

# Fortgeschrittenenpraktikum Versuch 08: Akusto-optischer Effekt

February 7, 2024

Akusto-optische Modulatoren (AOM) werden in einer Vielzahl von Experimenten oder Geräten, welche mit Laserlicht arbeiten, eingesetzt. AOMs werden dabei zur Kontrolle der Intensität eines Lichtstrahls, einer definierten Verschiebung der Lichtfrequenz oder einer gezielten Ablenkung des Lichtstrahls verwendet. Dieser Versuch soll die prinzipielle Funktionsweise und Charakteristiken eines AOM veranschaulichen.

## 1 Wichtige Hinweise

Folgende Sicherheitshinweise sind unbedingt bei der Durchführung des Versuchs zu beachten:

1. Nie direkt in den Laserstrahl schauen!
2. Uhren, Schmuck etc. an Fingern, Händen und Unterarmen vor Beginn des Versuchs ablegen, um unkontrollierte Reflexionen zu vermeiden!
3. Der Akusto-optische Modulator kann durch zu große RF-Eingangsleistungen beschädigt werden, bitte beachten sie die Maximalangaben.
4. Der verwendete RF-Leistungsverstärker darf niemals ohne Last betrieben werden, da er sonst beschädigt werden kann.

## 2 Funktionsweise

Das Funktionsprinzip eines AOM basiert auf Bragg-Beugung. Licht einer ebenen Welle mit Wellenlänge  $\lambda$  wird an einer Gitterstruktur mit Linienabstand  $\Lambda$  mit dem Einfallswinkel  $\theta_i$  in mehrere Ordnungen  $n$  mit Ausfallswinkel  $\theta_n$  aufgespalten, für die die Bragg-Gleichung

$$n\lambda = \Lambda(\sin(\theta_n) - \sin(\theta_i)) \quad (1)$$

gilt. Der Fall  $n = 0$  ergibt  $\theta_n = \theta_i$  und beschreibt den Anteil des Strahls, der nicht gebeugt wird (0. Ordnung). Für die Brechung von optischen Wellen an Schallwellen ergibt sich aufgrund von Impuls- und Energieerhaltung  $\theta_n = -\theta_i$  [1] und somit in guter Näherung

$$n\lambda = 2\Lambda\sin(\theta_i) \quad (2)$$

Der gesamte Ablenkwinkel  $\Theta = 2\theta_B$  zwischen 0. und 1. Ordnung eines AOM ergibt sich nun zu

$$\Theta \approx \frac{\lambda}{\Lambda} = \frac{\lambda f_{RF}}{V_s} \quad (3)$$

mit  $f_{RF}$  der RF-Frequenz und  $V_s$  der Schallgeschwindigkeit im Kristall. Impuls- und Energieerhaltung bedingen auch eine Änderung der Laserfrequenz der  $n$ -ten Ordnung zu

$$\omega_n = \omega_L + n\omega_{RF} \quad (4)$$

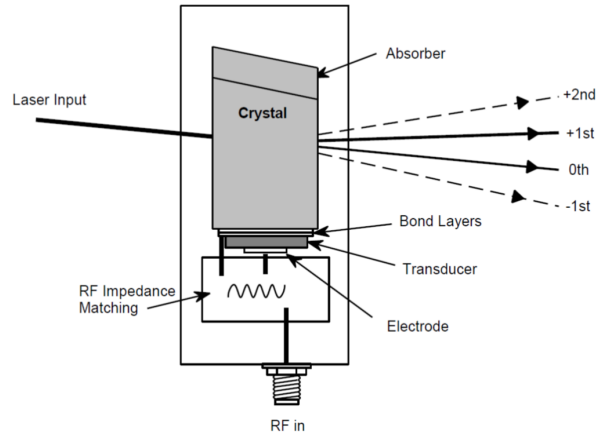


Figure 1: **Interner Aufbau eines AOM.** Grafik entnommen aus [2]

Fig. 1 zeigt schematisch den internen Aufbau eines AOM. Das Eingangs-RF-Signal wird über einen elektronischen Anpassungsschaltkreis auf einen Piezo-Transducer übertragen, der Schallwellen im AOM-Kristall erzeugt. Diese Schallwellen sind nichts anderes als Dichteänderungen im Medium, welche zu einer periodischen Brechungsindexänderung führen. Diese durchlaufen den Kristall und werden am anderen Ende gezielt absorbiert. Ein Laserstrahl unter dem richtigen Einfallswinkel (Bragg-Bedingung) wird in mehrere Beugungsordnungen aufgespalten. Bei optimaler Einkopplung und moderater RF-Leistung sind die 0. und 1. Ordnung die weitaus stärksten Anteile.

