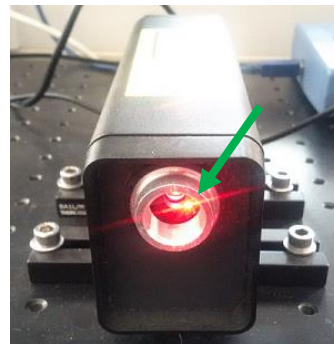


## 1. Justieren des Michelson-Interferometers (MI)

### Schritt 1:



Justieren Sie den manuell verfahrbaren Spiegel so, dass der Laserstrahl in die unmittelbare Nähe des Laserausgangs zurückreflektiert wird. Im Foto unten zeigt der grüne Pfeil, wo der zurückreflektierte Strahl am Lasergehäuse auftrifft. Idealerweise sollte der Strahl keinen stark reflektierenden Bereich treffen.

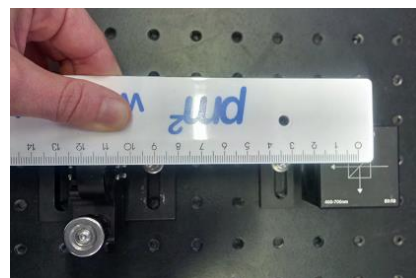


### Schritt 2:

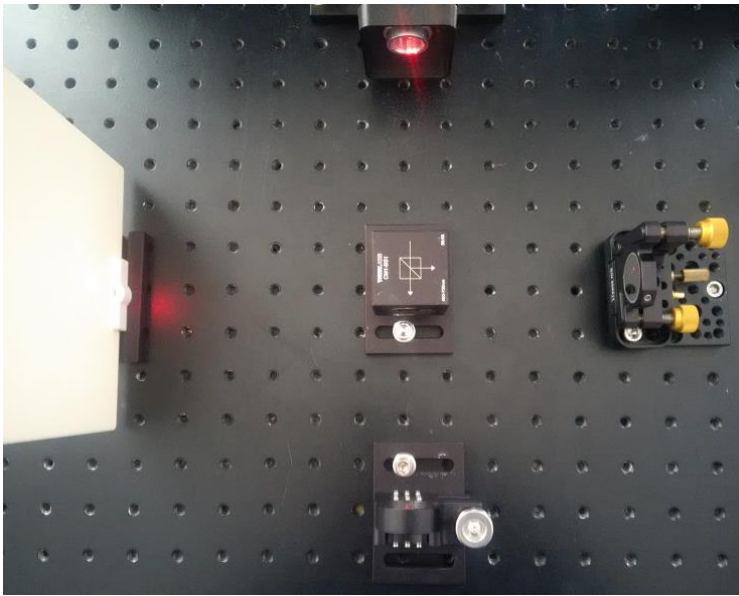


Setzen Sie nun den Strahlteiler ein. Achten Sie darauf, dass die auf dem Strahlteilergehäuse aufgezeichnete Orientierung stimmt (Pfeile zeigen in Richtung der MI-Arme). Achten Sie darauf, dass der reflektierte Strahl im  $90^\circ$  Winkel zum transmittierten steht (Orientierung an Lochraster).

Messen Sie dann den Abstand zwischen Strahlteiler und Spiegel, also die Armlänge des Interferometers.



### Schritt 3:



Setzen Sie nun den zweiten Spiegel ein (rechts im Bild), sodass die Armlänge in etwa gleich der des anderen Arms ist. Setzen Sie außerdem den Schirm ein.

An den beiden goldenen Stellschrauben des zweiten Spiegels können Sie nun die Strahlrichtung noch feinjustieren, wie im nachfolgend beschrieben:

Sie werden zunächst zwei Reflexe auf dem Schirm sehen, wie in der Abb. a) unten gezeigt. Die beiden oberen Reflexe sind die des Hauptstrahls, diese gilt es nun mit Hilfe der Stellschrauben zur Überlagerung zu bringen. Die unteren, schwächeren Reflexe (s. grüner Pfeil), sind unerwünschte Reflexe vom Strahlteiler, die sich nicht vermeiden lassen und ignoriert werden sollten. Haben Sie die beiden Hauptreflexe zur Überdeckung gebracht, sollten Sie einen intensiven Spot auf dem Schirm sehen (wie in der Abb. b) gezeigt). Drehen Sie ganz minimal die goldenen Schrauben hin und her, bis Sie ein leichtes Flackern in dem Hauptspot wahrnehmen.

