

8.3. Elektrooptische Elemente

Die elektrooptischen Elemente sind in der Laser-Technik von großer Bedeutung, da sie es ermöglichen, Laser-Licht durch elektrische Felder zu beeinflussen, also zu modulieren und zu schalten. Die Wirkungsweise der zwei wichtigsten Elemente soll kurz erläutert werden.

8.3.1. Kerr-Zelle

Flüssigkeiten sind optisch isotrop (Fig. 8-10). Es gibt für das Licht keine Vorzugsrichtungen, obwohl die Moleküle, aus denen die Flüssigkeiten bestehen, sehr wohl anisotrop sein können. Der Grund ist der, daß in einer Flüssigkeit die Moleküle relativ frei beweglich sind und ihre Vorzugsrichtungen daher statistisch verteilt sind. Die Anisotropie macht sich nach außen nicht bemerkbar.

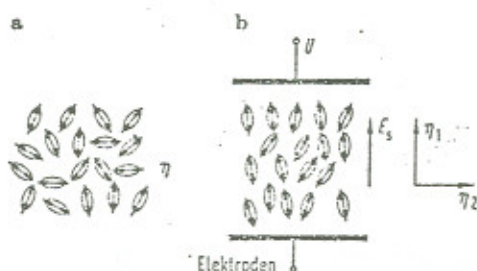


Fig. 8-10. Kerr-Effekt an Flüssigkeiten. a) Eine Flüssigkeit, die aus anisotropen Molekülen besteht, zeigt trotzdem keine optische Anisotropie, da die Vorzugsrichtungen der Moleküle statistisch verteilt sind. b) Durch ein elektrisches Feld E_s werden die Moleküle ausgerichtet, und die Flüssigkeit wird optisch anisotrop. Es treten zwei Brechungsindizes η_1 , η_2 für die beiden Polarisationsrichtungen des Lichtes senkrecht und parallel zum angelegten Feld auf.

In einem elektrischen Feld dagegen erfolgt eine Ausrichtung der Moleküle, und die Flüssigkeit wird anisotrop. Der Brechungsindex η der Flüssigkeit für Licht, welches parallel zum angelegten Feld schwingt, ist ein anderer (η_1) als für Licht, welches senkrecht zum Feld schwingt (η_2). Die Flüssigkeit ist doppelbrechend geworden und verhält sich wie ein einachsig doppelbrechender Kristall (Abschn. 6.2.3).

Mit zunehmender Feldstärke E_s (also mit zunehmender Spannung U an den Elektroden) wird die Ausrichtung der Moleküle besser und die Brechungsindex-Differenz nimmt zu. Es gilt:

$$\eta_1 - \eta_2 = k \cdot U^2$$

Die Brechungsindex-Differenz ist proportional dem Quadrat der angelegten Spannung. Dieses Verhalten von Flüssigkeiten wird Kerr-Effekt oder auch wegen der obigen Beziehung quadratischer elektrooptischer Effekt genannt und tritt bei allen Flüssigkeiten auf, deren Moleküle anisotrop sind. Einen sehr starken Kerr-Effekt zeigt z. B. Nitrobenzol.

Angelegte Spannung und Länge des Lichtweges in der Flüssigkeit können nun so gewählt werden, daß sich die anisotrope Flüssigkeit wie ein $\lambda/4$ -Blättchen verhält. Wird linear polarisiertes Licht eingestrahlt, dessen Polarisationsrichtung einen Winkel von 45° mit der Richtung des angelegten Feldes E_s bildet, so dreht die Flüssigkeit die Polarisationsrichtung des Lichtes um 90° (Abschn. 8.2).

Damit liegt ein Element vor, mit welchem Licht durch eine elektrische Spannung beeinflusst werden kann. Das Prinzip eines solchen Modulationselementes ist in Fig. 8-11 skizziert.

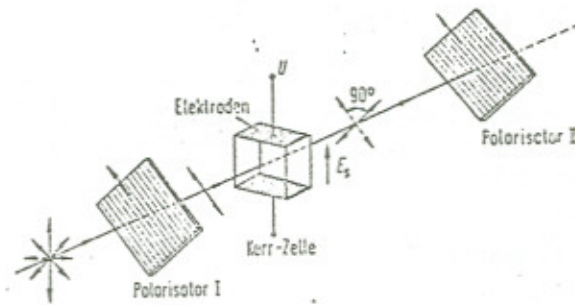


Fig. 8-11. Elektrooptischer Modulator. Der Polarisator I polarisiert das Licht derart, daß seine Polarisationsrichtung einen Winkel von 45° mit der Feldrichtung E_s bildet. Die Kerr-Flüssigkeit dreht dann die Polarisationsrichtung um 90° , und der Polarisator II sperrt das Licht. Wird die Spannung ausgeschaltet, so erfolgt keine Drehung der Polarisationsrichtung und das Licht kann ungehindert hindurch. An- und Ausschalten der Spannung bedeutet eine Durchlässigkeit der gesamten Anordnung von null oder eins.

Unpolarisiertes Licht fällt auf einen Linearpolarisator und wird derart polarisiert, daß die Polarisationsrichtung einen Winkel von 45° mit der Richtung des angelegten Feldes E_s bildet. Die Kerr-Flüssigkeit dreht die Polarisationsrichtung um 90° . Anschließend ist wieder ein Linearpolarisator angebracht, der so gerichtet ist, daß das Licht nicht hindurchgelassen wird.

