$ : Schwingfall.

dabei ist die Spannung am konstanten Widerstand  $R_M$  zu messen. Sie können durch drehen des Potentiometers so zwischen den oben angeführten Fällen wechseln. Die einzelnen Fälle sind jeweils auf einen USB Stick als CSV oder ASCII Datei zu speichern.

2. Stellen Sie die Induktivität der Spule mit und ohne Eisenkern fest. Hierfür stellen Sie am Oszilloskop den aperiodischen Grenzfall im ersten Schritt mit Eisenkern dar und messen Sie den Gesamtwiderstand ( $R_M + R_P$ ) mit dem Multimeter. **Achtung:** Bei der Messung mit dem Multimeter trennen Sie die Spannungsquelle (Trenntrafo T) von der Schaltung. Um daraus die Induktivität zu bestimmen. Wiederholen Sie den Vorgang für die Spule ohne Eisenkern.

**Protokoll:**

Die Daten aus Aufgabe (1) sind in einem gemeinsamen Plot in dem Protokoll darzustellen. Geben Sie im Protokoll alle Messdaten aus (2) tabellarisch dar und beachten Sie die einzelnen Unsicherheiten. Berechnen Sie nun unter Berücksichtigung der Unsicherheiten die Induktivität der Spule mit und ohne Eisenkern. Vergleichen Sie die unterschiedlichen Induktivitäten mit Werten aus der Literatur. Sie können den Schaltplan Abb. 8 in ihrem Protokoll verwenden.



Diese Aufgabe ist für Teilnehmer des Kurses [GEOC3UF,UNT076UF](GEO,USW) **optional**, kann jedoch als Bonusbeispiel durchgeführt werden.

### 3.4 Frequenzbestimmung

**Aufbau:**

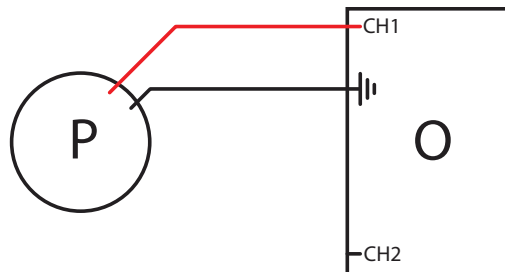


Abbildung 9: Vereinfachter Schaltplan zur Messung von Druckänderungen mithilfe eines Piezos  $P$  unter Verwendung eines Oszilloskop Tastkopfes am Oszilloskop  $O$ .

**Durchführung:**

Eigenfrequenzmessung mit Piezosensor

1. Messung der Eigenfrequenz des Stuhls: Legen Sie den Piezo mit der hellen Seite nach oben auf die Mitte des Stuhls und beschweren Sie ihn vorsichtig (Bruchgefahr). Der Piezo kann mittels eines Tastkopfs am Oszi angeschlossen werden, dabei ist der Faktor des Tastkopfs (1x, 10x) zu beachten und am Oszilloskop entsprechend einzustellen. Klopfen sie nun auf den Stuhl und zeichnen Sie das Signal im Single-shot Modus auf. Die Frequenz kann mit dem Cursor bestimmt werden.
2. Messung der Eigenfrequenz des Piezos selbst: Lassen sie den Piezo frei hängen und tippen ihn vorsichtig an. Der Messvorgang gestaltet sich gleich wie in Punkt (1) jedoch bestimmen Sie nun mithilfe der FFT Funktion am Oszilloskop die Eigenfrequenz des Piezos. Speichern Sie nun ein Bild von ihrem Oszilloskop auf ihren USB-Stick.

**Protokoll:**

Beschreiben Sie kurz die nutzen einer Frequenzbestimmung mit einem Piezo und überlegen Sie sich 3 Anwendungsbereiche für solch eine Messung. Fügen Sie ihr Bild der FFT Funktion in die Auswertung ein und vergleichen Sie die ermittelte Resonanzfrequenz mit der aus dem Datenblatt der Piezos. Für die Unsicherheit der Messung bestimmen Sie die Halbwertsbreite des Spitzensignals visuell.

### 3.5 Appendix

Unsicherheit des Multimeters MY68 im Bereich  $0\ \Omega - 399\ \Omega$ :  $1,2\ \% \text{ v. Messwert} + 2 \text{ digit}$ . Die Daten des Piezos finden sie im Datenblatt unter der Produktnummer 7BB-35-3L0.