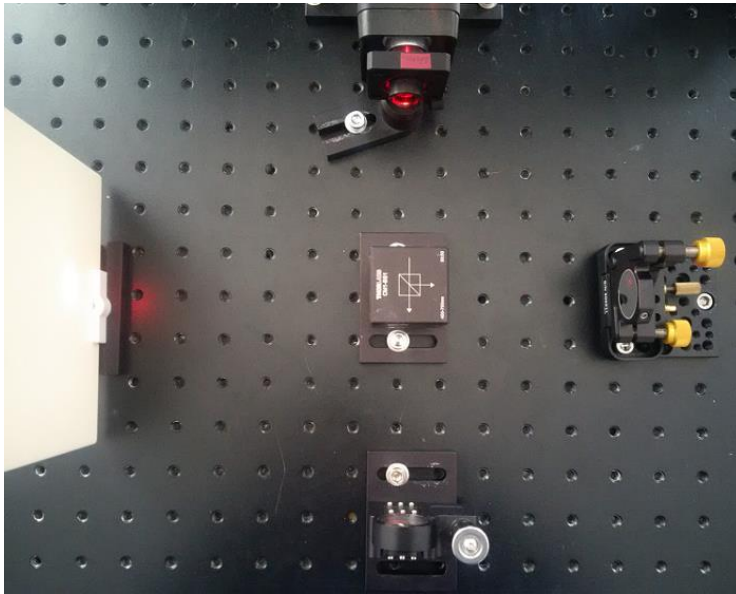


a)

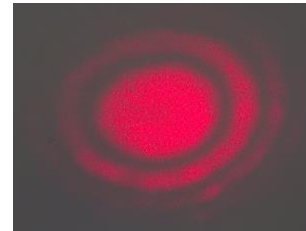


b)

#### Schritt 4: Ringmuster



Haben Sie einen eindeutigen Spot auf dem Schirm, der beim Bewegen der Schrauben leicht flackert, so können Sie jetzt die Linse direkt vor dem Laser einsetzen. Achten Sie darauf, dass sie zentriert in den Strahl gesetzt wird. Die Linse weitet den Strahl divergent auf, sodass Sie nun auf dem Schirm ein Ringmuster beobachten können:



#### Schritt 5: Einsetzen des Photodetektors und Betrachten der Signalform (Scanning Fabry-Perot-Interferometer)

Wurde der Aufbau wie oben mit dem Schirm justiert, so kann an dessen Stelle, zentral im Interferenzmuster des Interferometer-Ausgangs, der Photodetektor zur Beobachtung der Signalform eingebracht werden.

Die Aufnahme der Signalform erfolgt nun wie in 3.1.2 der Anleitung beschrieben, wobei die Piezostage für den y-Arm Endspiegel verwendet wird. Es bleibt somit die x-Armlänge nach der Justage unverändert, während die y-Armlänge in einem Bereich von mehreren Wellenlängen verändert wird. Somit ist die Signalform eine Funktion der y-Armlänge.

