

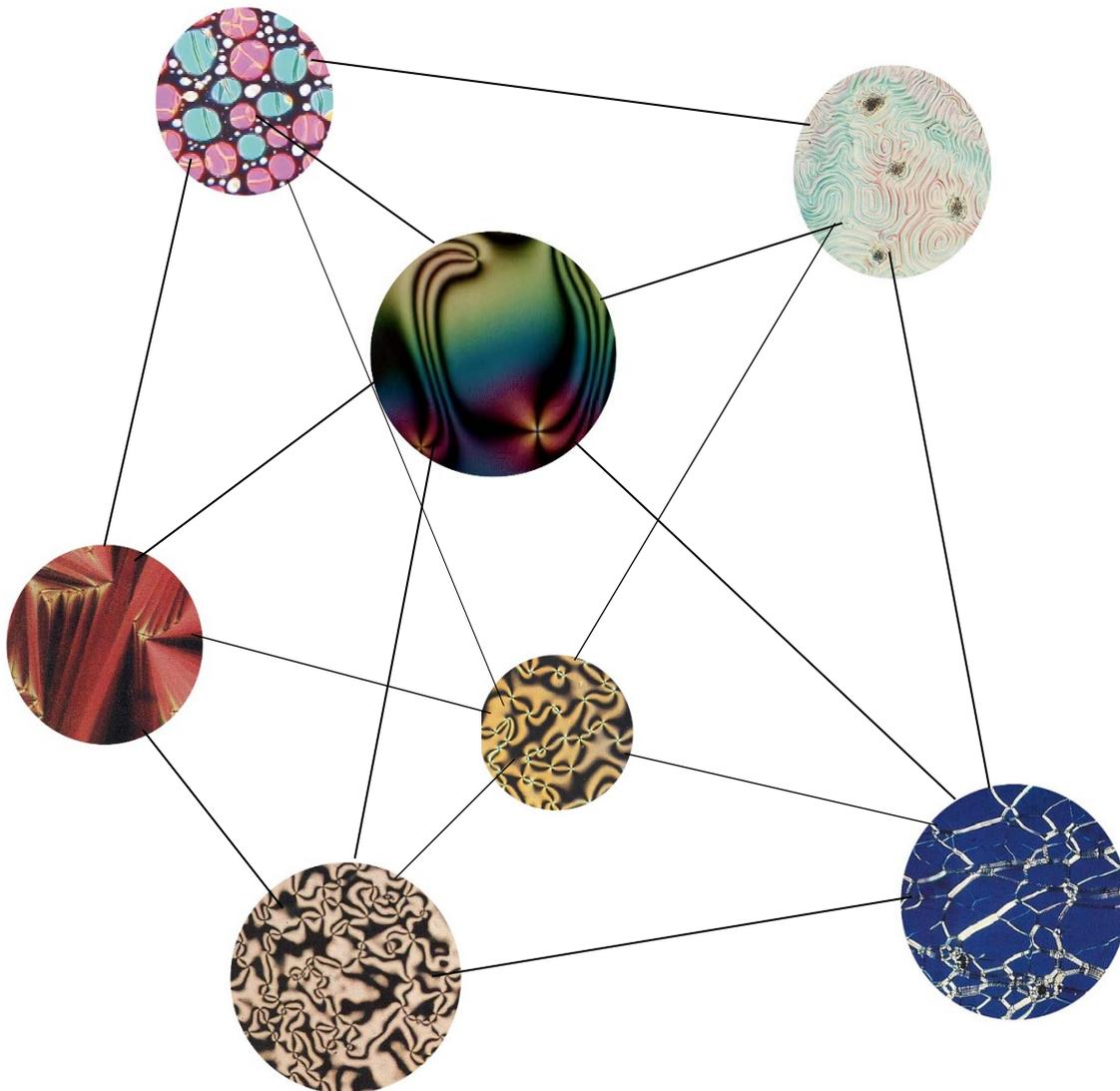
Technische Universität Braunschweig

Fakultät für Lebenswissenschaften

Seminararbeit im Fach Physikalische Chemie zur Vorlesung

Kolloid- und Grenzflächenchemie im SS 2006 (PC V)

