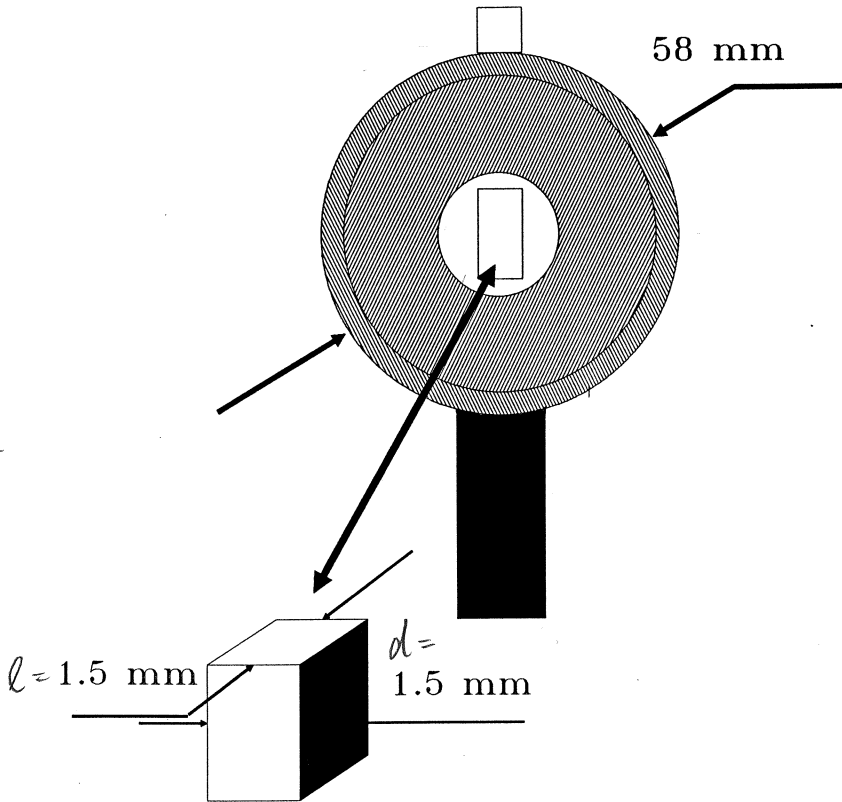


Laser Beam Modulator



PLZT active element

CONATEX-DIDACTIC Lehnmittel GmbH
Postfach 1407 D-66514 Neunkirchen

Telefon: 06821-4346
Telefax: 06821-4411

Laser Beam Modulator

- Active Element:** - transparent electrooptic PLZT ceramics
- Mode of Operation:** - Kerr effect - transversal quadratic electrooptic effect
- Advantages:**
- broad transparency range
 - small size
 - simple adjusting and operating
 - low operating voltages
 - high fidelity
 - low price
- Disadvantages:**
- compared with modulators using single crystals - not so high optical homogeneity in the short wavelength region
- Application:**
- laser beam phase or amplitude modulation used in science, industry, medicine, e.t.c.
 - Kerr effect demonstration in schools and universities

Technical Characteristics

<i>Transparency range</i>	0.4-5.6 μm <i>excluding</i>
<i>Optical losses</i>	less than 20 % (Fresnel losses)
<i>Aperture</i>	1.5 mm
<i>Half-wave voltage*</i>	400-1000 V
<i>Switching speed*</i>	0.1-10 μs
<i>Length of active element in direction of laser beam</i>	1.5 mm

* characteristics can be varied by changing the composition of PLZT ceramics

CONATEX
D-I-D-A-C-T-I-C
Lehrmittel GmbH

Experimentiergeräte für Naturwissenschaft und Technik

Postfach 1407 · D-66514 Neunkirchen
Rombachstraße 65 · D-66539 Neunkirchen
Tel.: 0 68 21 / 43 46 · Fax: 0 68 21 - 44 11 · Telex: 444851 CODID

LASER BEAM MODULATOR

Designed

on electrooptic PLZT ceramics having the following advantages

- * large electrooptic coefficients
- * low operation voltages
- * low cost

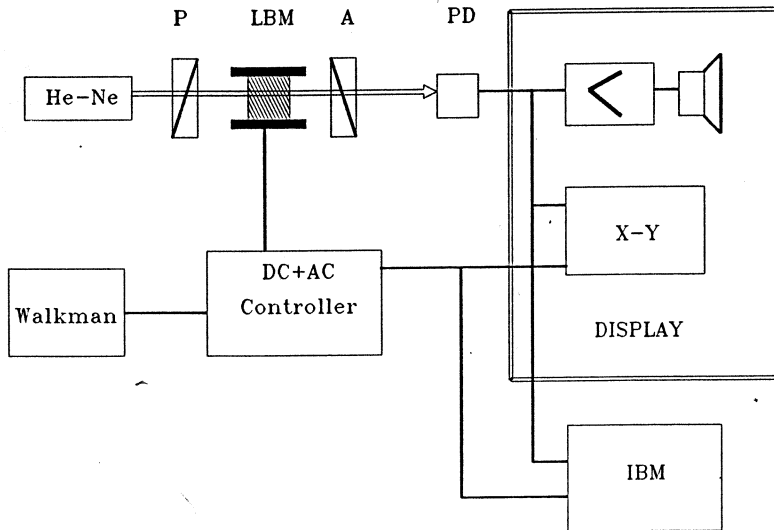
Application in Didactics

demonstration of

- * Kerr effect
- * principles of signal transmission by laser beam

Experimental Set-Up

for demonstrations



- LBM - laser beam modulator
(technical characteristics added)
- He-Ne - He-Ne laser (1-5 mW)
beam diameter 1-1.5 mm
- P, A - polarizator and analysator
- DC+AC Controller - laser beam modulator control unit
producing DC voltage (bias) and
AC modulation voltage
(technical characteristics added)
- Walkman - audio signal source
"Walkman" type cassette recorder
(output level 0.5 V)
- DISPLAY - * X-Y display for Kerr effect
demonstration
* AC amplifier with speaker for
audio signal transmission
demonstration
- IBM - computer (IBM or compatible) for
displaying and processing of data

Experimente zu elektrooptischen Effekten mit einer optischen Keramik

Von Heinrich Ofer, Hans-Jörg Jodl, Georg Theysohn

1. Einleitung: Mängel des Schulexperiments zum Kerreffekt

Zur Behandlung elektrooptischer Effekte nimmt der Versuch mit der schulüblichen *Kerrzelle* geradezu eine Schlüsselstellung ein, weil es bisher kaum eine Alternative dazu gab. Auf den ersten Blick mag es deshalb verwundern, daß *Schmalenberg* [1] in einer Umfrage an rheinland-pfälzischen Gymnasien zu dem Ergebnis kam, daß ca. 15% der Physiklehrer das Experiment noch nie durchgeführt hatten, obwohl das Thema im Lehrplanentwurf zum verbindlichen Umfang gehört. Die geringe Beliebtheit des Versuchs ist jedoch leicht einzusehen, kostet es doch einige Überwindung, ihn anzugehen. Dies liegt noch nicht einmal so sehr an der Vorbereitungszeit, die immerhin eine Stunde beträgt; das eigentlich Unangenehme ist der Umgang mit dem giftigen Nitrobenzol, mit dem die *Kerrzelle* vor dem Versuch gefüllt werden muß. Sowohl die Hautresorption als auch das Einatmen der bittermandelartig riechenden Dämpfe können eine Vergiftung verursachen. Das Risiko freiwerdender Dämpfe nimmt mit fortschreitender Versuchsdauer wegen der Wärmeentwicklung zu. Bei erhöhter Temperatur bilden die Dämpfe zudem mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch. Schließlich bereitet noch die spätere Reinigung der Zelle einige Arbeit, da das Nitrobenzol nicht in der *Kerrzelle* verbleiben darf und beim Umfüllen stets die Gefahr der Hautresorption besteht. Mögliche Reaktionen mit organischen Verbindungen müssen bei der Auswahl von Geräten und Einrichtungsgegenständen berücksichtigt werden; Nitrobenzol ist insbesondere ein gutes Lösungsmittel für verschiedene Natur- und Kunstharze. Im gewerblichen Bereich empfehlen die „Merkblätter für gefährliche Arbeitsstoffe“ [2] sogar flammensichere Kleidung, Handschuhe aus PVC, Schutzbrille und evtl. Atemschutzfilter.