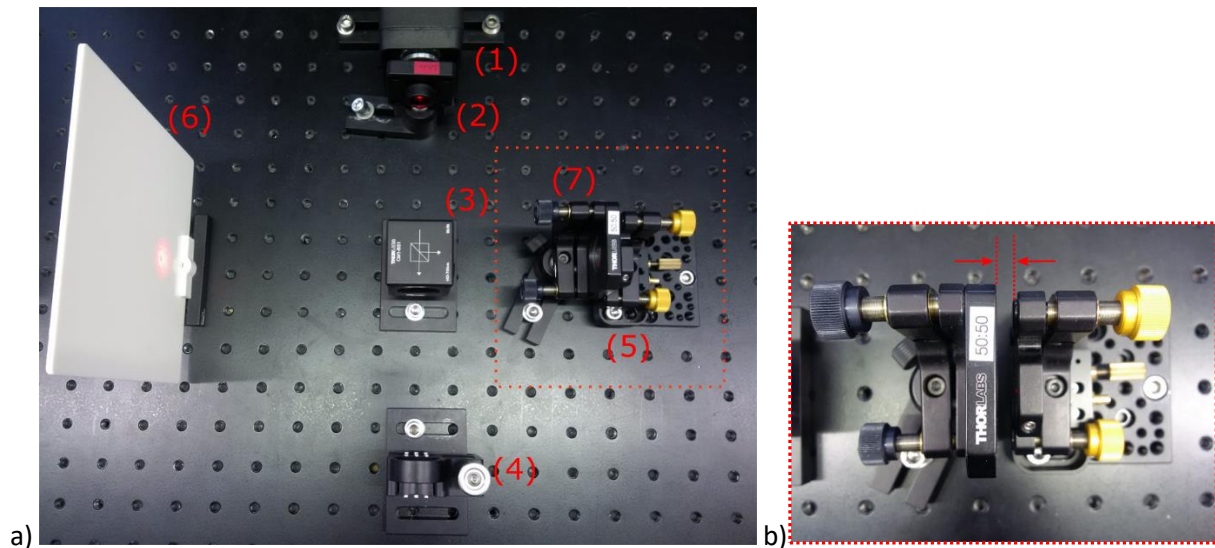
Die Photodiode muss exakt in Richtung des Lichtstrahls ausgerichtet sein, damit dieser auf die Detektorfläche fällt. Die Photodetektorblende sollte zuerst komplett verschlossen sein und dann unter Beobachtung des Oszilloskops in DC Kopplung langsam geöffnet werden, bis das Signal gut sichtbar wird. Der Aufbau kann nun getestet werden, indem man mit dem Finger leicht auf die Endspiegelhalter tippt. **Optische Komponenten (Spiegel, Linsen, etc.) dürfen niemals mit den Fingern berührt werden!** Auf dem Oszilloskop sollte eine deutliche Reaktion des Photosignals zu sehen sein.



Schließen Sie das Steuergerät an die Piezostage an und stellen Sie die darauf angezeigte Spannung mit dem Drehregler auf etwa 35V (Piezos dürfen niemals in den negativen Spannungsbereich gefahren werden! Der gesamte Verfahrensbereich geht von 0 – 75V.). Schließen Sie den Ausgang des Signalgenerators des PicoScopes an den Anschluss 'EXT' des Steuergerätes an. Regeln Sie die Frequenz auf **unter 1 Hz** und erhöhen Sie die Amplitude bis die auf dem Steuergerät angezeigte Spannung etwa mit einer Amplitude von einigen zehn bis hundert mV oszilliert (s. PicoScope Software, Abschnitt 4). Zur genaueren Betrachtung können Sie das Signal mit einem BNC T-Stück an Kanal 2 des Oszilloskops anschließen (oder alternativ den Monitorausgang des Steuergerätes an den Kanal 2 anschließen).

