

## Pockels-Effekt: Informationsübertragung mit moduliertem Licht

### Versuchsziele

- Modulation von Licht mit Hilfe einer Pockelszelle.
- Demonstration der Tonübertragung mit moduliertem Licht.
- Untersuchung des Einflusses des Arbeitspunktes auf die Modulation.

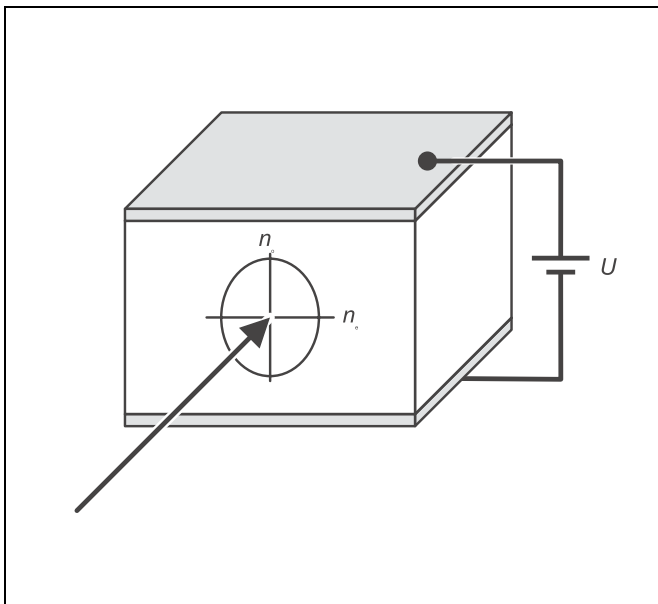
### Grundlagen

#### Pockels-Effekt

Das Auftreten von Doppelbrechung bzw. die Änderung bereits vorhandener Doppelbrechung in einem elektrischen Feld linear mit der elektrischen Feldstärke bezeichnet man als *Pockels-Effekt*.

Man spricht von einer transversalen Konfiguration der Pockelszelle, wenn die Richtung des Lichtstrahls und die optische Achse der Doppelbrechung senkrecht aufeinander stehen (siehe Fig. 1). Das elektrische Feld wird in Richtung der optischen Achse angelegt. Für Pockelszellen in transversaler Konfiguration kommt am häufigsten Lithiumniobat ( $\text{LiNbO}_3$ ) zur Anwendung.

Kristalle aus Lithiumniobat sind optisch einachsig, negativ doppelbrechend mit den Hauptbrechzahlen  $n_o = 2,29$  für den ordentlichen und  $n_e = 2,20$  für den außerordentlichen Lichtstrahl (gemessen bei der Wellenlänge des He-Ne-Lasers  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ ).



#### Doppelbrechung im parallelen Strahlengang

Der doppelbrechende Kristall wird mit linear polarisiertem, parallelen Laserlicht beleuchtet. Die optische Achse des Kristalls ist um  $45^\circ$  gegen die Polarisation des einfallenden Lichtes gedreht. Als Analysator dient ein Polarisationsfilter unter  $0^\circ$ .

Der Gangunterschied zwischen ordentlichem und außerordentlichem Teilstrahl beträgt

$$\Delta = d \cdot (n_o - n_e) \quad (I),$$

wobei  $d = 20 \text{ mm}$  die Dicke des Kristalls in Strahlrichtung ist. Der Gangunterschied entspricht etwa 2800 Wellenlängen des verwendeten Laserlichts. Allerdings ist  $\Delta$  im allgemeinen nicht genau ein ganzzahliges Vielfaches von  $\lambda$ , sondern wird vielmehr zwischen zwei Werten  $\Delta_m = m \cdot \lambda$  und  $\Delta_{m+1} = (m + 1) \cdot \lambda$  liegen.

Lichtstrahlen, für die die Differenz der optischen Wege des außerordentlichen und des ordentlichen Teilstrahls im Kristall ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist ( $\Delta = m \cdot \lambda$ ), behalten nach dem Durchgang durch den Kristall ihre ursprüngliche lineare Polarisation und passieren den Analysator. Wenn die Differenz um eine halbe Wellenlänge größer ist ( $\Delta = (m+1/2) \cdot \lambda$ ), entsteht nach dem Kristall ebenfalls linear polarisiertes Licht, aber mit einer um  $90^\circ$  gedrehten Polarisation. Dieses wird vom Analysator absorbiert. Zwischenwerte der Weglängen-Differenz ergeben zirkular polarisiertes Licht, das teilweise absorbiert wird.