Ein weiterer Mangel des Experiments ist sein ausgesprochen qualitativer Charakter. Es wird augenscheinlich die Aufhellung hinter einem Analysator bei Anlegen einer Spannung beobachtet. Eine quantitative Auswertung ist nicht vorgesehen. Dem Lehrplananspruch mag dies gerecht werden, dennoch bleibt für eine weiterführende Behandlung der Wunsch nach einer quantitativen Aufgabenstellung. *Wildner* [3] hat bereits eine Möglichkeit aufgezeigt, die *Kerrkonstante* quantitativ mit Hilfe der *Kerrzelle* zu bestimmen. Als Ergänzung sieht er die Beobachtung einer Temperaturabhängigkeit vor, wobei aber erneut die Dampfentwicklung von Nitrobenzol einem Experiment enge Grenzen setzt.

In diesem Zusammenhang wollen wir im folgenden Ansätze vorschlagen, mit denen man den *Kerreffekt* einer neuen, verbesserten und erweiterten Untersuchung öffnen kann. Es war unser Ziel, das *Kerrexperiment* ähnlich unproblematisch zu gestalten wie die Demonstration des magneto-optischen (*Faraday*-)Ef-

fekts. Dem dort verwendeten Bleiglasstab sollte eine optische Keramik entsprechen, und diese sollte zusätzlich in einen geeigneten Halter mit elektrischen Anschlußmöglichkeiten eingebettet werden, um ein einfaches Hantieren und Justieren beim Versuch zu gewährleisten. Die Hauptidee hierbei ist also, das Nitrobenzol durch einen anderen ungiftigen Stoff zu ersetzen und dadurch Versuchsbedingungen zu schaffen, die das Experiment ferner einer umfangreichen, auch quantitativen Auswertung zugänglich machen. Wir werden zeigen, daß sich im Gefolge eine Reihe von Möglichkeiten zur experimentellen Behandlung weiterer elektrooptischer Phänomene ergeben, die nicht nur den „transversalen“, sondern auch den „longitudinalen“ elektrooptischen Effekt betreffen.

2. Optische Keramik als Alternative zu Nitrobenzol

2.1 Eigenschaften optischer Keramik

Bei der Substanz, die hier das Nitrobenzol ablösen soll, handelt es sich um ein Ferroelektrikum, und zwar um eine sog. optische Keramik, deren Transparenz für Licht durch den Einfluß elektrischer Felder variiert werden kann. Genauer gesagt verwendeten wir mit Lanthan dotiertes Blei-Zirkonat-Titanat ($\text{Pb}[\text{Zr}, \text{Ti}] \text{O}_3$), kurz PLZT. Wie Nitrobenzol wird diese Substanz im elektrischen Feld doppelbrechend und verhält sich dann wie ein optisch einachsiger Kristall, dessen Achse mit der Feldrichtung übereinstimmt. Je nach Zusammensetzung zeigt PLZT einen mehr oder weniger ausgeprägten transversalen, quadratischen *Kerreffekt*, d. h. es ergeben sich unterschiedliche Brechungsindizes n_{\perp} und n_{\parallel} , je nachdem, ob hindurchtretendes Licht senkrecht oder parallel zum angelegten Feld polarisiert ist; die Differenz $\Delta n := |n_{\perp} - n_{\parallel}|$ erweist sich als proportional zum Quadrat der elektrischen Feldstärke E :

$$\Delta n = \frac{1}{2} \cdot n_{\perp}^3 \cdot R \cdot E^2 \quad ([4, \text{S. } 186])$$

Hierin ist R eine Konstante, genannt quadratischer elektrooptischer Koeffizient. Bekannt, hierzu aber völlig analog ist der entsprechende Zusammenhang für Nitrobenzol:

$$\Delta n = \lambda \cdot K \cdot E^2 \quad ([4, \text{S. } 185]),$$

worin K die sog. *Kerrkonstante* und λ die Wellenlänge des Lichts bezeichnet.

Damit läßt sich im Prinzip die mit Nitrobenzol gefüllte *Kerrzelle* durch eine PLZT-Platte ersetzen, mit der sich das bekannte Schulexperiment in gleicher Weise durchführen läßt. Aus linear polarisiertem Licht wird

auch beim Durchgang durch PLZT elliptisch polarisiertes Licht, solange ein elektrisches Feld senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichts anliegt; mit gekreuzten Polarisationsfiltern läßt sich dann in keiner Stellung mehr völlige Auslöschung erreichen.

Wo die Möglichkeiten des *Kerrexperiments* ausgeschöpft sind, bietet sich jedoch beim PLZT eine Reihe von Eigenschaften für eine weitergehende, quantitative Untersuchung an. Es läßt sich beispielsweise zeigen, daß die hinter dem Analysator austretende Intensität I_{aus} eine Funktion der elektrischen Feldstärke E ist! Setzt man nämlich δ_{\parallel} und δ_{\perp} für die Phasen zweier Lichtwellen, von denen eine parallel, die andere senkrecht zum angelegten elektrischen Feld linear polarisiert ist, so ist die Phasendifferenz beider Wellen:

$$\Delta = |\delta_{\parallel} - \delta_{\perp}| = \left| \frac{2\pi \cdot \Delta n \cdot d}{\lambda} \right|$$

(d : durchstrahlte Dicke der Keramik), und weiter

$$\Delta = \frac{\pi \cdot n_{\perp}^3 \cdot R \cdot E^2 \cdot d}{\lambda}$$

Es läßt sich nun sowohl theoretisch ([5, S. 463]) als auch experimentell zeigen, daß die austretende Intensität I_{aus} mit Δ über

$$I_{\text{aus}} = I_0 \cdot \sin^2 \frac{\Delta}{2}$$

zusammenhängt, worin I_0 die Intensität des Lichts unmittelbar nach Verlassen des Polarisators bezeichnet. Das bedeutet: mit zunehmender Transversalspannung, bzw. -feldstärke nimmt Δ und damit I_{aus} zunächst zu und erreicht bei $\Delta = \pi$ ein Maximum. Die dazugehörige Spannung wird als Halbwellenspannung V_{π} bezeichnet. Sowohl V_{π} als auch I_{aus} ganz allgemein sind von der Temperatur der Probe abhängig. Im Gegensatz zum Nitrobenzol gestattet PLZT quantitative Messungen von I_{aus} und V_{π} und von ihrer Temperaturabhängigkeit. Wir kommen konkret in Kap. 3 darauf zurück.

Neben dem transversalen elektrooptischen Effekt (Beeinflussung des Polarisationszustands hindurchtretenden Lichts bei zueinander senkrechten Feld- und Durchstrahlungsrichtungen) zeigt PLZT auch einen nachweisbaren longitudinalen elektrooptischen Effekt, der in einer Beeinflussung der Lichtstreuung durch ein elektrisches Feld besteht, das parallel zur Durchstrahlungsrichtung angelegt wird. Von besonderem experimentellem Reiz sind dabei die Erinnerungseigenschaften von PLZT. Als Abhängigkeit der Polarisation von der Stärke des anliegenden Felds ergibt sich nämlich eine Hysteresekurve (Abb. 1), und da der Brechungsindex in Richtung der optischen Achse, also jetzt parallel zum Feld, proportional zur Polarisation ist, ergibt sich auch für den Brechungsindex eine Hystereseschleife als Abhängigkeit von der Feldstärke. Ohne hierauf näher eingehen zu können, beeinflusst dies das Streuverhalten der Probe. Die In-

Abb. 1. Polarisation P in Abhängigkeit vom anliegenden elektrischen Feld: Hysteresekurve mit Anfangskurve A, Sättigungsbereich B, remanenter Polarisation D und Koerzitivfeldstärke F .