Thema: Flüssigkristalle



Seminarleiter: Dr. Rudolf Tuckermann

Verfasser: Birte Haberlag, Matrikelnummer 2768261

Anne Kristin Lüttig, Matrikelnummer 2771737

Abgabedatum: Braunschweig, den 27. Juni 2006

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	1
1. Einleitung.....	2
1.1 Historische Entwicklung	2
1.2 Flüssigkristalle.....	5
1.2.1 Thermotrope Flüssigkristalle	5
1.2.2 Lyotrope Flüssigkristalle.....	6
2. Charakterisierung des thermotropen flüssigkristallinen Zustandes.....	8
2.1 Strukturen thermotroper Flüssigkristalle.....	8
2.1.1 Nematische Phasen	9
2.1.2 Smektische Phasen	10
2.1.3 Cholesterische Phasen	10
2.2 Anisotropie	11
2.2.1 Optische Anisotropie	11
2.2.2 Dielektrische Anisotropie.....	13
2.3 Ferroelektrische Kristalle.....	14
2.4 Elastizität.....	15
2.5 Chiralität.....	16
3. Technische Anwendungen von Flüssigkristallen	18
3.1 Anwendungen thermotroper Flüssigkristalle	18
3.1.1 TN- Anzeigen	18
3.1.2 TFT- Anzeigen	20
3.2 Anwendungen lyotroper Flüssigkristalle.....	21
4. Ausblick.....	23
4.1 „Flüssigkristalle aus bananenförmigen Molekülen“	23
4.2 OLED-Displays.....	24
5. Literaturverzeichnis	26
6. Anhang.....	28
6.1 Demonstrationsexperiment 1	28
6.2 Demonstrationsexperiment 2	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vereinfachte Übersicht zu den Konzentrationsgebieten der Bildung von Kugelmizellen, Stäbchenmizellen und lyotropen Flüssigkristallen bei konstanter Temperatur.....	6
Abbildung 2:	Strukturbildung lyotroper Flüssigkristalle in Abhängigkeit von der Tensidkonzentration	7
Abbildung 3:	Flüssigkristalltypen	8
Abbildung 4:	Molekülanordnung in einer diskotischen Phase	8
Abbildung 5:	Molekülbau thermotroper Flüssigkristalle.	9
Abbildung 6:	Molekülanordnung in einer nematischen Phase	9
Abbildung 7:	Molekülanordnung in der S_C -Phase.....	10
Abbildung 8:	Molekülanordnung in der S_A -Phase.....	10
Abbildung 9:	Molekülanordnung in der cholesterischen Phase	10
Abbildung 10:	Doppelbrechung an einem nematischen Flüssigkristall.....	11
Abbildung 11:	Temperaturabhängigkeit des Ordnungsgrads in einer nematischen Phase	12
Abbildung 12:	Temperaturabhängigkeit anisotroper Eigenschaften	13
Abbildung 13:	Orientierung im elektrischen Feld	13
Abbildung 14:	Einige käufliche ferroelektrische Flüssigkristalle	15
Abbildung 15:	Elastische Deformation im Flüssigkristall.....	15
Abbildung 16:	Helikale Überstrukturen in Flüssigkristallen aus chiralen kalamitischen Molekülen.....	16
Abbildung 17:	Polarisatoren in einem isotropen Medium	19
Abbildung 18:	Aufbau der TN-Zelle.	19
Abbildung 19:	TFT-Anzeige.....	20
Abbildung 20:	Flüssigkristalline Arzneistoffe	22
Abbildung 21:	bananen-förmige Molekülstruktur	23
Abbildung 22:	Polarisations-mikroskopische Variationen der B_7 -Phase	24
Abbildung 23:	Vom Klärpunkt bis zum Schmelzpunkt (Cholesterylbenzoat)	28
Abbildung 24:	Schematische Darstellung der Ordnungsprinzipien eines Kristalls, eines nematischen Flüssigkristalls und einer isotropen Schmelze. .	29
Abbildung 25:	Verdrillte Struktur der nematischen Phase in der Schadt-Helfrich-Zelle im nicht-geschalteten Zustand	30
Abbildung 26:	Aufbau einer Flüssigkristallanzeige.	30

Die Abbildung auf dem Titelblatt zeigt die fünfeckige Anordnung der Atome in Flüssigkeiten, wobei die Atome durch polarisationsmikroskopische Aufnahmen flüssigkristalliner Phasen dargestellt sind [11].