Der *Pockels-Effekt* vergrößert oder verkleinert die Differenz der Hauptbrechzahlen  $n_o - n_e$  je nach Vorzeichen der angelegten Spannung. Dadurch ändert sich die Differenz  $\Delta - m \cdot \lambda$  und somit auch die Intensität des Lichtes hinter dem Analysator. Wird die sogenannte Halbwellenspannung  $U_\pi$  angelegt, ändert sich  $\Delta$  um eine halbe Wellenlänge und die Lichtintensität z. B. von hell nach dunkel. Bei Variation der Spannung  $U$  findet man so eine regelmäßige Zu- bzw. Abnahme der Lichtintensität (siehe Fig 2, Seite 2).

Fig. 1 Schematische Darstellung einer Pockelszelle in transversaler Konfiguration

**Geräte**

1 Pockelszelle . . . . .	472 90
1 Hochspannungsnetzgerät, 10 kV . . . . .	521 70
1 Funktionsgenerator P . . . . .	522 56
1 Satz 6 Sicherheits-Adapterbuchsen . . . . .	500 98
1 He-Ne-Laser, linear polarisiert . . . . .	471 840
1 Polarisationsfilter . . . . .	472 401
1 Optische Bank mit Normalprofil, 1 m . . . . .	460 32
4 Optikreiter, H = 60 mm, B = 36 mm . . . . .	460 353
1 Fotoelement STE 2/19 . . . . .	578 62
1 Halter für Steckelement . . . . .	460 21
1 AC/DC Verstärker 30 W . . . . .	522 61
1 Breitbandlautsprecher . . . . .	587 08
1 Sockel . . . . .	300 11
1 Sicherheits-Experimentierkabel, rot . . . . .	500 641
1 Sicherheits-Experimentierkabel, blau . . . . .	500 642
2 Sicherheits-Experimentierkabel, 50 cm . . . . .	500 621
2 Paar Kabel 100 cm, rot und blau . . . . .	501 46

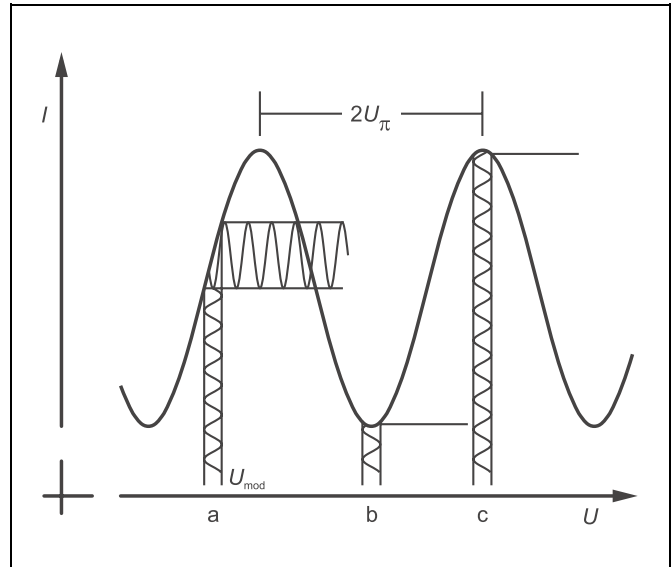


Fig. 2 Variation der Intensität  $I$  des transmittierten Lichts mit der Hochspannung  $U$  an der Pockelszelle und Modulation an drei verschiedenen Arbeitspunkten a, b und c.

**Modulation**

Überlagert man der Gleichspannung am Kristall eine Wechselspannung aus dem Funktionsgenerator mit einigen Volt Amplitude, so ändert sich die Doppelbrechung des Kristalls und damit auch die Intensität des transmittierten Lichtes geringfügig mit der Wechselspannung. Die Lichtintensität wird mit dem Signal des Funktionsgenerators moduliert und überträgt so Informationen über große Strecken. Zum Empfang wird die Lichtintensität mit einer Solarzelle gemessen. Die Variation der Intensität wird verstärkt und hörbar gemacht.

Je nach Auswahl der anliegenden Gleichspannung führt die Wechselspannung zu mehr oder weniger großen Änderungen der Lichtintensität, wie aus Fig. 2 zu ersehen ist. Die Wahl der Gleichspannung bestimmt den Arbeitspunkt. Die Änderung der Lichtintensität ist proportional zur Ableitung der Kurve an

der gewählten Stelle. Sowohl im Lichtminimum (Arbeitspunkt b) als auch im -maximum (Arbeitspunkt c) ist der Effekt der Modulation somit gering. Bei halber Lichtintensität (Arbeitspunkt a) ist dagegen die Modulation maximal und damit das empfangene Signal am lautesten.