Die Beugungseffizienz  $\varepsilon = P_1/P_{out}$ , definiert als relative Intensität zwischen erster Ordnung und Gesamtintensität, hängt hauptsächlich von 2 Parametern ab, dem Fehler im Bragg-Winkel sowie der Leistung der RF-Frequenz [3]. In guter Näherung ergibt sich die Abhängigkeit zur normalisierten RF-Leistung  $P = P_{RF}/P_{sat}$  zu

$$\varepsilon \sim \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\sqrt{P}\right) \quad (5)$$

und die Abhängigkeit zu einem Fehler im Bragg-Winkel als Funktion des normalisierten Winkelfehlers  $\Delta = \delta/\theta_B$

oder der normalisierten Frequenzverstimmung  $F = f/f_0$  zu

$$\varepsilon \sim \text{sinc}^2\left(\frac{Q}{4}\Delta\right) \quad \text{bzw.} \quad \varepsilon \sim \text{sinc}^2\left(\frac{Q}{4}F(1-F)\right) \quad (6)$$

mit der Sättigungsleistung  $P_{\text{sat}}$  und dem Qualitätsfaktor  $Q$ . Beide Faktoren hängen vom Aufbau und Material des AOM ab.

### 3 Experimentaufbau und durchzuführende Messungen

Der experimentelle Aufbau besteht aus einem HeNe Laser bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 632.8\text{nm}$ . Dieser wird über 2 Spiegel auf den AOM gelenkt. Nach dem AOM wird in genügend großem Abstand, der die Trennung von 0. und 1. Ordnung ermöglicht, entweder der Winkelabstand dazwischen oder die Leistung der beiden Ordnungen mittels eines optischen Powermeters aufgenommen.

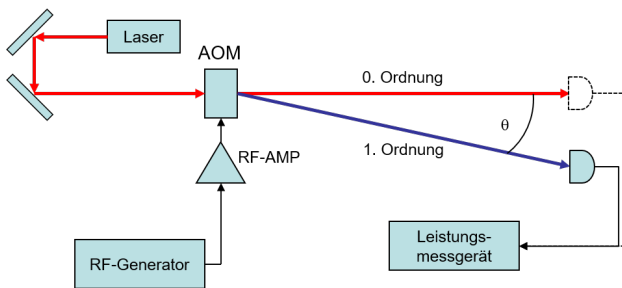


Figure 2: Experimenteller Aufbau

#### 3.1 Messung der elektronischen Komponenten und des optimalen Braggwinkels

In der ersten Messung soll der optimale Braggwinkel eingestellt und bestimmt werden. Berechnen sie zunächst die einzustellenden Werte in mVpp für die Ausgangsleistungen 500mW, 1W sowie 2W unter Verwendung von Ref. [4], um diese für die nachfolgenden Messungen immer parat zu haben.

Nun wird der AOM mit seiner zentralen RF-Frequenz (80MHz) und mit 1W Leistung betrieben. Nach der prinzipiellen Einkopplung des Strahls wird der Winkel des AOM so optimiert, dass die Leistung in der 1. Ordnung mithilfe des Powermeters maximiert wird. In genügend großer Entfernung (Nach Umlenkung über zwei weitere Spiegel) wird der Abstand zwischen 0. und 1. Ordnung gemessen, daraus der optimale Bragg-Winkel für 80MHz bestimmt und mit den Angaben aus dem Datenblatt verglichen [5].

#### 3.2 Messung der Intensitätsabhängigkeit und Bestimmung der Sättigungsleistung

Bestimmen sie zuerst die gesamte Leistung vor und nach dem AOM ohne RF-Leistung und berechnen sie die In-

sertion loss  $IL = 1 - P_{\text{out}}/P_{\text{in}}$ . Nun wird die RF-Leistung von 0 bis 2W durchgestimmt und jeweils die Leistung der 0. sowie 1. Ordnung aufgezeichnet. Berechnen sie  $\varepsilon$  als Funktion der Leistung und vergleichen sie die Messung mit der Theorie. Bestimmen sie die Sättigungsleistung  $P_{\text{sat}}$  durch einen geeigneten Fit.