1. Einleitung [1, 12]

„Die Substanz zeigt zwei Schmelzpunkte, wenn man sich so ausdrücken darf. Bei 145,5 Grad Celsius schmilzt sie zunächst zu einer trüben, jedoch völlig flüssigen Flüssigkeit. Dieselbe wird erst bei 178,5 Grad Celsius plötzlich völlig klar.“

Dies ist ein Ausschnitt aus dem Brief, in dem der österreichische Botaniker Friederich Reinitzer am 14.03.1888 den deutschen Physiker Otto Lehmann (Professor an der TH Aachen) um Hilfe bat. Mit der Entdeckung dieses Phänomens begann Ende des 19. Jahrhunderts die Forschung an Flüssigkristallen.

1.1 Historische Entwicklung [1, 2]

Die historische Entwicklung der Flüssigkristallforschung wird im Folgenden in drei Phasen gegliedert: die Anfänge der Forschung bis 1925, die Stagnation der Forschung von 1925 – 1960 sowie der Wiederbeginn der Forschung von 1960 bis heute.

Anfänge der Forschung bis 1925

Am 14.03.1888 beobachtete Friederich Reinitzer, der an der deutschen Universität in Prag beschäftigt war, bei der Analyse von pflanzlichen Inhaltsstoffen, dass das Cholesterylbenzoat bei 145°C zunächst in eine trübe Flüssigkeit und erst bei einer Temperatur von 178°C in eine klare Flüssigkeit übergeht. Reinitzer bat Lehmann, der sehr gute Polarisationsmikroskope entwickelte, um Unterstützung zur Aufklärung dieses Phänomens. Der Physiker Lehmann untersuchte die Substanz mit einem Polarisationsmikroskop und stellte fest, dass sich zwischen der flüssigen und festen Phase noch eine Art Zwischenphase befindet, die identische Eigenschaften unter dem Mikroskop wie z.B. eine starke Doppelbrechung zeigt.

1889 beschrieb Otto Lehmann die Eigenschaften der fließenden Kristalle und führte unter dem Namen „flüssige Kristalle“ den neuen, vierten Aggregatzustand ein. Dieser Schritt führte zu großen Diskussionen in physikalischen Fachkreisen und renommierte Wissenschaftler wie Tammermann, Nernst oder auch Quincke wollten einem vierten Aggregatzustand nicht zustimmen. Anerkennung und Akzeptanz fanden die Flüssigkristalle erst in den 1920er Jahren.

Der niederländische Chemiker Jaeger entdeckte 1906 durch polarisationsmikroskopische Versuche die grundlegenden Strukturen der flüssigkristallinen Phase: die nematische, cholesterische und die smektische Phase.

Anfang des 20. Jahrhunderts setzte Vorländer in Halle/Saale die experimentelle Arbeit Jaegers fort. Neben der Beobachtung verschiedener smektischer Strukturen für synthetische Verbindungen stellte er die bis heute gültige Hypothese auf, dass ein langgestreckter Molekülbau Grundvoraussetzung für die Ausbildung flüssigkristalliner Phasen sei.

Bereits 1888 konnte Reinitzer beim Erkalten seiner Präparate kurz vor dem Erstarren sehr auffällige Farbentwicklungen, auch blaue Phasen genannt, beobachten. Vorländer erkannte 1914, dass es einen Zusammenhang zwischen den Reflexionsfarben, der starken optischen Drehung und der optischen Aktivität der Moleküle geben müsse. Erst gegen Ende des letzten Jahrhunderts konnte aufgeklärt werden, dass die Flüssigkristalle beim Abkühlen nicht gleich in die cholesterische Phase übergehen, sondern vorher den Temperaturbereich der blauen Phasen durchlaufen müssen, in denen sie eine kubische Symmetrie aufweisen.

Schließlich ist noch zu erwähnen, dass der elektrooptische Effekt, der als Grundlage für die Flüssigkristalldisplays dient, bereits 1918 von Björnstall entdeckt wurde. Da sich in der damaligen Zeit das technische Ausmaß dieser Beobachtungen nicht erahnen ließ, wurde er nicht weiter erwähnt und erst in den 1960er Jahren durch Heilmeyer wiederentdeckt und erfolgreich vermarktet.