## 2. Justieren des Fabry-Perot-Interferometers (innerhalb des Michelson-Interferometers)

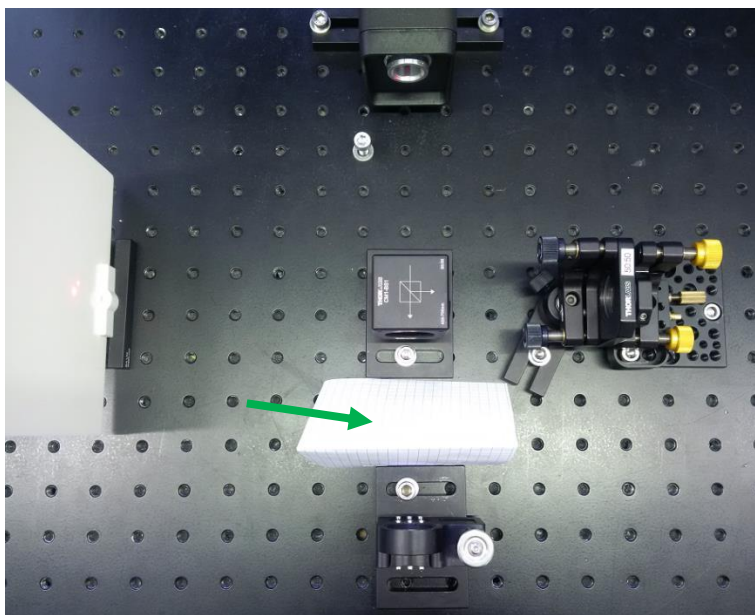
Das Fabry-Perot-Interferometer kann sehr einfach in das Michelson-Interferometer integriert werden, indem ein zusätzlicher 50:50 Strahlteiler in den  $y$ -Arm eingebaut wird (künftig als FP-Strahlteiler bezeichnet). In der unteren Abb. a) ist dieser Strahlteiler mit der Nummer (7) bezeichnet. In der Abb. b) sieht man, wie der Strahlteiler gegenüber dem Spiegel (5) montiert werden sollte. Lassen Sie dazu die Linse (2) zunächst weg.



a) Aufnahme des Michelson-Fabry-Perot-Interferometers ((1) Laser, (2) Linse, (3) Beam Splitter, (4) x-Arm Spiegel, (5)  $y$ -Arm Spiegel, (6) Schirm, (7) Fabry-Perot Strahlteiler). Das Fabry-Perot-Interferometer ist im roten Kästchen markiert und in b) nochmals vergrößert gezeigt.

### Schritt 1: Zusätzlicher FP-Strahlteiler

Achten Sie beim Einbau des FP-Strahlteilers darauf, dass er nicht zu weit vom Spiegel (5) entfernt ist, der Abstand sollte in etwa 5mm betragen, um eine optimale Justierung zu ermöglichen.

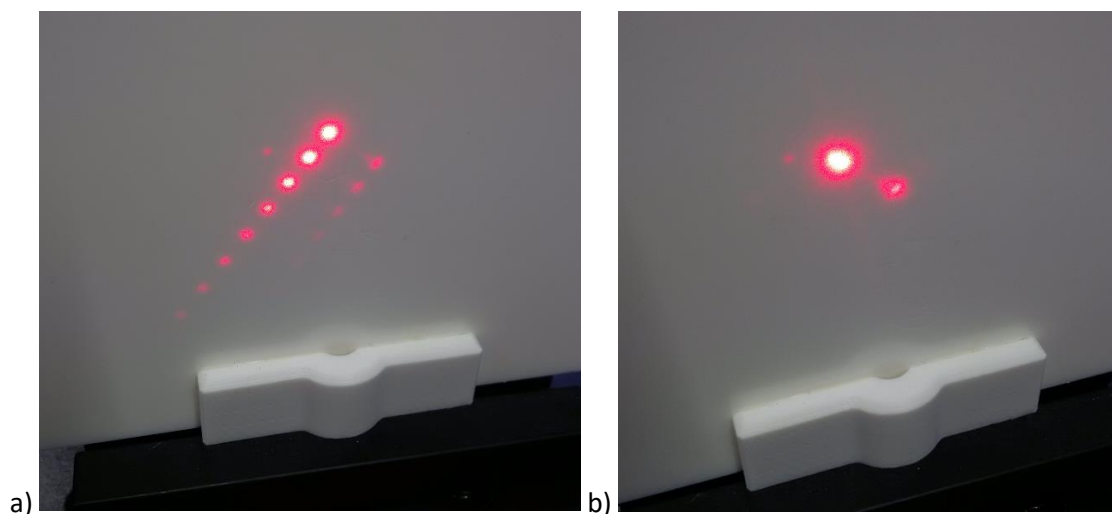


Zur Justierung sollten Sie nun den Arm des MI, der nicht benötigt wird, mit einem Papier (grüner Pfeil) abdecken und statt der Photodiode wieder den Schirm einsetzen (oder den Schirm einfach vor die Diode stellen, falls genug Platz vorhanden). Sie sehen jetzt auf dem Schirm nur noch die Reflexe aus dem FP-Arm.