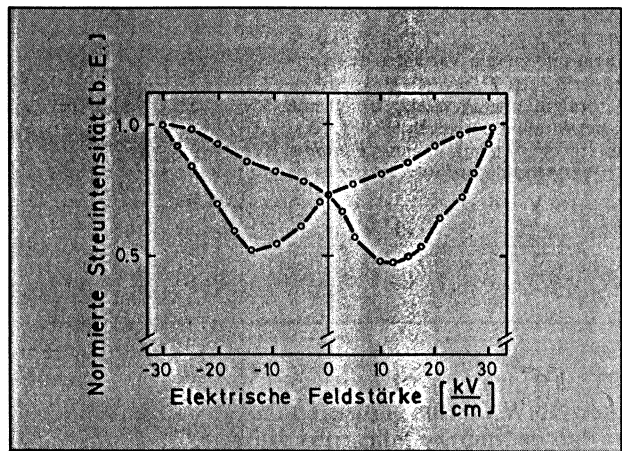
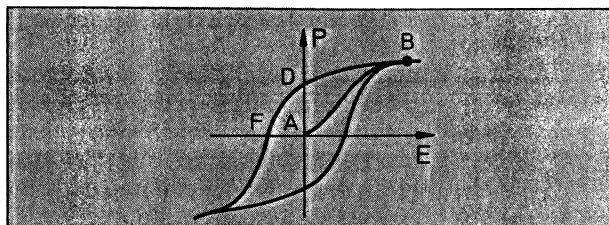


Abb. 2. In einen festen Winkelbereich gestreute Intensität in Abhängigkeit vom anliegenden elektrischen Feld an einer dünnen Schicht BaTiO₃ (aus [6])

tensität des in einen bestimmten Winkelbereich gestreuten Lichts ist dann ähnlich feldstärkeabhängig wie die Polarisation. Es ergeben sich Kurven wie beispielsweise die in Abb. 2 für Bariumtitanat BaTiO₃. Die Minima entsprechen Stellen minimaler Polarisation.

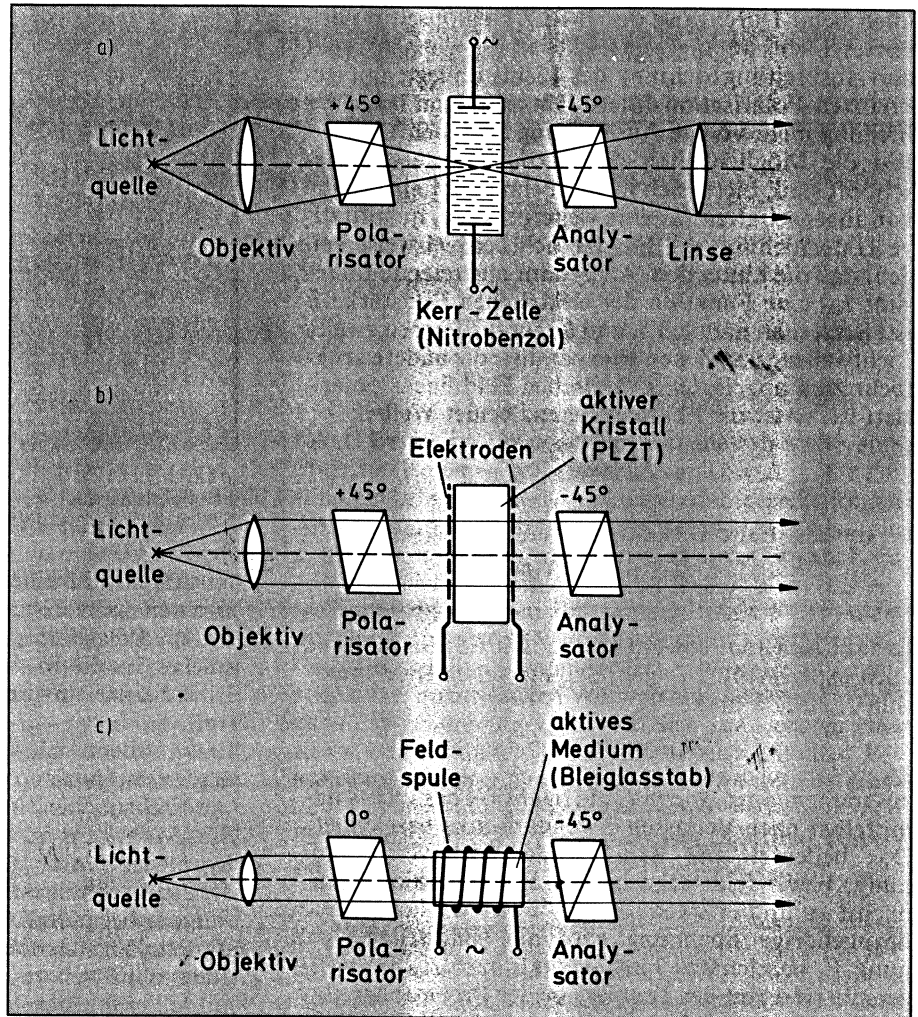
Entsprechende Messungen an PLZT sind daher geeignet, exemplarisch hystereseartige Zusammenhänge zu veranschaulichen, in diesem Fall die Abhängigkeit des Streuverhaltens von der „Vorgeschichte“. Reizvolle Erweiterungen finden solche Untersuchungen durch die Beobachtung zeitlich verzögerter Intensitätsänderungen: bei plötzlicher Einstellung bestimmter Feldstärken läßt sich über einen Zeitraum von etwa 25 Minuten ohne weitere Variation der Feldstärke eine stetige Änderung der Intensität feststellen, die auf eine langsame Änderung von Domänengrenzen im PLZT-Kristall hindeuten. Auch die Beobachtung des longitudinalen elektrooptischen Effekts läßt sich wieder temperaturabhängig durchführen.

2.2 Experimenteller Aufbau mit optischer Keramik

Wie wir schon angedeutet haben, ändert sich bei Verwendung von PLZT zum *Kerrexperiment* am Versuchsprinzip wenig. Lediglich wird die *Kerrezelle* durch eine Probe optischer Keramik ersetzt (Abb. 3 b). Die Abbildungen 3 a und 3 c zeigen die Analogien zum *Kerrexperiment* mit Nitrobenzol und zum *Faraday-Experiment* mit einem Bleiglasstab. Als Lichtquelle verwendeten wir des geringen Aufwands wegen einen He-Ne-Laser. Aufwendiger wird das Experiment allerdings im Bereich der Nachweisapparatur für quantitative Messungen. Möglich sind hierfür sowohl ein Photomultiplier (z. B. RCA P 28) als auch ein einfacher Phototransistor (z. B. BPX — 25) mit geeigneter Verstärkerschaltung. Der Betrieb des Photomultipliers erfordert naturgemäß zusätzlich ein Hochspannungsnetzgerät (800—1100 V) sowie ein Pikoamperemeter zur Messung des Photostroms. Da bei einigen der noch vorzustellenden Experimenten die Intensitätsänderungen den Linearitätsbereich des Phototransistors überschreiten, kann auf den Photomultiplier nicht immer verzichtet werden.

Eine Schwierigkeit stellt noch die Handhabung und Einbringung der zerbrechlichen Proben in den Aufbau dar. Dazu entwickelten wir einen speziellen Halter, der die Proben unverrückbar im Lichtweg festhält und einen elektrischen Anschluß der Probenelektro-

Abb. 3. Zur Analogie zwischen den Anordnungen zum *Faraday*-Experiment und zu den Varianten des *Kerr*-experiments. a) Schema eines Modulators mit einer *Kerr*-zelle; b) Schema eines Modulators mit optischer Keramik; c) Schema eines *Faraday*-Effekt-Modulators



den an nach außen führende Drahtverbindungen ermöglicht. Probe und Halter bilden dadurch eine leicht justierbare Einheit. Die Probeplättchen hatten eine Länge und Breite von ca. 5 mm und Dicken zwischen 0,3 und 0,8 mm, so daß nur aufgedampfte Elektroden in Frage kamen. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen das

Prinzip dieses Halters. In einer Plexiglasplatte mit Alu-Auflage ist ein Spalt ausgespart, über dem die Probe mit Federklammern befestigt wird. Je nach Versuchsprinzip fällt das Licht einmal zwischen den beiden Elektroden hindurch (Abb. 4), ein anderes Mal tritt es durch vorn und hinten auf die Probe aufge-

Abb. 4. Anordnungsprinzip zum transversalen elektrooptischen Effekt. Oben: Probe mit einseitig aufgedampften, durch einen Spalt getrennten Elektroden; unten: Probe im Halter.