**Aufbau**

*Hinweise:*

*Messungen im abgedunkelten Raum durchführen.*

*Stiele der optischen Geräte nicht ganz in den Optikreitern aufsitzen lassen, damit Feinjustierung in der Höhe möglich ist.*

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 3 dargestellt.

**Aufstellung der optischen Komponenten:**

- He-Ne-Laser, Pockelszelle und Polarisationsfilter montieren; Laser vorsichtig drehen und in der Höhe verstellen, bis die Pockelszelle optimal durchstrahlt wird.
- Fotoelement in den Halter für Steckelemente einsetzen und auf der Optischen Bank montieren.
- Zeiger der Pockelszelle und des Polarisationsfilter auf 0° stellen.

**Feinjustierung:**

- Laser, Pockelszelle und Fotoelement in der Höhe und Richtung nachjustieren, bis der Laserstrahl gut durch die Pockelszelle strahlt und den empfindlichen Teil des Fotoelementes trifft.
- Zeiger der Pockelszelle auf +45° oder -45° einstellen, der Zeiger des Polarisationsfilters bleibt bei 0°.

**Elektrischer Anschluss:**

- Sofern noch nicht vorhanden, zwei Sicherheits-Adapterbuchsen am Ausgang des Funktionsgenerators P montieren, um die Sicherheits-Experimentierkabel einstecken zu können.

Die Hochspannung wird dem linken Ausgang (max. 100  $\mu$ A) des Hochspannungsnetzteils entnommen, die Verkabelung erfolgt mit Sicherheits-Experimentierkabeln.

**Sicherheitshinweise**

Der He-Ne-Laser genügt den „Sicherheitstechnischen Anforderungen für Lehr-, Lern- und Ausbildungsmittel – Laser; DIN 58126 Teil 6“ für Laser der Klasse 2. Bei Beachtung der entsprechenden Hinweise in der Gebrauchsanweisung ist das Experimentieren mit dem He-Ne-Laser ungefährlich.

- Nicht in den direkten oder reflektierten Laserstrahl blicken.
- Überschreiten der Blendungsgrenze vermeiden (d.h. kein Beobachter darf sich geblendet fühlen).

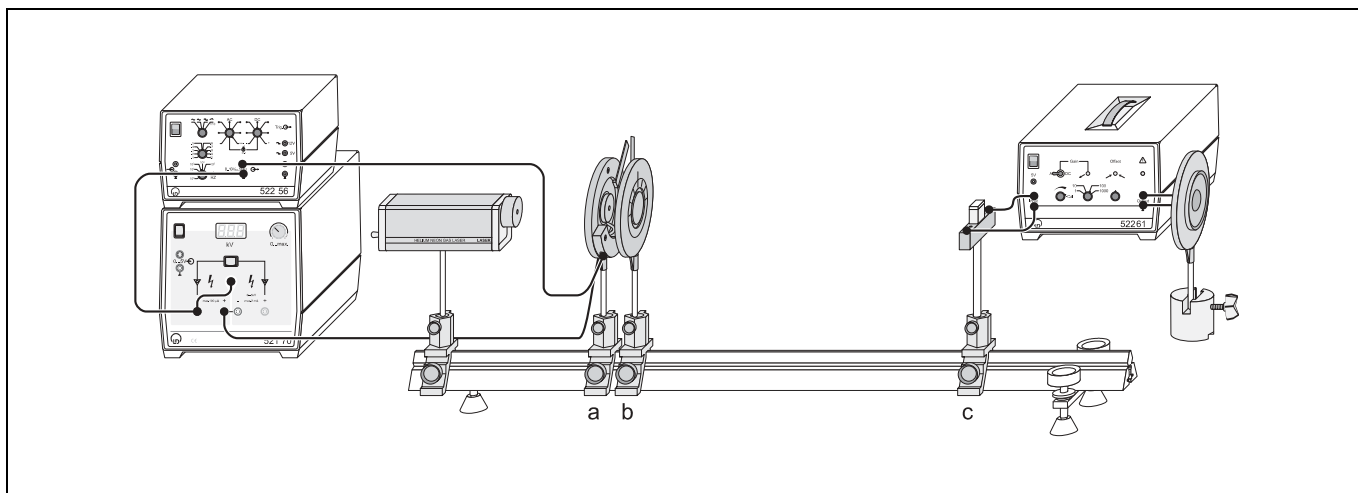


Fig. 3 Versuchsaufbau zur Demonstration der Signalübertragung mittels Pockels-Effekt

- a Pockelszelle (Zeigerstellung:  $\pm 45^\circ$  zum Analysator)  
 b Polarisationsfilter als Analysator (Zeigerstellung:  $\pm 0^\circ$  zur Polarisationsrichtung des Lasers)  
 c Fotoelement als Detektor auf Halter.

