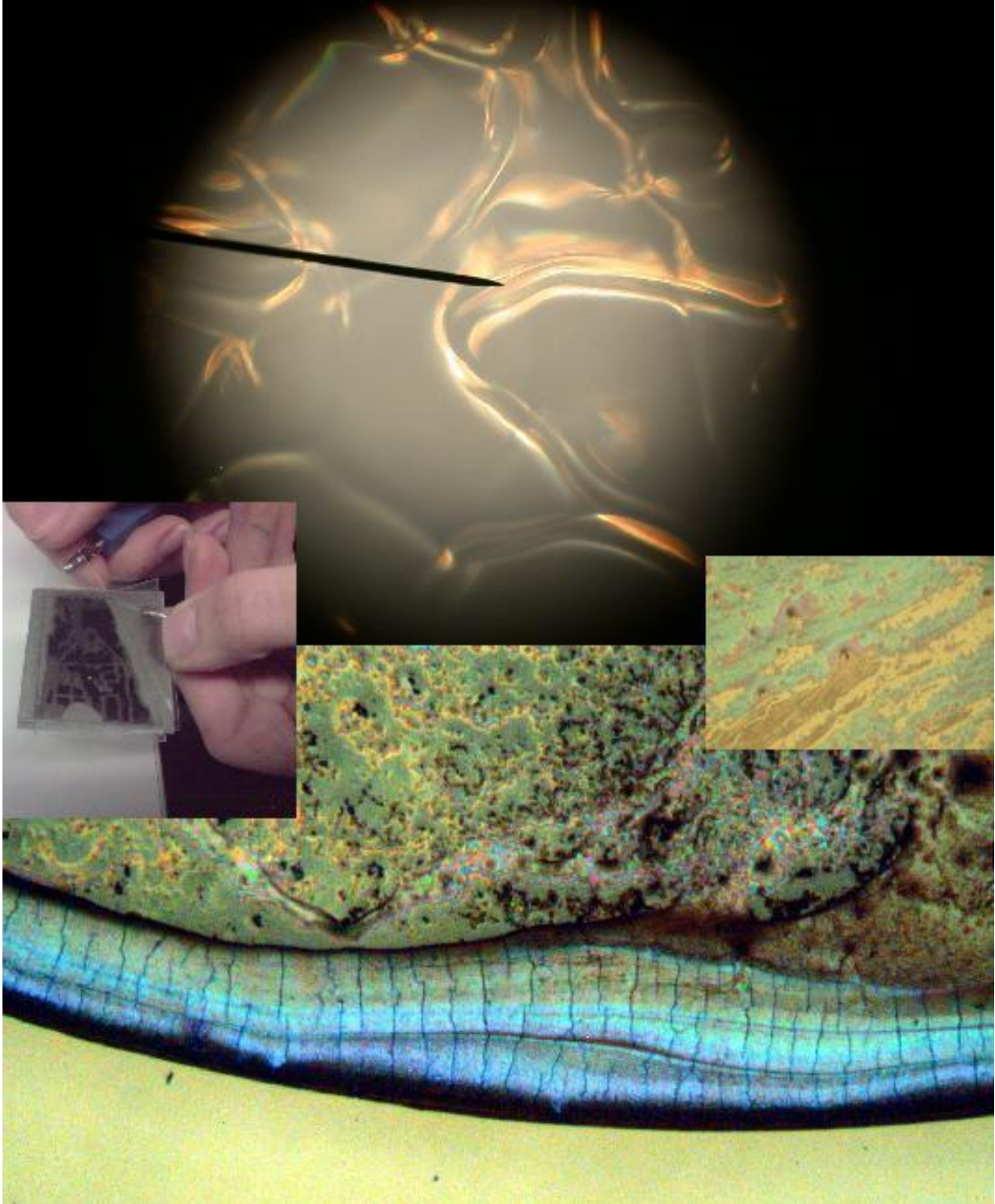


Photonische Flüssigkristalle



Eine Jugend-forscht-Arbeit
von
Katharina Springer, Sarah Meyer und Sebastian Klick

Inhaltsverzeichnis

Photonische Flüssigkristalle	1
1. Kurzfassung	3
2. Zielsetzung	4
3. Theorie.....	4
3.1 Theorie der Flüssigkristalle	4
3.2 Theorie der photonischen Kristalle.....	6
4. Versuche	7
4.1 Selbstbau einer LC-Anzeige	7
4.2 Herstellung photonischer Kristalle	9
4.3 Hochspannungsversuch	9
4.4 Versuche mit Ferrofluiden, Kolloiden und Kristallen	10
5. Kombination photonischer Kristalle mit Flüssigkristallen.....	11
5.1 Herstellung invertierter photonischer Kristalle.....	11
5.2 Infiltration eines Flüssigkristalls in den photonischen Kristall	13
5.3 Farbänderung	13
6. Ausblick.....	15
7. Danksagung	15
8. Link-und Literaturliste.....	15

1. Kurzfassung

In dieser Jugend-forscht-Arbeit machten wir uns auf den Weg, zwei hochinteressante Kristalle – photonische Kristalle und Flüssigkristalle – miteinander zu kombinieren. Durch diese Kombination wären neuartige Displays möglich, die man auch im prallen Sonnenlicht ohne Probleme ablesen könnte, da sie einfallendes Licht reflektieren und nicht mit Durchlicht arbeiten. Außerdem könnten diese Displays eine höhere Auflösung anzeigen, da sie alle Farben mit einem Pixel anzeigen können und deswegen keine Subpixel benötigt werden.

Zunächst beschäftigten wir uns mit den verschiedenen Eigenschaften der zwei Kristalle. So haben wir mit den Mitteln einer Schule eine LC-Anzeige gebaut und photonische Kristalle hergestellt und beobachtet! Danach versuchten wir die Flüssigkristalle mit verschiedenen Zusätzen zu vermischen um sie dadurch zu strukturieren und photonische Kristalle aus Flüssigkristallen herzustellen. Es stellte sich heraus, dass die Kombination der beiden Kristalle deutlich schwerer ist als wir ursprünglich gedacht haben.

2. Zielsetzung

Photonische Kristalle sind ein hochaktuelles Forschungsgebiet. Mit ihrer Hilfe kann man eines Tages vielleicht optische Computer bauen, die in Sachen Rechenleistung die heutigen Supercomputer in den Schatten stellen werden, da sie mit Photonen arbeiten, welche deutlich schneller sind als Elektronen, mit denen die heutigen Computer arbeiten.