Stagnation der Forschung 1925 - 1960

Mitte der 1920er Jahre schwand das Interesse an Flüssigkristallen immer mehr. Dies lässt sich auf die Annahme, dass alle wissenschaftlichen Grundlagen der Flüssigkristalle erforscht seien, zurückführen. Zudem wurde keine technische Anwendungsmöglichkeit der Forschungsergebnisse gesehen.

Während der Nachkriegszeit des 1. Weltkrieges und während der gesamten Periode des 2. Weltkriegs hatte die Flüssigkristallforschung eine Nischenposition, da es für damalige Geldgeber einfach wichtigere Forschungsziele zu verfolgen gab, wie z.B. Fortschritte in der Atomphysik.

Trotz allem konnten in folgenden Themengebieten Fortentwicklungen beobachtet werden:

- § Erforschung des Einflusses elektrischer und magnetischer Felder auf Flüssigkristalle,
- § Messungen der anisotropen physikalischen Eigenschaften von Flüssigkristallen,
- § Entdeckung des Bereichs neuer flüssigkristalliner Materialien sowie Zusammenhänge zwischen der Struktur und Stoffeigenschaften der Materialien,
- § die Entwicklung von Theorien des flüssigkristallinen Zustands.

Wiederbeginn der Forschung 1960 - heute

1966 belebten die amerikanischen Forscher James Fergason und George Heilmeyer mit ihren Arbeiten zu technischen Anwendungsmöglichkeiten von Flüssigkristallen die Forschung erneut. Der Durchbruch gelang Heilmeyer 1968, als er das erste Flüssigkeitsdisplay der Welt präsentierte. Auf der 2. internationalen Flüssigkristallkonferenz, die im selben Jahr in Kent (USA) stattfand, war die Vision der flachen Fernseher geboren worden.

1971 entdeckte Fergason, zeitgleich mit den Schweizern Martin Schadt und Werner Helfrich die TN-Zelle (twisted nematic cell d.h. nematisch verdrillte Zelle), die geschichtlich betrachtet der Urtyp aller flüssigkristallinen Anzeigen ist.

George Gray entdeckte 1973 Flüssigkristalle (cyano-biphenyle), die bei Raumtemperatur eine stabile nematische Phase aufweisen und sich damit für den Einsatz in TN-Zellen eignen. Bis zu diesem Zeitpunkt lag die Betriebstemperatur der ersten Displays bei ca. 80°C.

1980 wurde von der Firma Merck (Darmstadt) die erste winkelunabhängige TN-Zelle entwickelt. Sie bildet die Grundlage aller aktiv-matrix abgesteuerten Flachbildschirme. 1990 wurde vom Fraunhofer Institut Freiburg die absolute Lesbarkeit von Flüssigkristall-Anzeigen entwickelt, das so genannte in-plane-switching.

Seit den 1980er Jahren begannen LCDs aufgrund ihres niedrigen Gewichts, ihres niedrigeren Energieverbrauchs und ihrer Strahlungsfreiheit sich gegen konkurrierende Technologien wie Leuchtdioden (LED`s) oder auch Vakuumfluoreszenzanzeigen (VFD`s) zu behaupten und durch den starken Forschungsfortschritt auf dem Gebiet der Flüssigkristalle auch teilweise zu verdrängen.

Durch die schnellen Forschungsfortschritte sowie die gute Anwendbarkeit der Flüssigkristalle in der Bildschirmindustrie fanden die Projekte auch immer mehr Förderer, die die Forschung mit zum Teil großem finanziellen Aufwand vorantrieben.

Zurzeit werden aber auch schon die konventionellen Displays mit Kathodenstrahlröhren durch die LCD-Technologie, die fast schon zu einer Schlüsseltechnologie geworden ist, immer mehr vom Markt verdrängt.

Heute ist es möglich, superfluorierte Flüssigkristalle mit Schaltzeiten von weniger als 12 Millisekunden zu synthetisieren.