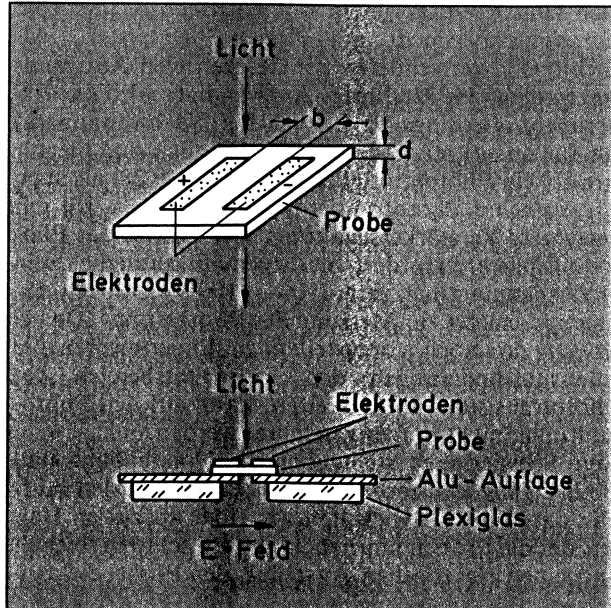


Abb. 5. Anordnungsprinzip zum longitudinalen elektrooptischen Effekt. Oben: Probe mit beidseitig aufgedampften, transparenten Elektroden; unten: Probe im Halter.

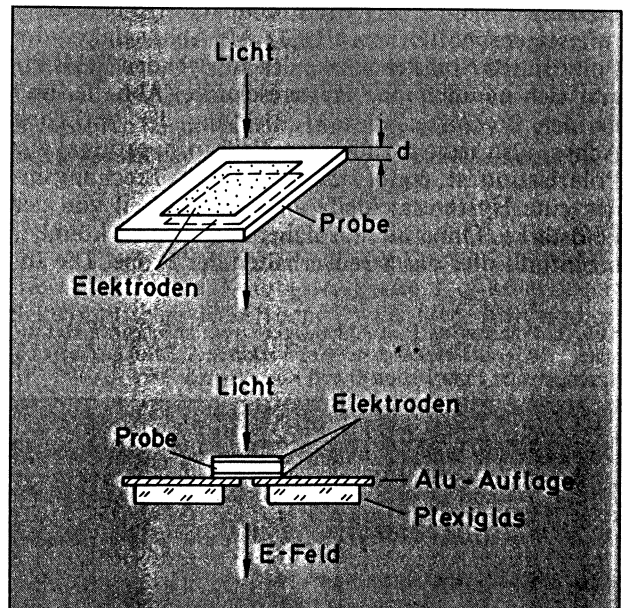
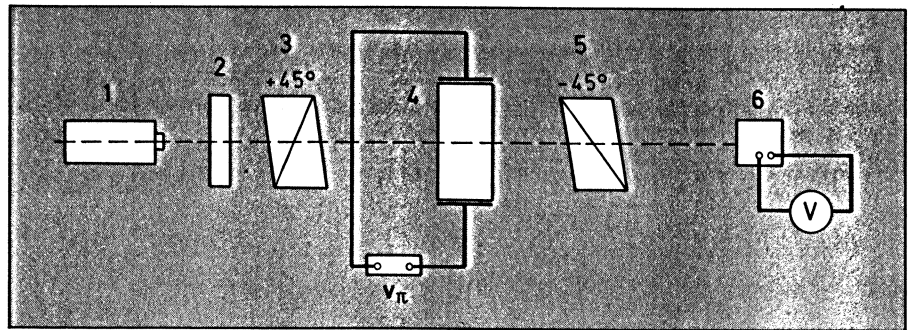


Abb. 6. Aufbauprinzip des „Kerrexperiments“ mit PLZT. (1: Lichtquelle, 2: verstellbarer Graukeil zur Intensitätsanpassung an den Photodetektor, 3 und 5: gekreuzte Polarisationsfilter, 4: Halter mit Ferroelektrikum, 6: Photodetektor.)



dampfte transparente Elektroden hindurch (Abb. 5). PLZT-Plättchen mit aufgedampften Elektroden können vom Handel bezogen werden, beispielsweise durch Motorola Inc. Ceramic Products, 9733 Coors Road, N. W. Albuquerque, New Mexico 87 114. Prospektinformation über Details und eine Preisliste gibt die Firma auf Anfrage ab. Für eine Probe muß man mit einem Preis in der Größenordnung von 150,— bis 200,— DM rechnen. Weitere Einzelheiten und Konstruktionspläne sind in [7] ausführlicher dargestellt, bzw. können von Interessenten bei den Autoren erfragt werden.

3. Experimente mit PLZT

3.1 Experimente zum transversalen elektrooptischen Effekt

Im folgenden wollen wir einige der mit der geschilderten Anordnung möglichen Experimente kurz vorstellen. Ausführliche Beschreibungen findet man wieder in [7]. Wir beginnen mit dem transversalen elektrooptischen Effekt.

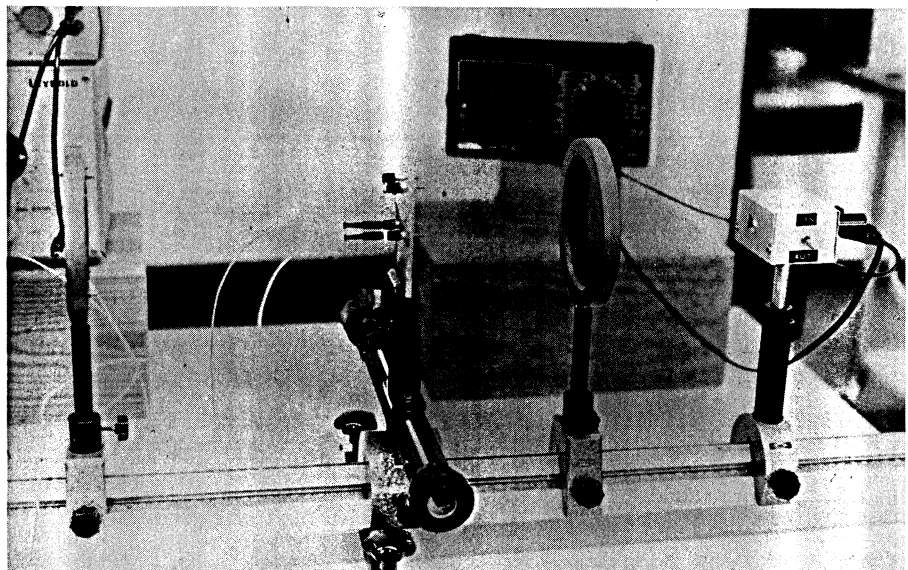
3.1.1 Das „Kerrexperiment“ mit PLZT

Die Messung der Halbwellenspannung ist mit Nitrobenzol nicht möglich. V_{π} ist dort größer als 3 kV, und bei dieser Spannung nähme die Kerrzelle eine Leistung von etwa 3 W auf, was ein schulübliches Gleichspannungsnetzgerät nicht liefern könnte. Eine Messung des Zusammenhangs

$$I_{\text{aus}} \sim \sin^2 \frac{\Delta}{2}$$

erfordert darüber hinaus mehr Zeit, als man sich dem gesundheitlichen Risiko des bei fortschreitender Erwärmung immer stärker verdunstenden Nitrobenzols

Abb. 7: Versuchsaufbau zum „Kerrexperiment“ mit PLZT. Der Probenhalter ist auf einem Meßverschiebereiter zur Justierung im Strahlengang befestigt.



aussetzen will. PLZT dagegen ist ungefährlich. Die Probe nimmt auch keine Leistung auf; ihr Widerstand kann als rein kapazitiv betrachtet werden, so daß jedes schulübliche Hochspannungsnetzgerät (Gleichspannung!) verwendet werden kann.

Den Aufbau eines entsprechenden Versuchs zeigen Abb. 6 im Prinzip und Abb. 7 im Original.

Abb. 8 zeigt eine sich ergebende Meßkurve. Die Ähnlichkeit mit einer \sin^2 -Funktion ist unverkennbar; die Halbwellenspannung kann zwischen 600 und 650 V abgelesen werden. Theoretisch erwartet man sogar einen Wert $V_{\pi} \approx 280$ V. Die Abweichung erklärt sich aus der Anordnung der Elektroden (vgl. Abb. 4), zwischen denen das elektrische Feld bogenförmig durch die Probe verläuft. Die zur Erzeugung einer ausreichenden Feldstärke benötigte Spannung ist daher höher, als wenn sich die Probe in einem Plattenkondensator mit homogenem Feld befände.