Interessante neue Anwendungen würden sich für photonische Kristalle öffnen, wenn man deren reflektierte Wellenlänge ändern könnte, zum Beispiel durch Anlegen einer Spannung. Damit wären auch neuartige Displays möglich, die eine dreimal so hohe Auflösung erreichen könnten, wie heutige Bildschirme, da ein Pixel alle Farben zeigen kann und nicht in drei Subpixel unterteilt werden muss. Außerdem bräuchte man keine Beleuchtung hinter den Pixeln, da die photonischen Kristalle das von außen einfallende Licht reflektieren. Somit wären diese Displays auch in der prallen Sonne ohne Probleme ablesbar.

Solche steuerbare photonische Kristalle könnte man zum Beispiel mit Hilfe von Flüssigkristallen herstellen.

3. Theorie

3.1 Theorie der Flüssigkristalle

Obwohl Flüssigkeiten ein konstantes Volumen haben, lassen sie sich leicht verformen. Sie haben eine geringe Ordnung (isotrop) der Moleküle. Dahingegen ist die Ordnung der Atome bzw. Moleküle in Kristallen sehr hoch (anisotrop). Die Struktur dieses Material ist gitterförmig aufgebaut.

Beim Erhitzen von Cholesterylbenzoat entdeckte der österreichische Botaniker Reinitz eine Flüssigkeit, die aber die für Kristalle übliche Doppelbrechung aufwies. Diese merkwürdige Substanz besaß zwei Schmelzpunkte. Der erste Punkt war der Schmelzpunkt, den jeder Stoff besitzt. Hierbei verändert sich der Aggregatzustand von fest zu flüssig. Der zweite, nur bei Flüssigkristallen vorkommende Übergang, ist der Klärpunkt. Bei dieser Temperatur wird die vorher milchig-trübe Flüssigkeit schlagartig klar. Nun hat die Substanz, welche vorher anisotrop (geordnet) war, keine flüssig-kristallinen Eigenschaften mehr, sondern ist eine ganz normale isotrope (ungeordnete) Flüssigkeit. Den Begriff Flüssigkristalle prägte der deutsche Physiker Lehmann. Bis heute hat diese Stoffgruppe 15000 Vertreter in der organischen Chemie.

Man unterscheidet zwischen drei Arten von Flüssigkristallen, barotrope, welche durch Druck den flüssig-kristallinen Zustand bildet, lyotrope, bei denen dieser Zustand von dem Mischungsverhältnis abhängt, und den thermotropen, die durch die Änderung von der



*Abb.3.1.1
kalmatisches
Molekül*



*Abb.3.1.2
diskotisches
Molekül*

Temperatur diesen Zustand ausbilden. Diese werden auch am häufigsten verwendet. Diese Gruppen werden dann noch einmal bezüglich der Form von den Molekülen in kalamitische (stäbchenförmig) (Abb. 3.1.1) und diskotische (scheibenförmig) (Abb. 3.1.2) unterteilt.

Die Flüssigkristalle bilden verschiedene Phasen, welche man als Mesophasen bezeichnet. Sie entstehen, weil die Stoffe im festen Zustand Anziehungskräfte in drei Raumrichtungen haben. Wenn man nun die Temperatur erhöht, lösen sich die Anziehungskräfte nicht alle gleichzeitig auf, sondern nach einander. So entstehen verschiedene Mesophasen. Am Anfang löst sich die Anziehung nur in eine Raumrichtung auf, sodass noch in zwei der Raumrichtungen Kräfte wirken. Es entsteht eine von mehreren smektischen Phasen, welche bekanntlich zweidimensional aufgebaut sind. Diese Mesophase besteht aus geordneten Molekülschichten, welche in den Schichten selbst, ebenfalls geordnet sind.

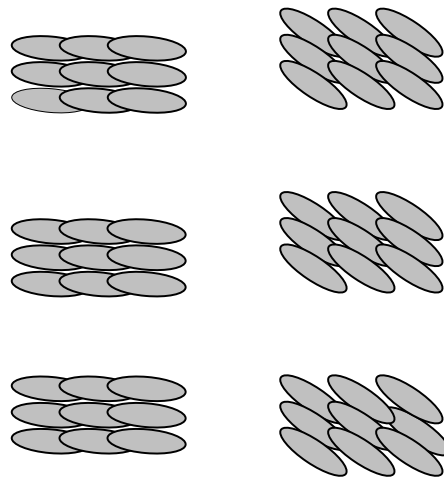


Abb.3.1.3 Anordnung der Moleküle in der smektisch-A (li.) und in der smektisch-C Phase (re)

Ebenfalls erkennt man sie an ihren Namen, da die verschiedenen Phasen unterschiedliche Buchstaben des Alphabets als Ansatz an das Wort „smektisch“ haben. Die smektisch-A und smektisch-C Phasen sind am wenigstens geordnet und somit auch am dünnflüssigsten. Bei der A-Phase sind die Moleküle senkrecht zur Schichtebene, während die Moleküle der smektisch-C Phase sich ein Stück zur Schichtnormale hinneigen (Abb. 3.1.3).

Wenn man nun die Flüssigkristalle noch weiter erhitzt, kommt man zu der nematischen Phase, welche nur noch in eine Raumrichtung Anziehungskräfte besitzt und somit eindimensional geordnet ist. Diese Mesophase ist also am geringsten geordnet und somit dem isotropen, also dem Zustand einer normalen Flüssigkeit, am nächsten. Die Moleküle ordnen sich parallel nach einer Vorzugsrichtung (Abb.3.1.4). Bei zunehmender Temperatur wird der Winkel zwischen der Vorzugsrichtung und der Spitze des Moleküls immer größer.

Eine Sonderform der nematischen Phase ist die cholesterische Mesophase, welche auch nematisch-chirale Phase genannt wird. Diese Phase kann man auch durch eine Mischung von einer nematischen Phase mit einer chiralen Gastverbindung erhalten. In dieser Mesophase sind die Moleküle, wie in der nematischen Phase, parallel geordnet, wobei sich die Vorzugsrichtung von Ort zu Ort um einen konstanten Winkel verändert (Abb.3.1.5). So entsteht eine helixartige Windung der Molekülachse. Die Ganghöhe p dieser Helix bestimmt die Eigenschaften des Kristalls, einer der wichtigsten ist die selektive Reflexion.