#### 3.3 Messung der Frequenzabhängigkeit und Bestimmung des Qualitätsfaktors

Vor der Messung muss die RF-Leistung auf ca. 500mW reduziert werden. Nun wird die RF-Frequenz des AOM um seinen Designwert variiert und wiederum die Leistung der 1. Ordnung sowie der Abstand der 0. und 1. Ordnung aufgezeichnet. Bleiben sie dabei in einem Bereich zwischen 60 – 100MHz und wählen sie eine sinnvolle Schrittgröße (Testen sie vorher die Sensitivität auf Frequenzänderungen)! Vergleichen sie die aus der Messung gewonnenen Frequenzabhängigkeit von  $\varepsilon$  sowie den Braggwinkel  $\theta_B$  mit der Theorie und bestimmen sie experimentell den Qualitätsfaktor durch einen geeigneten Fit.

#### 3.4 Messung der Winkelabhängigkeit und Vergleich des Qualitätsfaktors

Nun wird der AOM wieder mit seiner zentralen RF-Frequenz (80MHz) betrieben! Verstellen sie den Winkel des AOM um seinen optimalen Wert in einem Bereich von  $\pm 1^\circ$  und zeichnen sie wiederum die Leistung der 1. Ordnung auf. Wählen sie wiederum eine sinnvolle Schrittgröße (Testen sie vor der eigentlichen Messung die Sensitivität auf Winkeländerungen)! Vergleichen sie die Messung mit der Theorie und prüfen sie ob der Qualitätsfaktor in dieser Messung mit dem aus der vorangegangenen Messung übereinstimmt.

#### 3.5 Messung der Winkelabhängigkeit der maximalen Beugungseffizienz

Vor der Messung muss die RF-Leistung auf ca. 500mW reduziert werden. Nun wird die RF-Frequenz des AOM wiederum im Bereich von 60 – 100MHz variiert, dieses mal wird aber bei jeder Frequenz der Braggwinkel neu eingestellt und optimiert. Zeichnen sie wiederum die Leistung der 1. Ordnung auf.

### 4 Protokoll

Das Protokoll sollte folgende Elemente enthalten:

- Theorie zum akustooptischen Modulator (Abbildung, wichtigste Zusammenhänge)
- Experimenteller Aufbau und verwendete Komponenten (kurz)
- Auswertung und Diskussion der Beugungseffizienz  $\varepsilon$  als Funktion der RF-Leistung, als Funktion der RF-Frequenz und als Funktion des Winkelfehlers  $\Delta$

- Auswertung und Diskussion der zu bestimmenden Werte  $IL$ ,  $\theta_B$  (bei 80MHz),  $P_{sat}$  sowie  $Q$  inklusive Fehlerangabe

Die Theorie sollte die Grundlagen und Erklärungen beinhalten, sodass alle Graphen im Protokoll verstanden werden können d.h. es muss z.B. anschaulich erklärt werden wieso ein Fehler im Bragg-Winkel zu einer Reduktion der Beugungseffizienz führt.

## 5 Vorbereitung

Zur Vorbereitung müssen abseits dieser kurzen Übungsanleitung weitere Quellen verwendet werden. Refs. [2],[3],[4],[5] sind via OLAT verfügbar, Ref. [1] kann als ebook über das Uni-Netzwerk (bzw. VPN) heruntergeladen werden. Die Vorbereitung ist ausreichend, wenn folgende Fragen zufriedenstellend (d.h. inkl. der wichtigsten Formeln und mithilfe von Abbildungen) beantwortet werden können:

- Woher kommt die Bragg-Bedingung?
- Wie funktioniert ein AOM?
- Wieso hängt die Beugungseffizienz von der RF-Leistung ab?
- Wieso funktioniert die Bragg-Beugung auch knapp neben dem idealen Bragg-Winkel?
- Woher kommt die Begrenzung der RF-Bandbreite eines AOM?
- Welchen qualitativen Unterschied gibt es, wenn man einen kollimierten oder einen fokkusierte Laserstrahl in den AOM schickt?

## References

- [1] Fundamentals of Photonics, Saleh, Bahaa E. A and Teich, Malvin Carl, (2019), Chapter 20 ebook
- [2] Application Note AN0510 ISOMET (OLAT)
- [3] Application Note IM1022 ISOMET (OLAT)
- [4] ZHL-1-2W+ Datasheet (OLAT)
- [5] Gootch and Housego 3080-125 Datasheet (OLAT)