Sie sollten also auf dem Schirm zunächst mehrere Reflexe erkennen können, da das Licht zwischen den Spiegeln des FP-Interferometers mehrfach hin- und zurückreflektiert wird (wie im Theorieteil der Anleitung in 2.3.3. beschrieben).

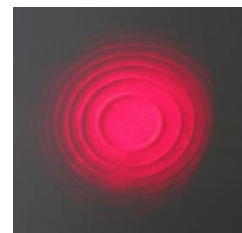
### Schritt 2: Justieren des FP-Strahlteilers

Ist der hinzugebaute FP-Strahlteiler noch nicht parallel zum anderen Spiegel eingebaut, sieht man daher die Reflexe wie in Abb. a) unten gezeigt. Der Strahlteiler muss nun noch justiert werden. Drehen Sie dazu an den **Stellschrauben des FP-Strahlteilers**. Verändern Sie **NICHT** mehr die goldenen Schrauben des Endspiegels, da Sie sonst das Michelson-Interferometer wieder dejustieren, das Sie später auch noch brauchen. Verstellen Sie also die Stellschrauben so lange, bis sich alle Reflexe überlagern und Sie nur noch einen Spot sehen wie in Abb. b). *Hinweis: Die schwächeren Reflexe, hier schräg unterhalb der intensiveren Spots, sind unerwünschte Reflexe vom Michelson-Strahlteiler, die sich kaum vermeiden lassen, die Sie aber ignorieren können, da sie sich in den Messungen nicht mehr auswirken.*



### Schritt 3: Ringmuster

Setzen Sie nun die Linse (2) wieder in den Strahlengang ein. Achten Sie wieder auf eine saubere Ausrichtung und Zentrierung. Sie sollten jetzt das typische Fabry-Perot-Interferenzmuster erkennen können:



### Schritt 4: Einsetzen der Photodiode, Betrachten der Signalform

Als nächstes können Sie nun die Photodiode wieder in das Zentrum des Interferenzmusters stellen, sodass Sie die Signalform mit dem Oszilloskop ansehen können. Schließen Sie dazu die Photodiode an Kanal 1 des Oszilloskops an.

### 3. Justieren des Michelson-Fabry-Perot-Interferometers (MFPI)

#### Schritt 1: Justieren des MI

Um beide Interferometer kombiniert zu verwenden, sollte zuerst das Michelson-Interferometer justiert sein. Überprüfen Sie das Ringmuster am Schirm und justieren Sie ggf. nach, wie in 1. beschrieben.

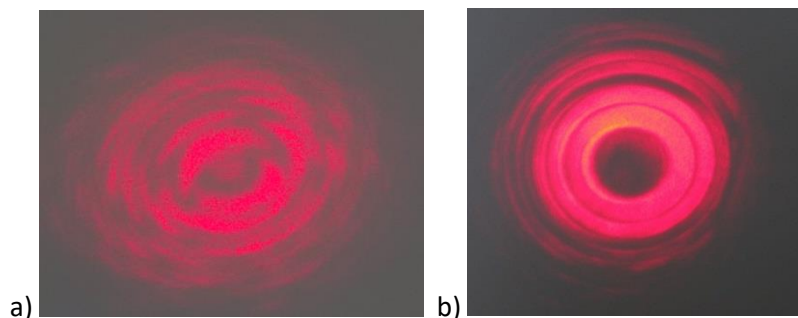
#### Schritt 2: Justieren des FPI

Setzen Sie nun den FP-Strahlteiler ein, blockieren Sie den anderen Michelson-Arm und justieren Sie das FP allein wie in 2. beschrieben. Sie sollten am Schirm nun das Ringmuster sehen.

#### Schritt 3: Justieren des MFPI

Nehmen Sie nun die Blockade aus dem zweiten MI-Arm heraus. Das Ringmuster des MI und des FPI überlagern sich nun auf dem Schirm. Ist die Ausrichtung beider Muster noch nicht konzentrisch, sieht das etwa so aus wie in a).

Justieren Sie nun ausschließlich vorsichtig am **Endspiegel des MI** mit Hilfe der goldenen Schrauben nach, bis sich beide Ringmuster konzentrisch überlagern, wie in b).