3.1.2 Temperaturabhängigkeit der Doppelbrechung

Das zuvor beschriebene Experiment einschließlich der Bestimmung der Halbwellenspannung kann bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt werden. Es kann untersucht werden, daß die Wärmebewegung der elektrischen Dipole ihrer Ausrichtung im äußeren Feld entgegenwirkt. Die Temperatur hat also als Parameter einen Einfluß auf die Größe der Halbwellenspannung.

Der Aufbau entspricht dem des vorigen Experiments (Abb. 6 und 7) und muß nur um eine Einrichtung zum Erhitzen der Probe und zur Temperaturmessung erneuert werden. Den so ergänzten Aufbau zeigt Abb. 9. Zum Erhitzen der Probe verwendeten wir ein Schweißluftgebläse mit elektronischer Temperaturstabilisierung, in unserem Fall ein Leister — Triac Typ

Abb. 8. Abhängigkeit der durchgelassenen Intensität von der Transversalspannung

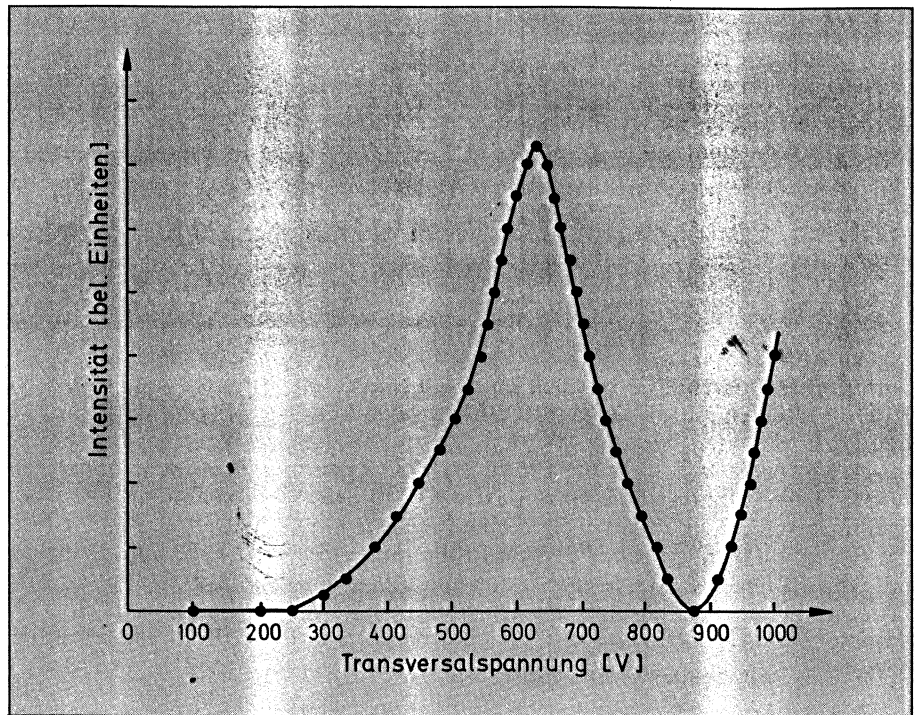


Abb. 9. Aufbau zu einer temperaturabhängigen Intensitätsmessung.

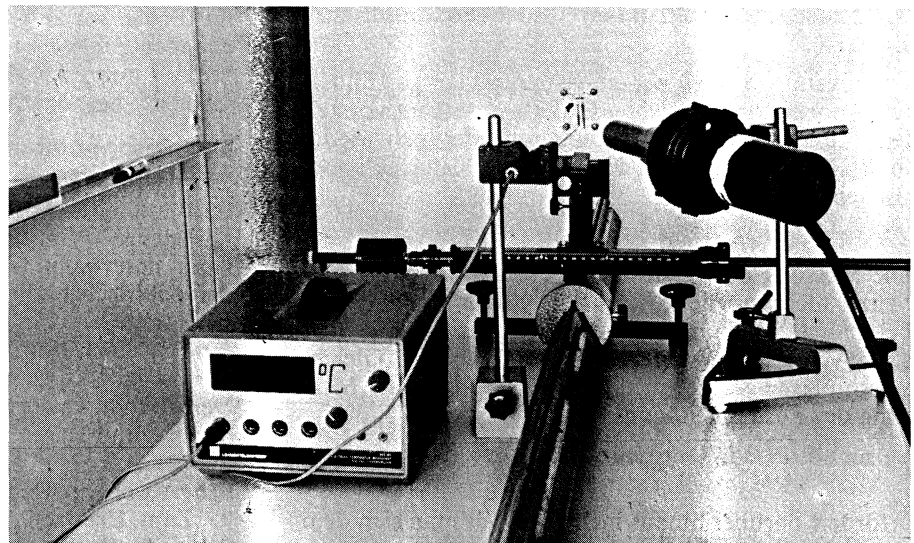
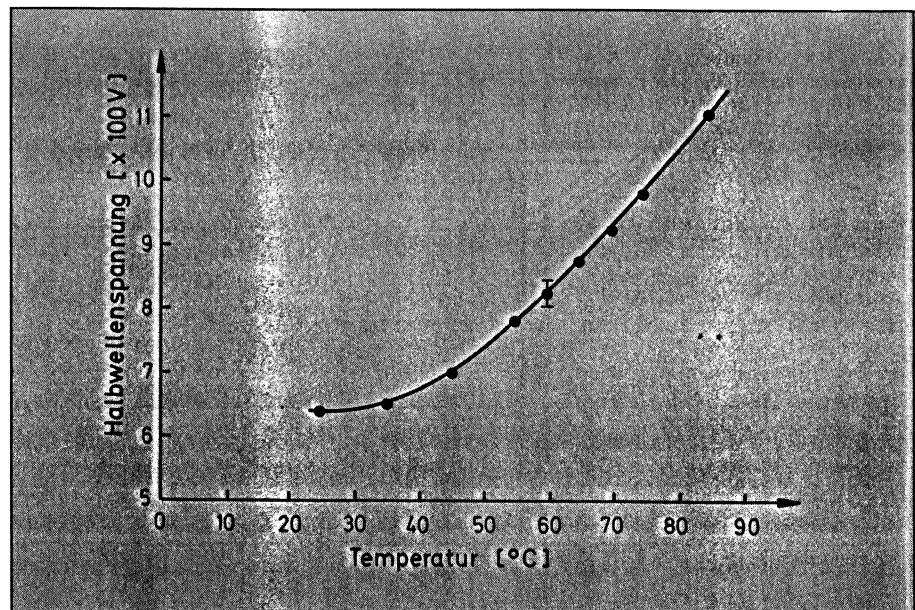