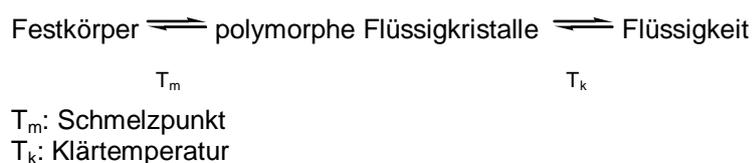
1.2 Flüssigkristalle [2, 4]

Flüssigkristalle sind langreichweitig geordnete Flüssigkeiten (anisotrope Fluide), in denen weder eine genau zu charakterisierende Flüssigkeit noch eine kristalline Phase vorliegt, in bestimmten Temperaturbereichen jedoch beide Phasen nebeneinander existieren. Daher wird bei der Beschreibung des flüssigkristallinen Zustands häufig der Begriff „Mesophase“ verwendet. Flüssigkristalle verbinden Eigenschaften von Flüssigkeiten wie z.B. das Fließverhalten mit den elektrischen und optischen Eigenschaften von kristallinen Feststoffen.

Aufgrund des steigenden Einsatzes thermotroper Flüssigkristalle in der Technik wird die Charakterisierung des thermotropen flüssigkristallinen Zustands sowie die Anwendung der thermotropen Flüssigkristalle den Schwerpunkt dieser Seminararbeit bilden.

1.2.1 Thermotrope Flüssigkristalle

Das von Reinitzer geschilderte Phänomen, am Beispiel des Cholesterylbenzoats erklärt, beschreibt exakt das Verhalten thermotroper Flüssigkristalle:



Am Schmelzpunkt verändert sich die Translationsfernordnung der Molekülschwerpunkte langsam und schrittweise. Im Bereich der polymorphen Flüssigkristalle liegt die Sub-

stanz als kristalline Flüssigkeit vor, d.h., dass die Fernordnungsstruktur noch immer nicht vollständig abgebaut ist. Dies passiert erst im Gebiet der isotropen Flüssigkeit: nach dem Überschreiten der Klärtemperatur tritt die Trübe des flüssigkristallinen Zustands nicht mehr auf und es liegt eine reine Flüssigkeit vor.

Bei thermotropen Flüssigkristalle vollziehen sich die Phasenumwandlungen zwischen Kristall, Flüssigkristall und isotroper Flüssigkeit unter Temperaturerhöhung. Strukturell betrachtet stehen sie der Fernordnungsstruktur von Festkörpern näher als den Nahordnungsstrukturen von Flüssigkeiten.

Die meisten Flüssigkristalle sind aus stäbchenförmigen (kalamitischen) Molekülen oder aus scheibenförmigen (discotischen) Molekülen aufgebaut (siehe 2.1).

Die bereits beschriebenen „Blauen Phasen“ (BP), eine besondere Form der cholesterischen Phasen nach Vorländer, bilden eine eigene Subklasse, wobei zwischen den Modifikationen BP I, BP II und BP III differenziert wird. Die kubischen und helikalen Monokristalle können beim Anlegen einer elektrischen Spannung optisch sichtbar gemacht und gezüchtet werden, zerfallen allerdings beim Anlegen äußerer Scherkräfte plötzlich.

Unter Ausnutzung ihrer elektrooptischen Eigenschaften werden thermotrope Flüssigkristalle zur Herstellung von Displays angefangen von Uhren bis hin zu TV-Großbildschirmen verwendet (siehe 4.).

1.2.2 Lyotrope Flüssigkristalle

Im Gegensatz zu thermotropen Flüssigkristallen ist die Bildung von lyotropen Flüssig-

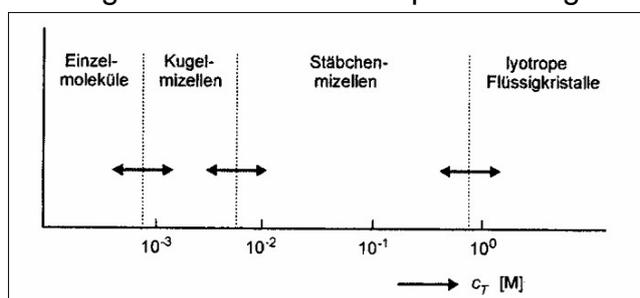


Abbildung 1: Vereinfachte Übersicht zu den Konzentrationsgebieten der Bildung von Kugelmizellen, Stäbchenmizellen und lyotropen Flüssigkristallen bei konstanter Temperatur (c_T = Tensidkonzentration) [2].

kristallen von der Temperatur sowie von der Tensidkonzentration abhängig. Die Bildung lyotroper Flüssigkristalle verläuft schrittweise von der mikroskopischen über eine mesoskopische zur makroskopischen Ebene. Sie entstehen durch Aggregation meist amphiphiler Moleküle (langkettige Alkohole, Fettsäuren etc.) in einem Lösungsmittel (meist Wasser) zu lyotrop-flüssigkristallinen Mischphasen.