Liegt kein Feld an der Kerr-Zelle, so wird die Polarisationsrichtung des Lichtes auch nicht gedreht, und es kann durch den zweiten Polarisator ungehindert hindurchtreten. Durch An- und Ausschalten der Spannung U kann somit das Licht ein- und ausgeschaltet oder auch periodisch moduliert werden.

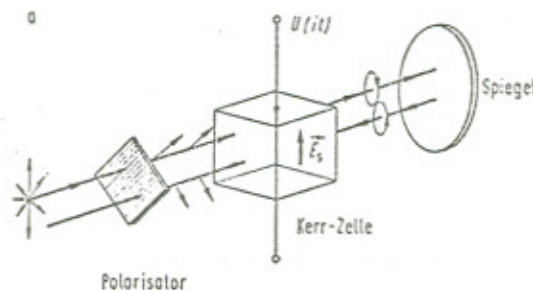
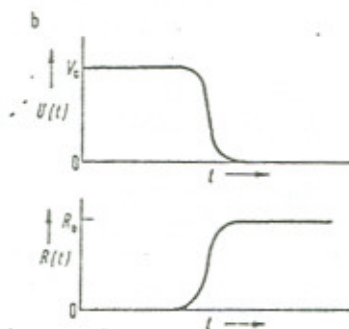


Fig. 8-12. Optisches Element mit variablem Reflexionsgrad. a) Der Polarisator polarisiert das einfallende Licht. Die Kerr-Zelle zusammen mit dem Spiegel dreht die Polarisationsrichtung bei angelegter Spannung um 90° . Das derartig polarisierte Licht wird vom Polarisator nicht hindurchgelassen. Die gesamte Anordnung polarisiert nicht. Erst wenn die Spannung an der Kerr-Zelle abgeschaltet wird, findet volle Reflexion der Anordnung statt. b) Prinzipieller zeitlicher Verlauf von Spannung $U(t)$ an der Kerr-Zelle und Reflexion $R(t)$ der gesamten Einheit.



Die Kombination einer Kerr-Zelle mit einem Spiegel liefert ein optisches Element, dessen Reflexionsgrad variabel ist. Bei der Erzeugung kurzer Lichtimpulse (Q-Switch) wird z. B. ein derartiges Element benötigt. Der prinzipielle Aufbau ist in Fig. 8–12 skizziert. Der Polarisator erzeugt linear polarisiertes Licht. Länge der Kerr-Zelle und angelegte Spannung werden jetzt so gewählt, daß das linear polarisierte Licht in rechtszirkulares umgewandelt wird. Bei der Reflexion am Spiegel wird die Zirkularität umgedreht, und es entsteht linkszirkulares Licht. Diese Polarisationsart wird von der Kerr-Zelle wieder in linear polarisiertes Licht umgewandelt, dessen Polarisationsrichtung jedoch senkrecht auf der ursprünglichen steht und daher vom Polarisator nicht hindurchgelassen wird. Die gesamte Anordnung reflektiert nicht. Erst wenn die Spannung an der Kerr-Zelle abgeschaltet wird und keine Drehung erfolgt, kommt die Reflexion des Spiegels zur Geltung. Damit liegt ein optisches Element vor, dessen Reflexionsgrad durch die Spannung an der Kerr-Zelle gesteuert und sehr schnell (in 10^{-8} s) verändert werden kann.

8.3.2. Pockels-Zelle

Der Kerr-Effekt tritt nicht nur bei Flüssigkeiten auf, sondern auch bei Kristallen. Ein Beispiel hierfür ist der KDP-Kristall, der auch als nichtlinearer Kristall für die Frequenzverdopplung von Bedeutung ist. Dieser Kristall ist bereits von Natur aus doppelbrechend. Es gibt jedoch eine Vorzugsrichtung, bei der sich die Doppelbrechung nicht bemerkbar macht, nämlich dann, wenn das Licht in Richtung der optischen Achse den Kristall durchläuft.

Wird nun in Richtung der optischen Achse ein elektrisches Feld angelegt, so tritt auch hier eine Doppelbrechung auf (Fig. 8–13). Die beiden kristallographischen Achsen a und b des KDP-Kristalls sind nicht mehr gleichberechtigt, sondern der Brechungsindex für Licht, welches parallel zur Achse a polarisiert ist, unterscheidet sich von dem Brechungsindex für Licht, welches parallel zur Achse b polarisiert ist. Es gilt

$$\eta_1 - \eta_2 = k \cdot U$$

Die Brechungsindex-Differenz wächst linear mit der angelegten Spannung. Daher wird dieser Effekt linearer elektrooptischer Effekt oder nach seinem Entdecker auch Pockels-Effekt genannt.

Ein elektrooptischer Kristall kann in gleicher Weise wie die Kerr-Flüssigkeit für die Lichtmodulation eingesetzt werden.

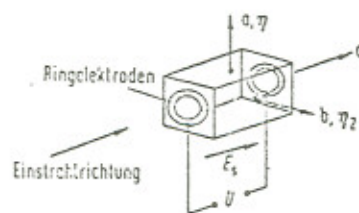


Fig. 8–13. Der KDP-Kristall als elektrooptisches Element. Der KDP-Kristall ist einachsiger doppelbrechend, d. h. in Richtung der optischen c -Achse tritt keine Doppelbrechung auf (Abschn. 6.2.3). Die beiden kristallographischen Achsen a und b sind gleichberechtigt. Wird jedoch in Richtung der c -Achse eine Spannung angelegt, so tritt eine zusätzliche Anisotropie auf. Die Brechungsindizes für die beiden Richtungen a und b sind verschieden.