Abb. 10. Halbwellenspannung in Abhängigkeit von der Temperatur der Probe



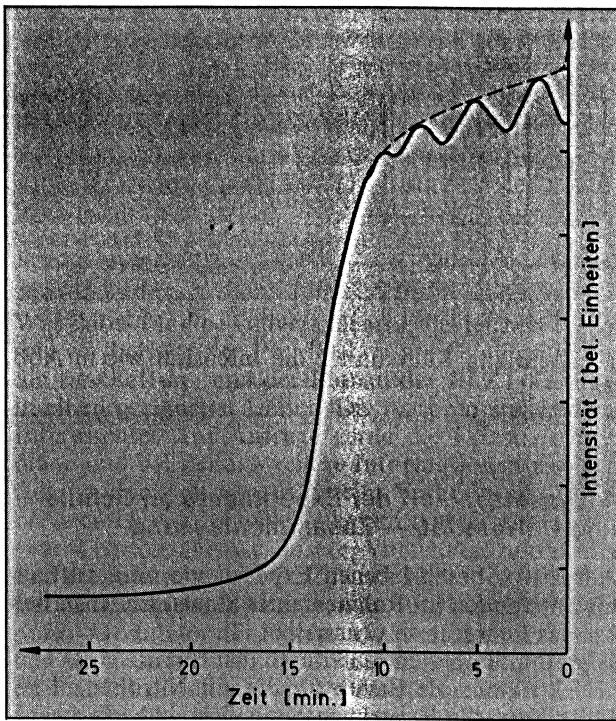
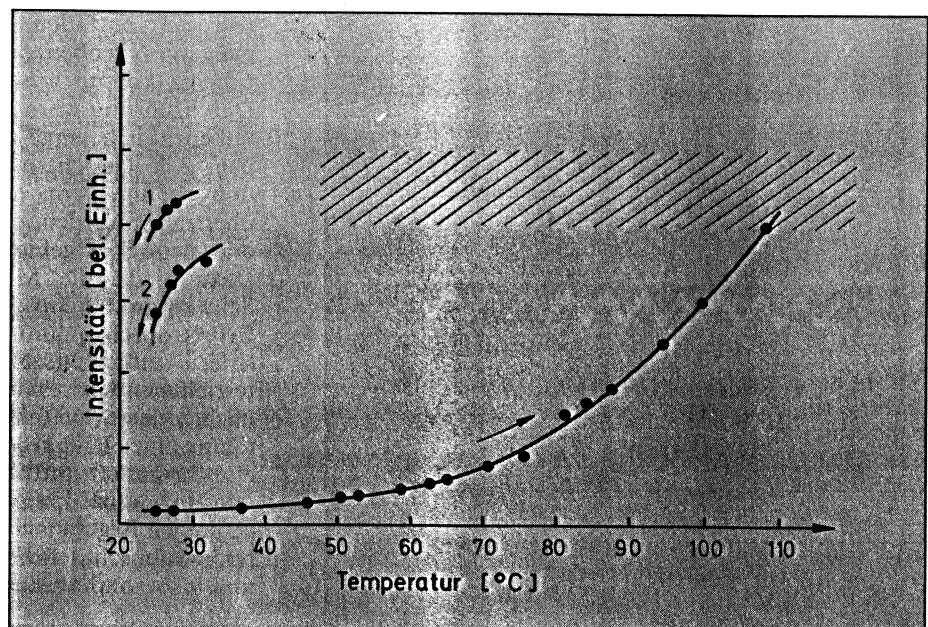


Abb. 15. Zeitliche Änderung der durchgelassenen Intensität

von der Temperatur der Probe beeinflusst. Dies zeigt ein weiteres Experiment, bei dem wie geschildert die Temperatur der Probe mit einem Heißluftgebläse variiert, wobei die longitudinale Spannung auf einem konstanten Wert außerhalb des Bereichs zwischen a_1 und b_1 gehalten wird. In Abb. 16 ist das Ergebnis einer solchen Messung dargestellt. Als Spannung wurde hier für alle Messungen der feste Wert 500 V gewählt. Bei Zimmertemperatur beginnend wurde für steigende Temperaturen jeweils die Intensität bestimmt. Diese steigt monoton an bis zu einer Temperatur von etwa 110°C . Darüber hinaus setzen starke Intensitätsschwankungen ein. Die angezeigten Werte bewegen sich im schraffierten Bereich zwischen einem größten und kleinsten Wert. Dieser Bereich wird auch nicht mehr verlassen, wenn man die Probe sich wieder abkühlen läßt! Erst unterhalb von etwa 50°C lassen sich wieder konstant bleibende Intensitätswerte ermit-

Abb. 16. Temperaturabhängigkeit der Intensität (Longitudinalspannung: 500 V)



teln, wobei diese Werte aber wiederum davon abhängen, wie hoch die Probe während des Experiments erhitzt worden ist. Kurvenast 2 in Abb. 16 entspricht einer Rückkehr von 130°C , Kurvenast 1 einer Rückkehr von 100°C . Auch jetzt noch sind die gemessenen Intensitäten deutlich verschieden von den ursprünglich vorm Erhitzen gemessenen.

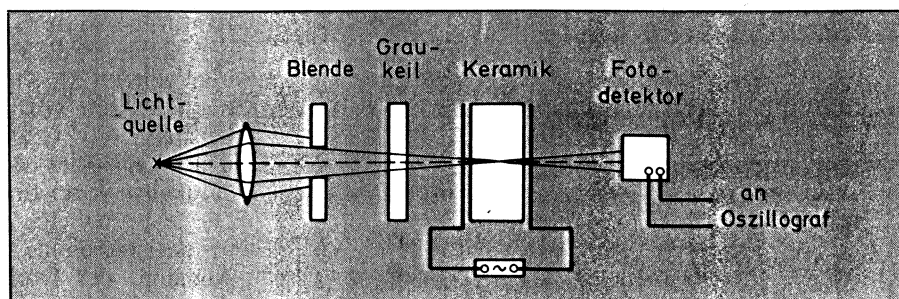
Die ursprüngliche Zunahme der Intensität, d. h. die geringer werdende Streuung hängt natürlich mit der Abnahme der Domänen bei steigender Temperatur zusammen. Wird eine bestimmte Temperatur überschritten, so findet man keine Domänen mehr, an deren Wände eine Streuung stattfinden könnte; das Licht geht mehr oder weniger ungestreut durch die Probe, wobei die Intensitätsschwankungen vermutlich einer Reststreuung aufgrund thermischer Bewegung im Kristall zuzuschreiben sind.

Das beschriebene Experiment kann übrigens in einer vereinfachten Variante auch mit einem Transparenzschirm anstelle einer Nachweisapparatur durchgeführt werden: die Transmissionsunterschiede sind groß genug, um mit dem bloßen Auge beobachtet werden zu können!

3.2.4 Demonstration des „Erinnerungsvermögens“ von PLZT

Daß man mit PLZT zumindest im Prinzip auch Informationen speichern kann, zeigt das folgende Experiment, in dem ausgenutzt wird, daß das Transmissionsverhalten bei gegebener Longitudinalspannung von der Vorgeschichte der Probe abhängt. Wir greifen dazu auf die Versuchsergebnisse von Abb. 14 zurück. Zur digitalen Informationsspeicherung soll verwendet werden, daß die Probe zwei grundsätzlich verschiedene Zustände einnehmen kann: durchlässig, bzw. undurchlässig für Licht, also anschaulich gesprochen hell oder dunkel. Gehen wir davon aus, der Kurvenast 4 in Abb. 14 sei so weit durchlaufen, daß ein Spannungswert zwischen a_1 und b_1 erreicht ist; die Probe ist dann im Zustand „dunkel“. Diesen Zustand behält die Probe bei, denn selbst bei Abschalten der Spannung ändert sich ihr Transmissionsverhalten nicht mehr! Sie speichert die Information „dunkel“. Natürlich besteht die Möglichkeit, die Probe auf „hell“ zu setzen: dazu muß die Spannung auf einen Wert über b_1 angehoben werden. Die durchgelassene

Abb. 17. Aufbauprinzip zur Intensitätsmodulation mit PLZT



Intensität steigt dann stark an. Bei Rücknahme der Spannung wird nicht wieder das Minimum zwischen a_1 und b_1 durchlaufen: die Probe bleibt jetzt transparent, und damit ist die Information „hell“ permanent gespeichert. Sie kann erst durch eine genügend große, entgegengesetzt gepolte Spannung, d. h. nach Durchlaufen von Kurven ähnlich den Ästen 3 und 4 wieder gelöscht werden.

3.2.5 Intensitätsmodulation mit PLZT

Auch das letzte Experiment, das wir vorstellen werden, soll einen Anwendungsbezug haben. Es zeigt, daß eine Informationsübermittlung mit Hilfe von PLZT auch kompliziertere Signale erlaubt als die digitale Unterscheidung zwischen „hell“ und „dunkel“. Konkret kann eine optische Keramik dazu verwendet werden, einen Spannungsverlauf zu übertragen in eine Intensitätsmodulation eines hindurchtretenden Lichtstrahls. Dazu dient der in Abb. 17 dargestellte Aufbau. Eine Richtleuchte, die an einem stabilisierten Gleichspannungsnetzgerät betrieben wird, erzeugt ein Lichtbündel, das von einer Sammellinse auf eine PLZT-Probe fokussiert wird. An der Probe liegt eine sinusförmige Longitudinalspannung an. Die hindurchtretende Intensität wird über einen Fototransistor auf einem Oszillografen dargestellt. Vor Beginn des eigentlichen Versuchs wird eine Spannung von 500 V an die Probe angelegt. Nach Wegnahme dieser Spannung befindet sich die Intensität in einer Abhängigkeit von der Longitudinalspannung, wie es etwa dem Kurvenast 2 in Abb. 14 entspricht. Variiert die Spannung beispielsweise zwischen 0 und 100 V, so va-

riert entlang Kurvenast 2 die Intensität wie in Abb. 18.