Grundlage für die Ausbildung lyotroper Mesophasen ist die Mizellgeometrie in Form von Kugelmizelle, Stäbchenmizelle oder Diskenmizelle.

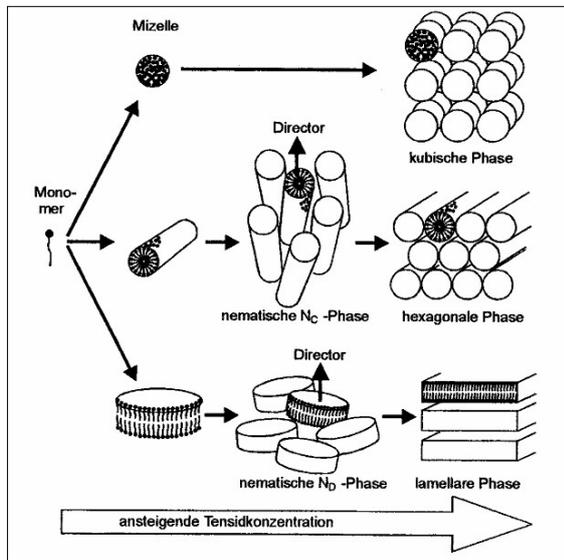


Abbildung 2: Strukturbildung lyotroper Flüssigkristalle in Abhängigkeit von der Tensidkonzentration durch den Prozess der Selbstorganisation aus Tensidmolekülen zu Mizellen unterschiedlicher Geometrie und anschließende Überstrukturierung. [2]

kettensteife lang gestreckte Makromoleküle wie z.B. DNA-Helixe können in Lösung lyotrope Flüssigkristalle bilden.

Eine klare Abgrenzung zwischen lyotropen und thermotropen Flüssigkristallen ist allerdings nicht möglich, da auch lyotrope Flüssigkristalle thermisch induzierte Phasenumwandlungen aufweisen. Daher werden Systeme mit starkem lyotropen und thermotropen Verhalten auch als amphotrop bezeichnet.

Lyotrope Flüssigkristalle werden hauptsächlich in der Waschmittelindustrie, in der Kosmetik sowie in der Medizin bzw. Pharmazie eingesetzt.

Nach der Mizellbildung erfolgt Bildung hoch geordneter Systeme in Abhängigkeit zur Konzentration. Anders als die thermotropen Flüssigkristalle lassen sich die lyotropen Flüssigkristalle eher mit der Nahordnungsstruktur von Flüssigkeiten beschreiben. Dies erklärt ihr Bestreben zur Selbstorganisation von Überstrukturen in Form lamellarer, hexagonaler, lyotrop-nematischer, lyotrop-cholesterischer und kubisch flüssig-kristalliner Phasen.

Die Beschreibung des lyotropen flüssig-kristallinen Zustands erfolgt durch Zustandsdiagramme binärer, ternärer oder sogar quaternärer Systeme. Auch

2. Charakterisierung des thermotropen flüssigkristallinen Zustandes [4, 6, 7]

Ein klassischer Kristall unterliegt einem dreidimensionalen Ordnungsprinzip. Er baut sich aus einer Elementarzelle auf, die sich in allen drei Raumrichtungen identisch wiederholt.

Flüssigkristalle haben zwar einen ähnlich periodischen Aufbau, allerdings ist dieser auf zwei oder sogar nur eine Dimension beschränkt und lediglich im statistischen Mittel vorhanden. Verursacht wird diese teilweise Ordnung durch die vorzugsweise parallele Ausrichtung der Moleküle mit ihren Längsachsen aufgrund ihrer Wechselwirkungskräfte.