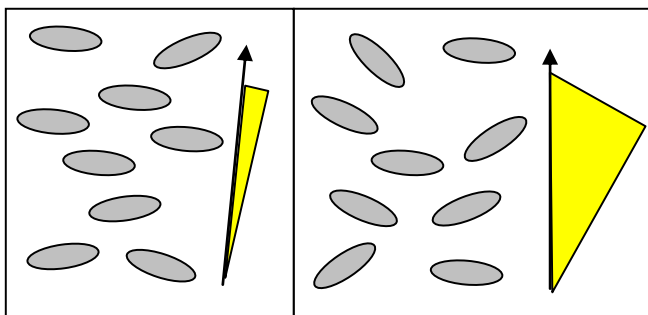


Abb. 3.1.4 Die kolumare nematische Phase

Von dem eintretenden Licht wird nur eine bestimmte Wellenlänge λ reflektiert. Diese Wellenlänge entspricht der Ganghöhe p der Helix mal den mittleren Brechungsindex n .

$$\lambda = p \cdot n$$

Anwendungsgebiete von Flüssigkristallen findet man nicht nur in elektrischen Anzeigen, wie bei Displays, Uhren und Thermometern, sondern auch zum Nachweis von optischen Aktivitäten, als Lösungsmittel für NMR-Spektroskopie, Werkstoffprüfung, medizinische Diagnostik und mechanische Untersuchungen.

Kurz: Flüssigkristalle sind höchst interessante und vielseitige Stoffe.

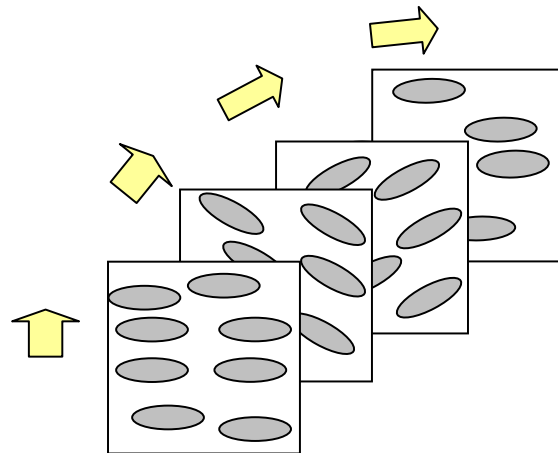


Abb.3.1.5 Veränderung der Vorzugsrichtung von den Molekülen in der nematisch-chiralen Phase

3.2 Theorie der photonischen Kristalle

Photonische Kristalle sind periodische Nanostrukturen, die aufgrund ihres Aufbaus durch Braggreflexion eine bestimmte Wellenlänge des einfallenden Lichtes reflektieren. Damit zeigen sie sehr brillante Farben die obendrein nicht ausbleichen, da sie auf physikalischen Effekten und nicht auf chemischen Farbstoffen beruhen.

Photonische Kristalle werden meistens aus Nanokügelchen (200-300nm Durchmesser) hergestellt. Dabei macht man sich die großen Oberflächenkräfte der Nanowelt zunutze. Die Kügelchen ordnen sich selbst in der dichtesten Kugelpackung an. Diese kann man mit gestapelten Orangen vergleichen. An den einzelnen Kugellagen wird ein Teil des Lichts reflektiert. Durch konstruktive Interferenz wird eine Wellenlänge verstärkt. Diese Wellenlänge lässt sich für Kugelstrukturen und senkrecht einfallendes Licht mit folgender Formel berechnen:

$$\lambda_{\text{Licht}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * 2D * \sqrt{0,76 n_{\text{Kugel}}^2 + 0,24 n_{\text{Füllung}}^2}$$

Ein Teil dieser Formel geht auf die allgemeine Braggsche Gleichung zurück.

$$2d * \sin \alpha_k = k * \lambda$$

wobei der Sinus bei senkrechter Bestrahlung 1 ist, da der Braggwinkel, der in dieser Formel eingesetzt wird der Winkel zwischen der Oberfläche des photonischen Kristalls und dem Strahl ist. Bei senkrechter Einstrahlung beträgt er also 90°.

k ist eine beliebige natürliche Zahl für unsere Berechnungen gilt $k=1$. d ist der Netzebenenabstand, d.h. der Abstand der reflektierenden Schichten. Für d haben wir die Formel für den Kugelabstand eingesetzt, die der Literatur entnommen ist:

$$d = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * D$$

dabei ist d der Netzebenenabstand und D der Durchmesser der Nanokügelchen.

Zu guter Letzt fehlt noch der Einfluss des Brechungsindex. Da Licht sich in Materialien mit unterschiedlicher Brechzahl unterschiedlich schnell bewegt, ist auch die Wellenlänge einer Farbe in verschiedenen Materialien unterschiedlich.

Dabei gilt:

$$\lambda_{Luft} = n_{Material} * \lambda_{Material}$$

n ist die Brechzahl eines Stoffes x und λ_x die dazugehörige Wellenlänge.

Der Brechungsindex der photonischen Kristalle ist abhängig von der Brechzahl der Kugeln und der Brechzahl des Füllstoffes (in der Regel Luft). Den effektiven Brechungsindex kann man nach folgender Formel, die der Literatur entnommen ist, ermitteln:

$$n_{eff} = \sqrt{0,76 n^2 + 0,24 n^2}$$

Durch Kombination dieser Formel erhielten wir die erste Formel mit der wir die reflektierte Wellenlänge relativ einfach berechnen können.

4. Versuche

4.1 Selbstbau einer LC-Anzeige

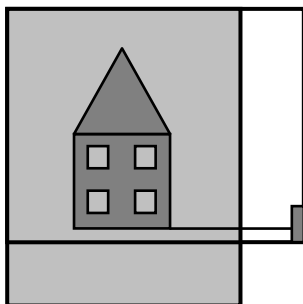


Abb. 4.1.1:
Elektrodenstrukturierung

Zum Einstieg in das Thema Flüssigkristalle haben wir uns entschlossen, zuerst eine Flüssigkristallanzeige zu bauen. Dafür benötigten wir möglichst durchsichtige Platten, die aber dennoch leiten. Normalerweise benutzt man dafür Glasplatten, die mit Indium-Zinn-Oxid beschichtet sind, diese sind jedoch ziemlich teuer. Deswegen suchten wir im Internet nach einer anderen Lösung und stießen schließlich auf einen Bausatz, der die benötigten Materialien beinhaltet.