4. Umsetzbarkeit der Experimente an Schule und Universität — Zusammenfassung

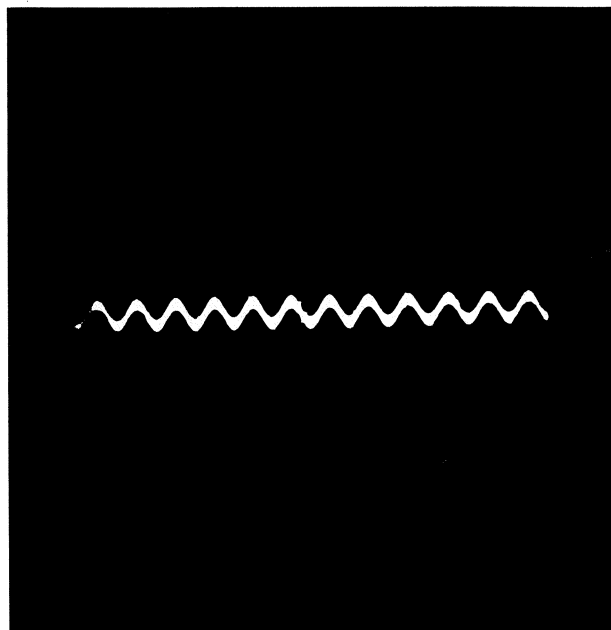
Alle zuvor beschriebenen Experimente und Aufbauten entstanden im Rahmen einer Staatsexamensarbeit für das Lehramt an Gymnasien [7].

Wir konnten zeigen, daß durch den Einsatz eines Ferroelektrikums als Ersatz für die mit Nitrobenzol gefüllte *Kerrzelle* Experimente möglich sind, die bei einer einfachen und gefahrlosen Vorbereitung nicht nur das bisherige Schulexperiment didaktisch mitbeinhalten, sondern die darüber hinaus zahlreiche quantitative Möglichkeiten bieten, spezielle Phänomene an Ferroelektrika zu behandeln. Der elektrooptische Effekt kann damit experimentell sowohl transversal als auch longitudinal weitaus ergiebiger untersucht werden, als dies die schulübliche *Kerrzelle* zuläßt. Übergeordnete Gesichtspunkte, wie beispielsweise Hysterese-Phänomene finden eine experimentelle Veranschaulichung. Sicher ist es nicht sinnvoll, die beschriebenen Experimente im dargestellten Umfang in den Schulstoff einbringen zu wollen. Dies entspräche an den Gymnasien nicht dem Stellenwert, der dem elektrooptischen Effekt durch die Lehrpläne eingeräumt wird. Vor allem die Experimente zum longitudinalen Effekt erfordern fortgeschrittene Kenntnisse aus der Festkörperphysik und Streutheorie, beides Gebiete, die von der Schulphysik nicht vertieft werden. Jedoch meinen wir, daß bereits die Ablösung der Nitrobenzol-*Kerrzelle* durch eine optische Keramik eine wertvolle experimentelle Erleichterung für den Physikunterricht darstellen würde. Es entfallen alle Schwierigkeiten aus dem Umgang mit Nitrobenzol. Der Auf- und Abbau des Experiments könnte wesentlich vereinfacht werden. Die Durchführung wäre risikolos; die Anordnung könnte unbedenklich lange aufgebaut, bzw. in Betrieb bleiben. Alle Gesichtspunkte zur theoretischen Begründung können von der Flüssigkeit auf die Keramik übertragen werden, ohne neue Probleme aufzuwerfen oder neue Stoffgebiete anzuschneiden.

Dazu bleibt die Möglichkeit unbenommen, einen Schwerpunkt beim *Kerreffekt* zu setzen und diesen Effekt durch quantitative Experimente zu vertiefen, sofern Unterrichtszeit und Leistungsfähigkeit des unterrichteten Kurses dies gestatten.

Nicht zuletzt dürften sich die Experimente zur Anfertigung einer Facharbeit eignen: Themen könnten präzise formuliert und auf ein begrenztes Stoffgebiet beschränkt werden; ein Schüler wäre gehalten, zu selbständigen Ergebnissen zu kommen; er wäre verpflichtet, wissenschaftliche Arbeitstechniken zu benutzen und insbesondere sich mit der einschlägigen Literatur

Abb. 18. Oszillografenfoto zur Intensitätsmodulation mit PLZT (Frequenz etwa 6 kHz; Empfindlichkeit 5 mV/cm; Zeitbasis 0,2 ms)



zu befassen. Das Anspruchsniveau kann bei der Themenstellung flexibel variiert werden.

Ein zweites Einsatzfeld bietet sich für die optische Keramik im Bereich der Universität oder ähnlicher Institutionen an, wo physikalische Praktika gefordert werden. Aufgrund des variablen Umfangs und Schwierigkeitsgrades der experimentellen Aufgabenstellung ließen sich die Experimente auf alle Formen physikalischer Praktika adaptieren, zum ersten Üben quantitativen Arbeitens ebenso wie zur Vertiefung von fortgeschrittenen Kenntnissen in der Festkörperphysik.

Was dabei für eine Universität sehr viel leichter lösbar sein wird als für den Physiklehrer am Gymnasium, ist die Beschaffung und der Einbau der PLZT-Keramik in einen geeigneten Halter. Die Autoren stellen zwar Interessenten auf Anfrage gerne die Konstruktionspläne und bei Bedarf weitere Informationen zur Verfügung, dennoch wäre es für eine Verbreitung von Experimenten mit Ferroelektrika am dienlichsten, wenn eine Lehrmittelfirma unsere Vorschläge aufgreifen und die Keramik (hier PLZT) mit Halter in Serie herstellen und anbieten könnte, wie dies ähnlich beim Faraday-Modulator der Fall ist. Unseres Erachtens dürften die Kosten eines solchen Experiments in der gleichen Größenordnung wie für die Kerrzelle liegen, die über kurz oder lang damit aus den Schulsammlungen verdrängt werden könnte.

Literatur:

- [1] *Schmalenberg, Peter*: Ein Beitrag zur Revision der lernzielorientierten Lehrpläne Physik in der Mainzer Studienstufe. Staatsexamensarbeit, Universität Kaiserslautern 1978
- [2] Merkblätter: Gefährliche Arbeitsstoffe, Nitrobenzol Blatt-Nr. 27, In: Umgang mit Arbeitsstoffen, von Kühn, Birett Verlag Moderne Industrie, W. Dummer & Co., Ehrenbreitsteiner Str. 36, 8000 München 50
- [3] *Wildner, Gerhard*: Ein Facharbeitsthema: Der elektrooptische Kerreffekt. In: PdN-Ph 7 (1981), S. 199—203
- [4] *Land, C. E. und Thacher*: Electrooptic properties of Ba, Sn, and La modified lead zirconate titanate ceramics. In: The physics of opto-electronic materials. New York und London: Plenum Press 1971, S. 169 ff
- [5] *Bergmann, Ludwig*: Lehrbuch der Experimentalphysik/Bergmann-Schaeffer, Band III Optik, Berlin-New York: de Gruyter
- [6] *W. A. Albers, J. R. and M. Kapit*: Light scattering and birefringence in BaTiO₃ ceramics. In: W. A. Albers: The physics of opto-electronic materials, New York und London: Plenum Press 1971, S. 151 ff
- [7] *Ofer, Heinrich*: Kerreffekt mit ferroelektrischem Material — Experimente zum longitudinalen elektro-optischen Effekt. Staatsexamensarbeit, Universität Kaiserslautern 1982
- [8] Bericht der Redaktion: Optische Keramiken. Funkschau 6 (1980), S. 68 f.