- Minus-Buchse mit Erdbuchse verbinden. Von der so geerdeten Minusbuchse eine Leitung zum Masseanschluss des Funktionsgenerators P legen (erdnahe Anschluss). Den Ausgang des Funktionsgenerators mit dem negativen Anschluss (blau) der Pockelszelle verbinden. Den positiven Anschluss der Pockelszelle mit dem positiven Anschluss des Hochspannungsnetzteils verbinden.
- Zum Anschluss des Fotoelementes zwei Kabel neben das Element in den Halter für Steckelemente stecken. Diese dann zum Eingang des AC/DC Verstärkers führen. Den Ausgang des AC/DC Verstärkers mit dem Lautsprecher verbinden.
- Potentiometer des Hochspannungsnetzgerätes zum linken Anschlag drehen, Hochspannungsnetzgerät einschalten und mit dem Wahlschalter den linken Ausgang aktivieren.
- Funktionsgenerator einschalten, zunächst die Ausgangsamplitude (AC) auf Null stellen.

Weitere Einstellungen:

Kurvenform: Sinus  
 Frequenz: 800 Hz  
 DC in Mittelstellung

- AC/DC Verstärker einschalten, folgende Einstellungen wählen:

AC Gain: 100,  
 also linker Drehknopf auf CAL.,  
 mittlerer auf 100  
 Offset: in Mittelstellung

## Durchführung

### a) Empfang des modulierten Signals:

- Die Hochspannung so einstellen, dass der Laserstrahl auf dem Fotoelement mittlere Helligkeit aufweist, nicht auf maximale Helligkeit einstellen.
- Die Ausgangsamplitude des Funktionsgenerators P auf Maximum einstellen.

Im Lautsprecher wird das Signal des Funktionsgenerators hörbar.

- Durch Veränderung der Frequenz und der Kurvenform (Sinus, Dreieck, Rechteck) zeigen, dass wirklich das Signal des Funktionsgenerators übertragen wird.
- Durch Unterbrechen des Lichtstrahls mit der Hand zeigen, dass das Signal durch das Licht übertragen wird und nicht auf anderem Wege, z. B. durch elektrische Störungen.

### b) Einfluss des Arbeitspunktes auf die Modulation:

- Durch Variation der Hochspannung ein Minimum der Lichtintensität aufsuchen.

Das übertragene Signal wird leiser.

- Ein benachbartes Lichtminimum aufsuchen.

Die Differenz der Hochspannungen ist die doppelte Halbwellenspannung ( $2 U_\pi$ ).

- Durch Variation der Hochspannung um eine Halbwellenspannung ein Maximum der Lichtintensität aufsuchen.

Auch hier ist das übertragene Signal nicht zu hören. Die Lichtintensität ist zwar hoch, aber die Modulation gering.

- Die Hochspannung um die Hälfte der Halbwellenspannung verändern.

Es ergibt sich eine mittlere Helligkeit des Lichtes. Da nun der Arbeitspunkt bei maximaler Steigung liegt, ist das empfangene Signal am lautesten.

## Messbeispiel und Auswertung

### a) Empfang des modulierten Signals:

Die Ausgangsspannung des Funktionsgenerators führt zu einer Änderung der Lichtintensität. Diese wird von dem Fotoelement empfangen und im Verstärker hörbar gemacht. Wenn der Lichtstrahl unterbrochen wird, verstummt auch der Lautsprecher.

### b) Einfluss des Arbeitspunktes auf die Modulation:

Wie in Fig. 2 dargestellt ändert sich die Modulation des Lichts und damit die Lautstärke des empfangenen Signals proportional zur Ableitung der Lichtintensität  $I$  nach der Spannung  $U$ , nicht jedoch proportional zur Lichtintensität. Bei maximaler Lichtintensität (Arbeitspunkt c) ist kein Signal hörbar, da im Maximum die Ableitung der Lichtintensität nach der Spannung Null ist.