Der erste Schritt für den Bau der Anzeige war es, mit einem wasserfesten Stift ein Muster auf die beschichtete Seite der Platte zu zeichnen. Die leitfähige Schicht kann man mit einem Ohmmeter ermitteln. Das Muster, welches man jetzt zeichnet, ist später in der Anzeige zu sehen, weil die Elektrodenstruktur durch die Farbe abgedeckt wird (Abb.1). Nun legt man die Platte in drei bis fünf prozentige Salzsäure um die nicht zum Motiv gehörende Indium-Zinn-Schicht wegzuzätzen. Die Abdeckschicht entfernten wir mit

Katharina Springer, Sarah Meyer
und Sebastian Klick

einem in Aceton getränkten Zellstofftuch. Dabei ist zu erwähnen, dass wir die zweite Platte nicht mit einem Motiv versehen haben und auch nicht geätzt haben, da man später nur das sieht, was auch kontaktiert ist.

Als nächstes oxidierten wir die braune Indium-Zinn-Schicht, indem wir die Glasplatten in einem Ofen auf 250°C erhitzen und kochten die Platten danach in einem alkalischen Bad. Nun durften sie nicht mehr mit den Händen berührt werden, da die Fette der Haut den Kontakt der Platten behindern. Danach musste die Platte reiborientiert werden, dafür zieht man mit einem Zellstofftuch in einer definierten Richtung über die beschichtete Seite der Glasplatten. Dabei entstehen kleinen Rillen, wo sich die Flüssigkristallmoleküle später reinlegen.

Nun kommen wir zum Zusammenfügen der Zelle. Die Platten müssen einen geringen Abstand zueinander haben, deswegen beschlossen wir eine 15µm dicke Folie als Abstandshalter zu verwenden. Die Schwierigkeit dabei war diese dünne Folie gerade, ohne Fransen und ohne das sie reißt in die gewünschte Maßen zu bekommen. Dieses Problem lösten wir, indem wir die Folie zwischen zwei Papierblätter legten und diese dann zusammen damit schnitten. Danach legten wir je einen Abstandshalter auf eine Kante der ITO-Plättchen, sodass sie parallel zueinander sind (Abb. 4.1.2). Das nächste Problem war den Flüssigkristall gleichmäßig verteilt zwischen die ITO-Plättchen zu bekommen. Einfach auf eine Platte geben und dann das zweite Plättchen darauf zu legen, führte nicht zum gewünschten Ergebnis. So mussten wir uns etwas anderes überlegen, also machten wir uns die Kapillarkräfte zu nutze. Wir verklebten die beiden Seiten, wo die Abstandshalter sind, mit Komponentenkleber und gaben einige Tropfen der Flüssigkristalle an eine der Kanten der Platte. Sofort zogen sich die Flüssigkristalle in die Anzeige, (also in den Raum zwischen den beiden Glasplatten,) jedoch blieben trotzdem einige Luftblasen.

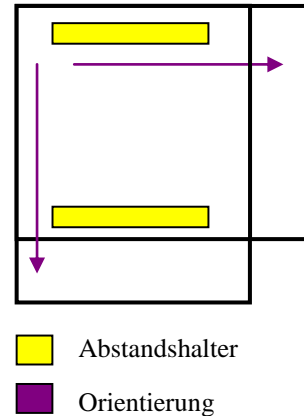


Abb. 4.1.2: Abstandshalter in der

Jetzt war unsere Anzeige fast fertig: Die restlichen zwei Kanten mussten noch verklebt werden und die Polarisationsfolien mussten auf der Glasplatte fixiert werden. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten: Wenn die Folien eine gekreuzte Polarisierung haben, ist das Motiv später hell; wenn die Folien keine gekreuzte Polarisierung ergeben, ist das Motiv dunkel, also wie bei einem Taschenrechner. Um die Indium-Zinn-Schicht zu kontaktieren, haben wir Krokodilklemmen benutzt, welche wir mit 5V Wechselspannung betrieben. Sobald wir diese anlegten, konnte man unser Muster sehen.

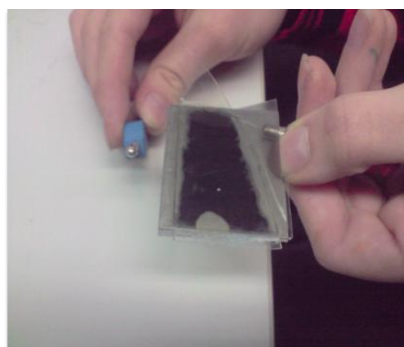


Abb. 4.1.3: LC-Anzeige



Abb. 4.1.4: LC-Anzeige

4.2 Herstellung photonischer Kristalle

Zur Herstellung photonischer Kristalle gibt es viele Methoden. In dieser Arbeit verwendeten wir dafür hauptsächlich die Deckglas- und die Tröpfchenmethode, die Sebastian in der Jugend-forscht-Arbeit „Kleine Kugeln – ganz groß“ beschrieben hat.

Mit diesen Methoden kann man sehr preiswert photonische Kristalle herstellen. Dazu gibt man einen Tropfen der Kugeldispersion auf einen Objektträger und lässt ihn dann trocknen (Tröpfchenmethode) bzw. legt ein Deckglas darauf und lässt dann das Wasser ebenfalls verdunsten (Deckglasmethode). Die Deckglasmethode hat den Vorteil, dass man mit ihr ein gutes photonisches Kristall gezielt an einem Ort (den Rändern des Deckglases) herstellen kann. Dafür ist es bei der Tröpfchenmethode einfacher einen dickeren photonischen Kristall herzustellen. Dazu gibt man einen weiteren Tropfen auf das photonische Kristall sobald es getrocknet ist. Diesen Vorgang kann man beliebig oft wiederholen.

Im Gegensatz zu der Herstellung der Kristalle in der Arbeit „Kleine Kugeln – ganz groß“ versuchten wir die Kugeldispersion draußen auf der Fensterbank zu trocknen. Dadurch dauerte der Trocknungsvorgang zwar länger, allerdings war auch die Qualität der Kristalle deutlich besser, da die Kälte die Brownsche Molekularbewegung verlangsamt. Dadurch können sich die Kugeln besser zu Kristallen anordnen.

Die Resultate dieser Herstellungsmethode können sich sehen lassen, wie die folgenden Fotos zeigen.