In das Zentrum können Sie nun wieder die Photodiode stellen und verfahren wie in den vorherigen Aufgaben.

### 4. Kurzanleitung zur Verwendung der Software des PicoScope

Das USB-Oszilloskop PicoScope können Sie wie ein normales Oszilloskop verwenden. Die Software erlaubt sowohl die reine Anzeige der gemessenen Signale als auch die Aufnahme von Messungen. Es ist auch eine FFT-Darstellung vorhanden, in der die Signale im Frequenzraum angezeigt werden.

Desweiteren verfügt die Software über einen Funktionsgenerator, die Signalfrequenzen können über den PicoScope-Ausgang ausgegeben werden.

## Grundlegende Einstellungen in der oberen Bedienelemente-Leiste:

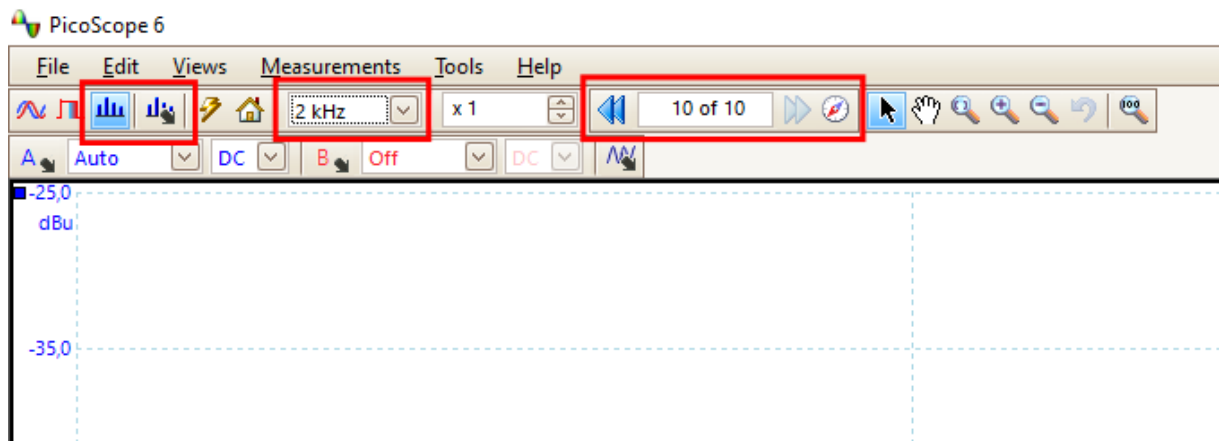


Abb. 1: Menü der PicoScope Software

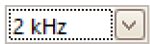
Sie benötigen vor allem die Bedienfelder, die rot eingerahmt sind:



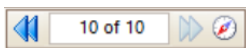
..... Stellt die Signalanzeige auf FFT-Darstellung um



..... Auswahlkноп für die FFT-Darstellungsoptionen (mehr s. unten)



..... Hier stellen Sie den Frequenzbereich auf der x-Achse ein, sollte hier bei max. 2kHz liegen.