Anschriften der Verfasser:

Heinrich Ofer und *Hans-Jörg Jodl*, Fachbereich Physik der Universität Kaiserslautern, Erwin-Schrödinger-Str., 6750 Kaiserslautern;
Georg Theysohn, Leibniz-Gymnasium, 6780 Pirmasens

LASER BEAM MODULATOR

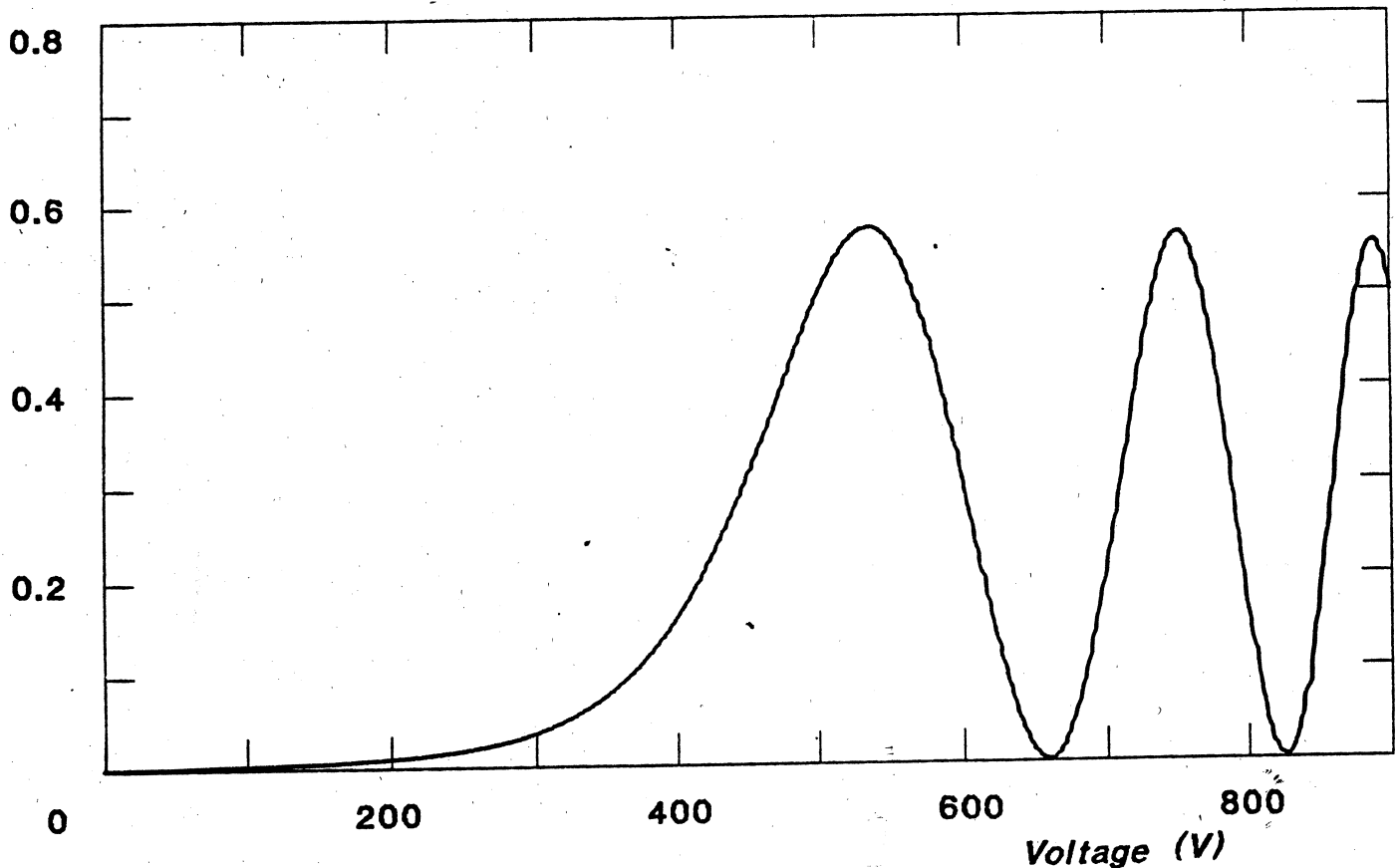
Certificate

Active element - PLZT electrooptic ceramics

Transmission - % (0.633 mkm)

Half-wave voltage - V (0.633 mkm)

Intensity



USE OF SCHOOL PLZT CERAMICS MODULATOR WITH Ar⁺ LASER:
ELECTROOPTIC EFFECT AND WRITING OF HOLOGRAPHIC PATTERNS

M. Ozolinsh, M.Zarins, M.Reinfelde, H.Porschen*

Inst. of Solid State Physics, 8 Kengaraga Str., LV-1063 Riga, Latvia

*CONATEX-DIDACTIC, Rombachstr.65, D-66539 Neunkirchen, Germany

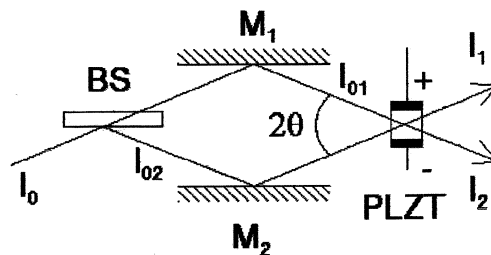
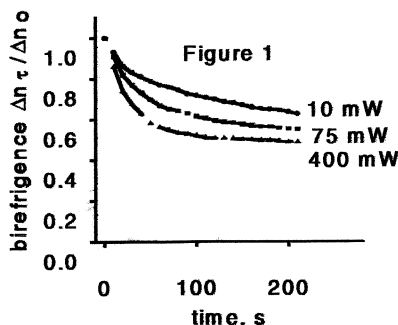
Simple PLZT ceramics electrooptic (EO) modulators reported in¹ seem to be the best alternative to replace the dangerous nitrobenzene Kerr cells used before in schools and universities for demonstration of the EO effect and data transmitting via the low intensity He-Ne laser beam.

Modulators with aperture 8x1.5 mm and optical path only 1.5 mm taking into account the simplicity of adjusting are attractive also for use with other lasers such as the more powerful Ar⁺ ion laser. Ar⁺ laser causes, at first, some heating of the modulator due absorption losses, and secondly, so called "optical damage" effect (photorefraction). The high enough intensity of the beam releases in PLZT charge carriers which migrate within the illuminated region. That creates the space electric field (the screening field), which can freeze after interrupting of illumination or switching off the electric field. The screening electric field can cause the change of the birefringence induced by the applied electric field, and create the remanent birefringence. The main task of this work was to study the influence of these effects on the characteristics of the modulator.

In experiments Ar⁺ laser beam $\lambda = 514$ and 488 nm with the diameter 1.5 mm and the intensity up to 1W were used. The pulse voltage (amplitude 1 kV) with duration 25 ms ($f=20$ Hz) was applied. The value of the applied field induced birefringence measured short before the pulse end Δn_r decreases by increasing the time of the applied voltage. Fig. 1 shows the dependence of Δn_r normalized to the start value Δn_s (corresponding to Δn_s phase retardation $\Gamma \approx 430^\circ$) vs the time of the pulse voltage applied for some intensities of Ar⁺ laser beam (514 nm). If the pulse voltage is switched off simultaneously with illumination one can observe the remanent birefringence. The illumination of the area after the voltage is switched off destroys the screening field, and the "optical damage" diminishes. The decrease of Δn_r due to the effect of the screening field turns out much larger as the decrease of the electrooptic effect due to the measured temperature increase.

Photorefractive effects decrease the efficiency of the EO modulator. However this phenomena can be used to demonstrate some example of the holographic recording. Two writing beams create the interference pattern (see Fig.2), and in the case with the DC voltage applied to PLZT sample, the space charge distribution forms the grating with the same period as the interference pattern. When one of these writing beams is closed the grating formed by the space field causes diffraction of the second beam. The efficiency η of diffraction (which is based on the EO effect - a quadratic one in PLZT) depends on the modulation depth of the recorded grating and on the applied reading DC voltage (if $U=0$ then $\eta \approx 0$). The modulation depth of the written grating depends on the angle Θ , on directions of polarization planes of writing beams and other factors. Using writing beams (488 nm) with intensity of 30 mW ($\Theta = 4^\circ$), the grating with diffraction efficiency 5% can be written in some minutes. Illumination with a single 200 mW beam effectively erases the written gratings.

1. Ozolinsh M. et al. In: *Education and Training in Optics*. 16th Congr. ICO, Hungary, 1993, V.1, p.214-219.



15. MAI. 1995
CL7090