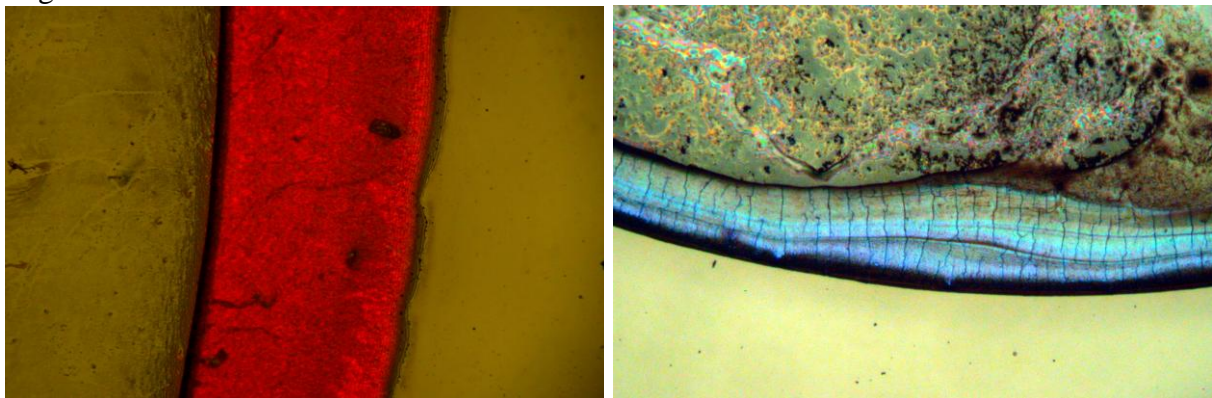


Abb. 4.2.1.: Unsere ersten photonischen Kristalle aus 303nm großen Kugeln (links) und 204nm Kugeln (rechts)

Die Farbe der Kugeln lässt sich aus dem Kugeldurchmesser der Nanokugeln und ihrem Brechungsindex errechnen. Die Kugeln haben einen Durchmesser von 303nm bzw. 204nm und einen Brechungsindex von 1,5. Daraus ergibt sich für die großen Kugeln eine reflektierte Wellenlänge von etwa 695nm. Diese Wellenlänge entspricht rotem Licht. Für die kleineren Kugeln ergibt sich eine Wellenlänge von ca. 465nm. Das entspricht blauem Licht.

4. 3 Hochspannungsversuch

Unsere LC-Anzeige funktionierte bisher nur durch das Anlegen eine Spannung von 5V direkt an den ITO-Plättchen. Aber wir wollten unsere Anzeige auch durch von einem außenangelegtes elektrischen Feld steuern können. Dafür rechneten wir zuerst die Feldstärke E des uns bekannten elektrischen Feldes (E) aus. Unsere hier für bekannten Größen waren: die Spannung (U_1), welche 5V betrug und der Abstand (d_1) von $10\mu\text{m}$.

$$E = \frac{U}{d} \quad E = \frac{5V}{10 * 10^{-6} m}$$

Nun hatten wir die erforderte Stärke für das elektrische Feld $E = 500000V/m$ ausgerechnet. Um die Stärke auch dann zu erhalten, wenn das Feld von außen angelegt wird, stellten wir die Formel um, maßen die Dicke unserer LCD-Anzeige ($d = 2\text{mm}$) und berechneten die Spannung $U = 1000V$.

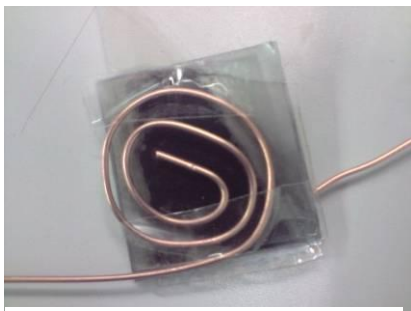


Abb. 4.3.1 Kupferdraht Spirale auf der LC-Anzeige

Wir brauchten also ein Netzgerät, welches uns mindestens eine Spannung von 1kV liefert, also ein Hochspannungsnetzgerät. Damit das Feld angelegt werden konnte, drehten wir zwei Spiralen aus Kupferdraht und befestigten sie mittels Tesafilm auf der LC-Anzeige (Abb. 4.3.1).

Nun schlossen wir das Netzgerät an die Spiralen an. Langsam erhöhten wir die Spannung. Als wir bei 1 kV ankamen, konnte man unser Muster nicht erkennen. Wir gingen immer höher, aber auch bei 2kV konnten wir keine Veränderung beobachten. Bis zu 6kV ließen wir die

Spannung steigen, aber außer das Funken übersprangen, konnte nichts beobachtet werden. Sofort überprüften wir die Rechnungen, aber diese waren korrekt. Also suchten wir an anderen Stellen nach der Ursache und fanden sie an den Platten selbst. Die Platten der LC-Anzeige waren mit Indium-Zinn-Oxid beschichtet und zwischen den beschichteten Seiten befand sich unser Flüssigkristall. Diese Metallschichten auf beiden Seiten des Kristalls wirken wie ein Faradayscher Käfig. Der Faradaysche Käfig hebt in seinem Inneren das elektrische Feld auf, indem er selbst einen Minus- und Pluspol ausbildet. Diese Pole liegen in der entgegengesetzten Richtung zu den äußeren Polen. Wir hatten überhaupt kein elektrisches Feld in unserer LC-Anzeige, sondern nur um die Platten herum.

Um dieses physikalische Phänomen zu umgehen, haben wir Flüssigkristalle zwischen Objektträger gegeben und wiederholten den gleichen Versuch. Das Ergebnis war identisch mit dem von unserem vorigen Experiment.

4.4 Versuche mit Ferrofluiden, Kolloiden und Kristallen

Um unserem Ziel, der Kombination von photonischen Kristallen mit Flüssigkristallen, näher zu kommen testeten wir zunächst ob sich Flüssigkristalle mit Wasser mischen, da die Nanokugeln, aus denen die photonischen Kristalle hergestellt werden in Wasser dispergiert sind. Dazu gaben wir einen Wassertropfen auf ein Deckglas und darauf tropften wir ein

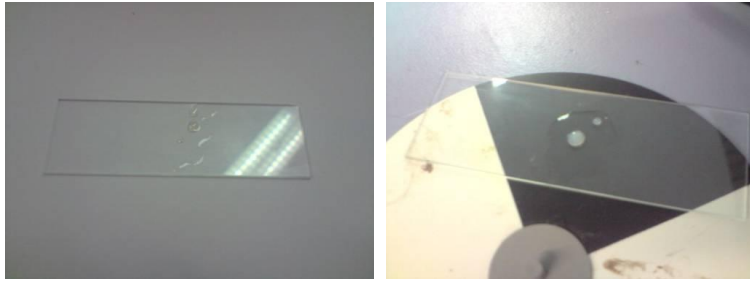


Abb. 4.4.1 Flüssigkristalltropfen auf Wasser

Flüssigkristall. Der Kristall perlte von dem Wasser ab und bildete an der Oberfläche einen Tropfen (Abb. 4.4.1).¹²