Zählfenster: Gibt die Nummer/Anzahl der Messungen an

## Einstellungen innerhalb der FFT-Funktion: FFT-Options

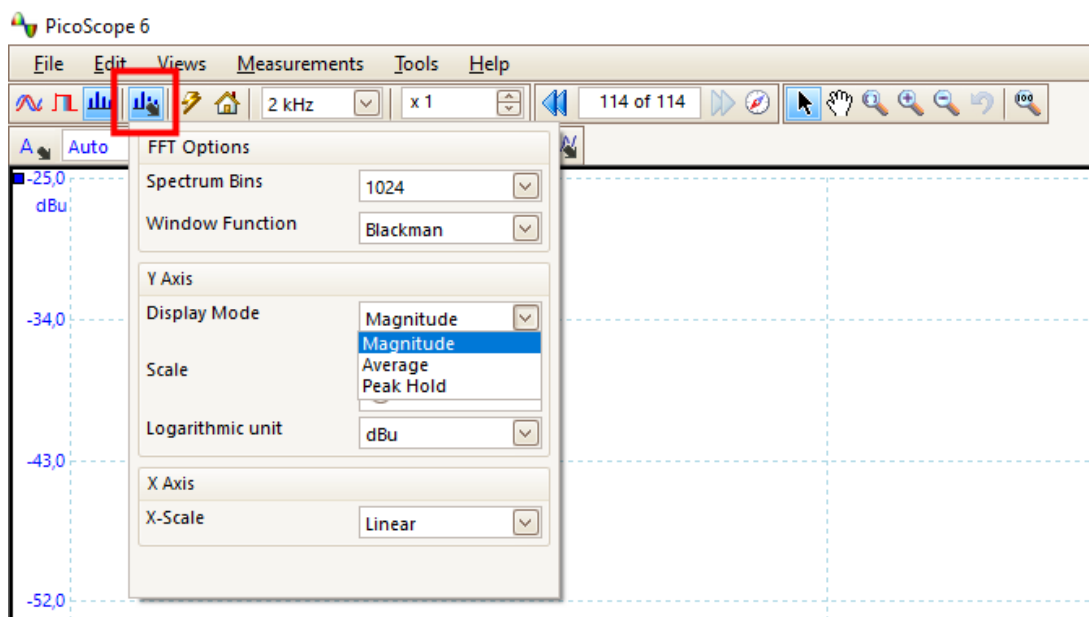


Abb. 2: FFT Options Menü

- **Spectrum Bins:** Gibt die Anzahl der Bins innerhalb des eingestellten Messbereichs (hier 2kHz) an. Je mehr Bins, umso genauer die Auflösung der x-Achse – die Messung wird aber auch deutlich langsamer. Ein guter Kompromiss für die hier gemachten Versuche ist 1024.
- **Display Mode:**
  - *Magnitude:* Signale werden angezeigt, wie sie ankommen.
  - *Average:* Nach Starten einer Messung werden alle Messungen, die ab diesem Zeitpunkt gemacht werden, solange gemittelt bis die Messung gestoppt wird. Vorteil: Signale treten ggf. besser aus dem statistischen Rauschhintergrund hervor.
  - *Peak Hold:* Bei jeder Messung wird zu jedem Frequenzwert der höchste gemessene Signalwert beibehalten.
- **Logarithmic unit:** Gibt die Einheit der y-Achse an. Die Voreinstellung „dBu“ als Bezugspegel kann beibehalten werden, da nur relative Werte interessant sind und die absolute Einheit keine Rolle spielt.
- **X-Scale:** Skala der x-Achse. Sie sollte linear eingestellt bleiben.

## Einstellungen des Signalgenerators



Mit diesem Button wird der Signalgenerator eingeschaltet:

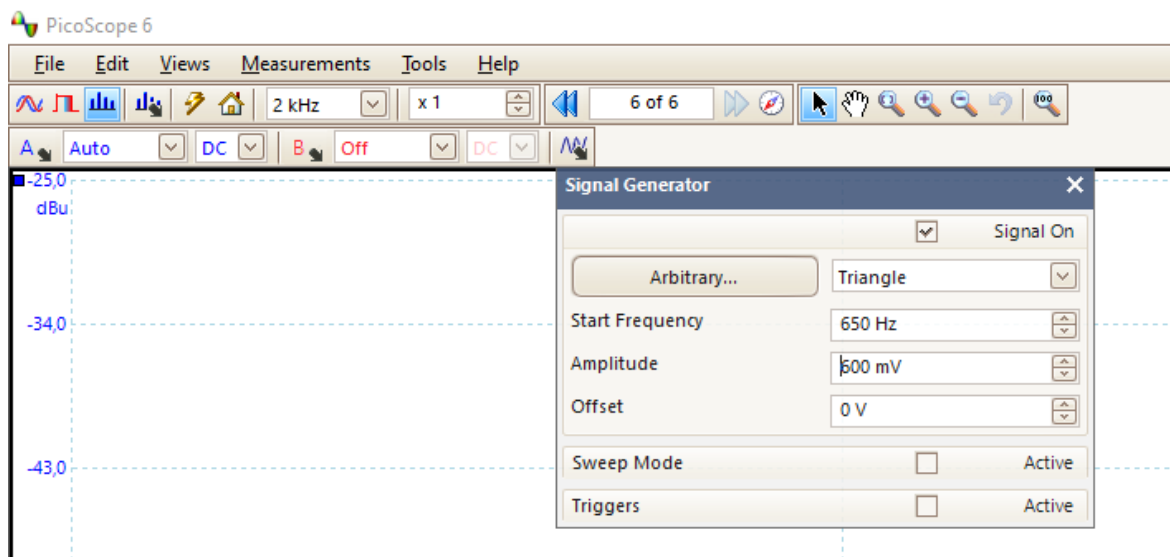


Abb. 3: Signalgenerator von PicoScope

- Der Generator gibt Signale aus, wenn vor „Signal on“ ein Häkchen gesetzt wird.
- Im Bild ist oben rechts „Triangle“ als Signalform ausgewählt. Im LIGO-Experiment sollte ein **Dreieckssignal (Triangle)** verwendet werden, wenn die Signalform im Scanning-MI oder Scanning FPI beobachtet werden und der Generator über den Piezo den Spiegel vor und zurück



bewegen soll (lineare Bewegung!). Soll ein Akustiksignal über den Lautsprecher ausgegeben werden, sollte ein **Sinuston (Sine)** gewählt werden.

- **Start Frequency:** Einstellen der gewünschten Frequenz
- **Amplitude:** Signalamplitude. Sie sollte unter 1V liegen, Einstellung ansonsten nach Bedarf.

### Messung starten/stoppen

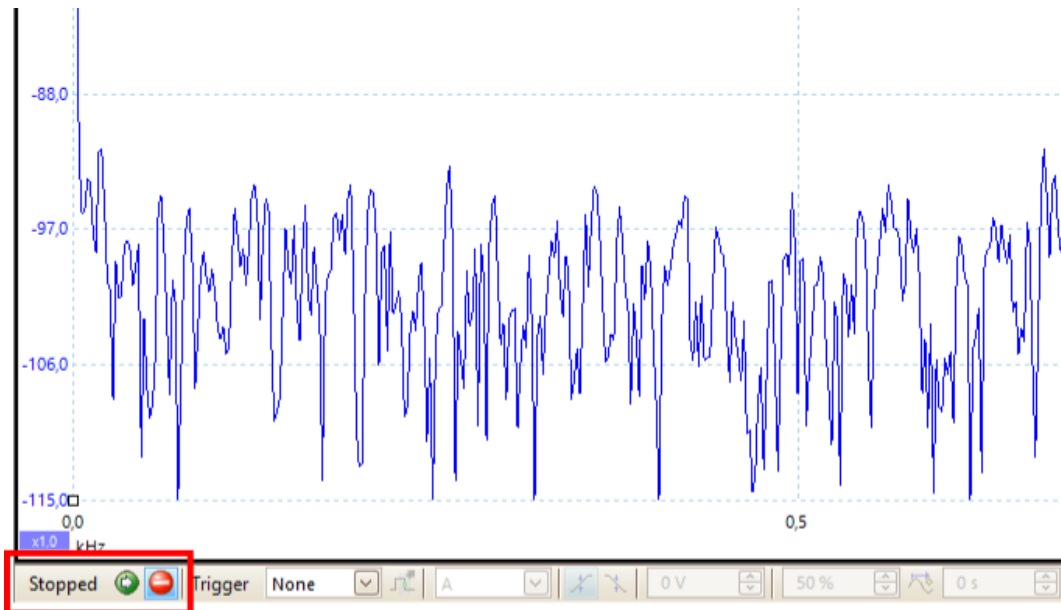


Abb. 4: Start/Stop Button

Eine Messung wird mit demselben Button links unterhalb des Signalfensters gestartet und gestoppt. Ob die Messung läuft, erkennt man entweder an den Anzeigen rechts daneben oder am Zählerfenster in der oberen Bedienelemente-Leiste, in der die Messungen immer live mitgezählt werden (s. Abb. 1,