Wir überlegten uns, dass der Flüssigkristall abperlt, da er eine sehr hohe molekulare Ordnung besitzt und die Wassermoleküle nicht in die Räume zwischen

den Molekülen des Kristalls passen. Wenn man den Flüssigkristall nun bis zum Klärpunkt erhitzt, könnte er sich mit dem Wasser vermischen. Soweit unsere Theorie. In der Praxis sah das allerdings etwas anders aus. Wir gaben also einen Tropfen Flüssigkristall auf Wasser und erhitzten das Wasser. Als der Klärpunkt erreicht war, schwammen die Töpfchen des Flüssigkristalls immer noch auf der Wasseroberfläche (Abb. 4.4.2), wie die Fettaggen in einer Suppe. Trotz der Tatsache, dass sich die Flüssigkristalle nicht mit Wasser mischen, wollten wir herausfinden, ob es möglich



Abb. 4.4.2 Flüssigkristall in seiner isotropen Phase auf Wasser

ist, einen Flüssigkristall nachträglich in ein photonisches Kristall einzufügen. Für diesen Versuch verwendeten wir Photonische Kristalle, welche einen Kugeldurchmesser von 204nm

hatten. Aus diesem Kugeldurchmesser sowie der Brechzahl

$n=1,5$ der Kugeln folgt, dass sie blaues Licht reflektieren (Abb. 4.4.3). Sobald wir den Flüssigkristall darauf gaben, konnte man keine Farbe mehr sehen. Allerdings war das photonische Kristall selbst unbeschadet wie wir unter einem Dunkelfeldmikroskop sehen konnten. Dass die Farbe verschwunden ist, kann verschiedene Gründe haben. Wahrscheinlich ist der Kontrast der Brechungsindizes zu gering. Das Flüssigkristall hat eine Brechzahl zwischen 1,4 und 1,5 die Kugeln haben eine Brechzahl von 1,5. Damit können keine optischen Effekte auftreten.

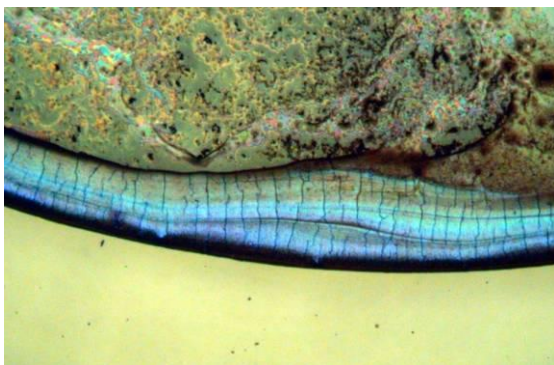


Abb. 4.4.3 Photonischer Kristall

5. Kombination photonischer Kristalle mit Flüssigkristallen

5.1 Herstellung invertierter photonischer Kristalle

Um einen höheren Brechungsindexkontrast zu erreichen und gleichzeitig dem Flüssigkristall einen größeren Einfluss auf den Brechungsindex des photonischen Kristalls zu geben beschlossen wir, invertierte photonische Kristalle herzustellen. Das bedeutet, dass die Zwischenräume der Kugeln mit einem hochbrechenden Material gefüllt werden. Anschließend werden die Kugeln durch ein Lösungsmittel aus der Struktur herausgelöst. Es gibt verschiedene Materialien und Methoden zur Invertierung photonischer Kristalle. Zunächst fanden wir in einer Arbeit von Guido Mertens ein Verfahren, mit dem man die

Katharina Springer, Sarah Meyer
und Sebastian Klick

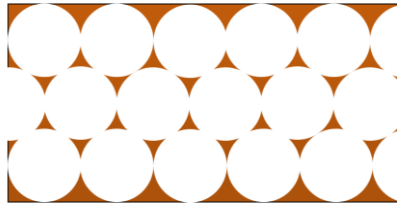
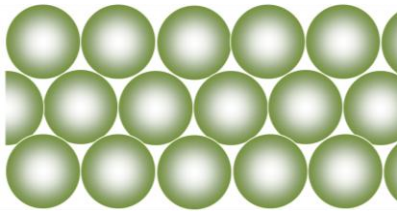
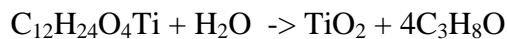


Abb.5.1.1: der normale photonische Kristall (oben) und der invertierte Kristall als Schema (unten)

Zwischenräume mit Zinnsulfid (SnS_2) füllen kann. Allerdings muss dafür Schwefelwasserstoff (H_2S) verwendet werden. Dieses Gas ist hochgiftig und darf an der Schule nur mit einer Sondergenehmigung verwendet werden. Da unsere Gesundheit natürlich sehr wichtig ist, beschlossen wir nach anderen ungefährlicheren Verfahren zu suchen. Dabei stießen wir auf Titandioxid.

Zum Invertieren des photonischen Kristalls benötigen wir sehr kleine Titandioxidpartikel. Um diese herzustellen füllten wir 200ml Isopropanol in einen Rundkolben und gaben 1g Titanpropoxid hinzu. Dies lässt man nun von einem Rührfisch vermengen bis eine einigermaßen homogene Lösung entstanden ist. Nun gaben wir einige Tropfen destilliertes Wasser, hinzu. Das Gemisch muss jetzt noch etwa einen Tag rühren. Dafür benutzten wir ebenfalls einen Rührfisch. In dieser Zeit reagiert das Titanpropoxid mit Wasser zu Titandioxid und Isopropanol.



Das Titandioxid bildet dabei sehr kleine Partikel, die nach den Literaturwerten zwischen 3 und 10nm groß sind. Damit sind sie ausreichen klein um sich in den Zwischenräumen des photonischen Kristalls abzulagern. Das Isopropanol dient dabei als Lösungsmittel.

Um das Titanoxid zu infiltrieren gibt man neben den Kristall mit Hilfe einer Pipette einen Tropfen der Lösung. Durch die Kapillarkräfte wird die Titandioxid-Lösung in die mit Luft gefüllten Zwischenräume der Kugeln gezogen. Diesen Vorgang wiederholt man nun noch ein- bis zweimal. Jetzt muss das Isopropanol verdunsten.

Nach dem das Isopropanol verdunstet ist, werden die Proben zum Verfestigen der Titanpartikel gebacken. Bei diesem Vorgang muss man beachten, dass der Ofen nicht zu schnell erwärmt wird, da sonst die Kristallstruktur zerstört wird. Die Temperatur darf nur um 3°C pro Minute erhöht werden. Zum Schluss muss die Endtemperatur von 450°C erreicht sein. Bei dieser Temperatur muss der infiltrierte Kristall zwei Stunden kalzinieren. Danach werden die Glasplatten mit den Kristallen langsam auf Raumtemperatur abgekühlt, um das Springen der Platten zu verhindern. Insgesamt dauert dieser Vorgang ca. 8-9 Stunden.



Abb.5.1.2: unser Ofen

Dieser Invertierungsvorgang hat nur ein großes Problem, welcher Ofen kommt auf so hohe Temperaturen und lässt sich so genau einstellen, dass er nur mit 3°C pro Minute aufheizt. Als erstes haben wir uns einen normalen Haushaltssofen angeguckt, aber dieser kommt weder auf die benötigten 450°C , noch kann man diesen genau genug einstellen. Bei der weiteren Suche nach einem geeigneten Ofen stießen wir auf einen Tonbrennofen. Dieser lässt sich relativ genau einstellen, allerdings hatten wir auch mit diesem Ofen zahlreiche Fehlschläge. Auch die 450°C stellen für diesen Ofen kein Problem dar.

Um die Kugeln nun aus dem invertierten Kristall zu spülen legten wir die invertierten Kristalle in Aceton. Durch diese Behandlung werden die Polystyrol-Kugeln aus dem Kristall gelöst.

Der invertierte Kristall erscheint nach dem ausspülen der Kugeln grün-blau. Um festzustellen, ob noch Kugeln in der Kristallstruktur enthalten sind, untersuchten wir den Kristall unter einem Dunkelfeldmikroskop. Unter diesem speziellen Mikroskop konnte man erkennen, dass die Kristallstruktur noch vorhanden ist, aber nur noch einige vereinzelt Kugeln zu sehen sind. So ist unsere Vermutung bestätigt, dass diese Kugeln mit Hilfe von organischen Lösungsmitteln, wie Aceton, entfernt werden können.

5.2 Infiltration eines Flüssigkristalls in den photonischen Kristall

Der fertig invertierte Kristall kann jetzt mit einem Flüssigkristall infiltriert werden. Hierzu verwenden wir eine Glaspipette, mit der geringe Mengen des Flüssigkristalls an den Rand des photonischen Kristalls getropft werden. Der Flüssigkristall wird durch die Kapillarkräfte in den photonischen Kristall hineingezogen. Aus der grünen Farbe, die noch bei dem invertierten Kristall zu erkennen war, wurde ein gelb-rot Ton (s. Abb. 5.2.1 und 5.2.2).

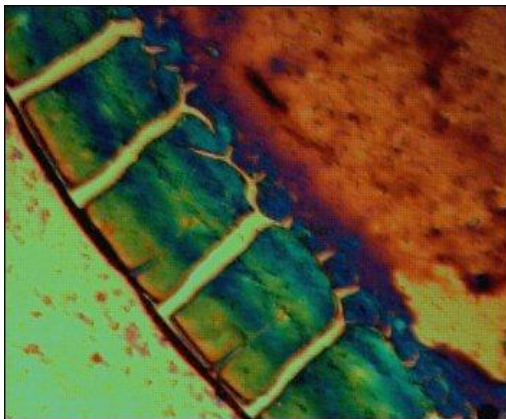


Abb.5.2.1: invertierter photonischer Kristall

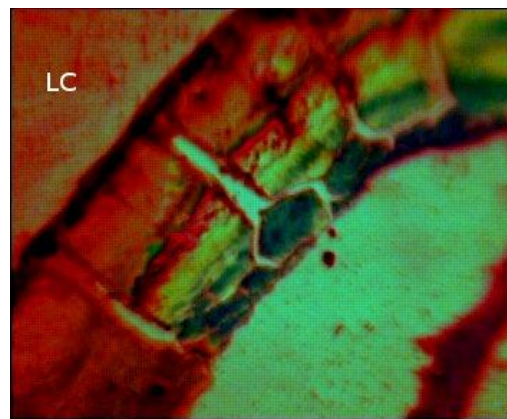


Abb.5.2.2: unser invertierter Kristall mit dem Flüssigkristall (von oben links)

5.3 Farbänderung

Um eine erste Farbänderung bei unseren photonischen Flüssigkristallen zu erreichen, entschlossen wir uns, dies über die Phasenänderung zu erlangen. Die Phasenänderung erreicht man über die Erwärmung des Flüssigkristalls.

Dafür mussten wir zu erst einmal eine Heizung bauen, welche man auf einem Objektisch verwenden kann. Unsere Heizung war ein Stück Konstantandraht, welchen wir um einen Objektträger gewickelt haben. Diesen Draht haben wir nun mit Hilfe von elektrischem Strom erwärmt.

Natürlich konnten wir diese nicht direkt auf den Objektisch des Mikroskops legen, da sonst der Objektisch Schaden nehmen. Als „Isolation“ legten wir zuerst eine kleine Steinfliese auf den Objektisch und erst dann unsere Spule. Auf diese legten wir nun unser photonisches Kristall mit dem Flüssigkristall. Jetzt schlossen wir die Spule an ein Netzgerät an, damit wir den Stromzufluss variieren konnten und stellten unser Mikroskop scharf, um alles genau beobachten zu können.

Am Anfang war der Kristall rot. Diese Farbe kommt durch das Einziehen des Flüssigkristalls, wie schon im vorigen Teil beschrieben, zustanden. Sobald man Strom durch die Spule fließen lässt, wird die Spule wärmer. Die Wärme bewirkt eine Phasenänderung und somit eine Änderung des Brechungsindex. Die reflektierte Farbe verändert sich dem entsprechend. Sie wurde gelblicher bis sie zum Schluss fast ausschließlich gelb war (s. Abb. 5.3.1).

Katharina Springer, Sarah Meyer
und Sebastian Klick

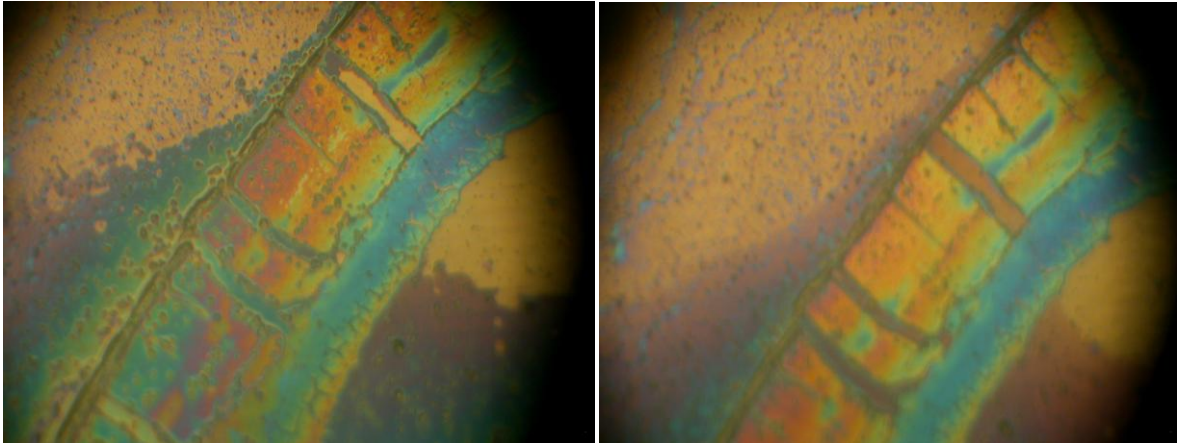


Abb.5.3.1: unser photonischer Flüssigkristall vor dem Erwärmen (links) und im erwärmten Zustand (rechts)

Um unser Ziel, die Änderung der Farbe durch eine Spannung zu erreichen, wollten wir nun eine Anzeige mit dem invertierten photonischen Kristall, der mit Flüssigkristall gefüllt ist, bauen. Hierzu stellten wir eine reiborientierte ITO-Platte her und befestigten sie oberhalb des invertierten photonischen Kristalls. Zuerst legten wir zwei Abstandshalter mit einer Dicke von 15 μm an zwei gegenüberliegenden Seiten. Diese Seiten verklebten wir anschließend mit Komponentenkleber. An einer der anderen Seiten gaben wir einige Tropfen unseres Flüssigkristalles und ließen es hinein ziehen. Sobald der Kristall die komplette Fläche zwischen den beiden Platten ausfüllt, werden die anderen Kanten auch verklebt. Nun hatten wir erst einmal eine Flüssigkristallanzeige mit einem invertierten photonischen Kristall erschaffen.

Damit man die Farbveränderung gut beobachten konnte, legten wir die Anzeige unter ein Mikroskop. Jetzt mussten wir die ITO-Platten nur noch kontaktieren. Doch dort tauchte erst mal ein Problem auf. Krokodilklemmen sind zu groß, um sie verwenden zu können. So haben wir Klebeband benutzt, um Kabel auf die ITO-Platten zu drücken. Als wir nun zwischen den beiden Platten ein elektrisches Feld geschaffen hatten, blickten wir gespannt durch das Mikroskop. Tatsächlich konnten wir eine Farbänderung beobachten. Ohne das elektrische Feld war eine gelbe Farbe zuerkennen, aber mit angelegter Spannung wurde der photonische Kristall grün (s. Abb. 5.3.2). Das die reflektierten Farben nicht mehr so brillant sind, hängt mit dem zweiten ITO-Glass zusammen, an dem das Licht auch teilweise reflektiert wird. Dies könnte man durch eine Entspiegelung verbessern.

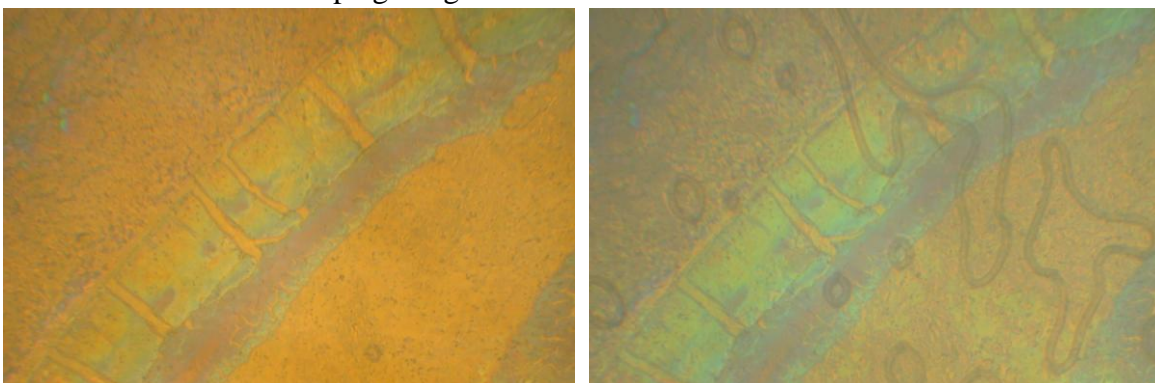


Abb.5.3.2: unser photonischer Flüssigkristall links ohne und rechts mit elektrischem Feld

6. Ausblick

Wir haben mit dieser Arbeit unser Ziel erreicht und mit relativ einfachen Mitteln photonische Kristalle mit Flüssigkristallen kombiniert. Allerdings gibt es noch einiges zu untersuchen; so ist zum Beispiel die Wellenlängenänderung durch die Spannung am Flüssigkristall deutlich höher als man aufgrund der Brechungsindizes erwarten könnte. Außerdem gibt es noch Probleme mit dem Ofen, da er keine Einstellungen von Sollwerten zulässt. Daher werden wir versuchen einen programmierbaren mikroprozessorgesteuerten Ofen zu bauen.

7. Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei Herrn Wächtler und dem Unternehmen Merck für das zur Verfügung gestellte Flüssigkristall ZLI-4792. Ebenfalls danken wir Herrn Professor Dr. rer. nat. Siegmund Greulich-Weber und seinem Team von der Universität Paderborn für die Möglichkeit, einige Tage in einem professionellen Labor arbeiten zu dürfen. Weiterhin bedanken wir uns bei Marc Mennigmann und seiner Firma Präzisions Glas & Optik GmbH (<http://www.pgo-online.com>), welche uns freundlicher Weise ITO-beschichtetes Glas zur Verfügung stellte.

Zum Schluss möchten wir uns noch bei unseren Betreuer Walter Stein für die aufgebrachte Zeit bedanken und dafür, dass er uns immer mit seinem Rat zur Seite stand. Außerdem möchten wir unseren Eltern für die aufmunternden Worte und für die Fahrdienste danken, denn sonst wäre das Projekt in dieser Zeit gar nicht möglich gewesen.

8. Link-und Literaturliste

[1] www.wikipedia.de

[2] www.supermagnete.de

[3] www.fluessigkristalle.com

[4] Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule

[5] Khoo, Iam-Choon Liquid Crystals Second Edition

[6] Klick, Sebastian Kleine Kugeln - ganz groß

[7] Mertens, Guido Anwendung von Flüssigkristallen für abstimmbare
photonische Kristalle

[8] Andreas von Rhein Über die Synthese, Dotierung und Analyse von
Titandioxid-Nanopartikeln als Basismaterial für die
Photonik