Je nach der chemischen Struktur der Moleküle, nach ihrem Dipolmoment und nach anderen Eigenschaften können sich vielerlei energetisch günstige ein- und zweidimensional Ordnungszustände einstellen.

2.1 Strukturen thermotroper Flüssigkristalle [5, 7, 19, 22, 24]

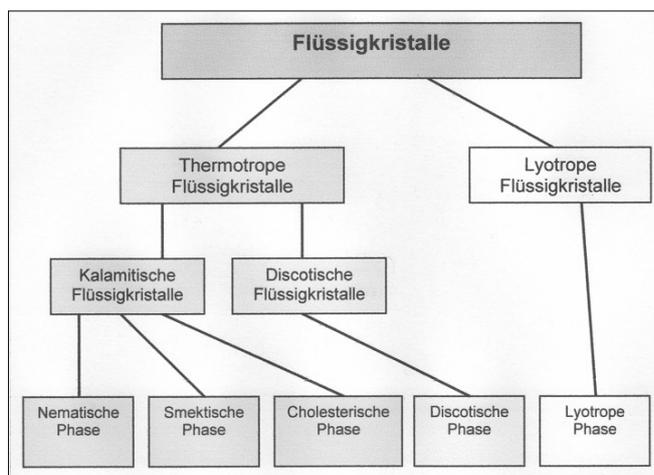
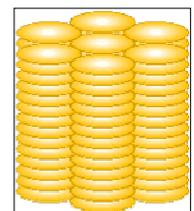


Abbildung 3: Flüssigkristalltypen [7]

Die meisten thermotropen Flüssigkristalle haben eine kalamitische¹ Molekülgestalt. Es sind jedoch auch andere Formen möglich, zum Beispiel wie Abbildung 3 dargestellt und in der Einleitung erwähnt, diskotische² Flüssigkristalle (siehe Abbildung 4).



Desweiteren können pyramidoide³, sanidische⁴, polycatenare⁵ oder bananenförmige⁶ Moleküle auftreten.

Abbildung 4: Molekülanordnung in einer diskotischen Phase [19]

¹ stäbchenförmig

² scheibchenförmig

³ schüssel- oder kegelförmige

⁴ brettartige

⁵ kalamitische mit mehreren flexiblen Ketten an einem oder beiden Enden

⁶ gebogene

Die thermotropen calamitischen Flüssigkristalle werden in drei verschiedene Phasen, nematische⁷, cholesterische⁸ und smektische⁹, eingeteilt. Eine bestimmte flüssigkristalline Substanz ist allerdings nicht auf eine einzige dieser Phasen beschränkt. Mit steigender Temperatur kann sie zum Beispiel aus dem festen kristallinen Zustand zunächst in eine smektische und dann in eine nematische Phase übergehen, bevor sie dann am Klärpunkt¹⁰ isotrop wird.

In Abbildung 5 sind drei mögliche Strukturtypen thermotroper Flüssigkristalle dargestellt. Als starre Gruppen S dienen in den meisten Fällen Benzenringe und andere Aromaten, als Mittelteil X meist Imino-, Azoxy-, Azo- und Carbonylgruppen. Der Teil X

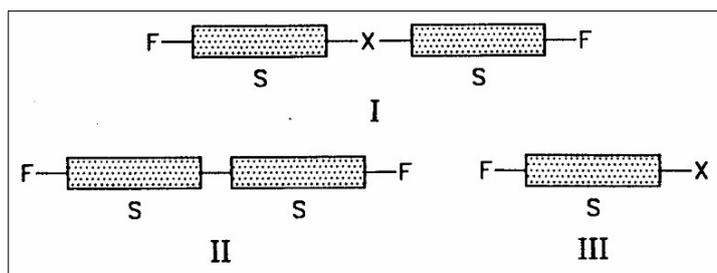


Abbildung 5: Molekülbau thermotroper Flüssigkristalle (F = Flügelgruppe, S = starrer Molekülbaustein, X= Mittelteil bzw. polarer Gruppe) [7].

kann auch als endständige polare Gruppe, zum Beispiel als Carboxylgruppe wie im Strukturtyp III dargestellt, auftreten. Die Flügelgruppen F werden meist aus Alkyl-, Alkoxy-, Ester- und Cyano-Funktionen gebildet. Eine davon ist normalerweise deutlich polar. Die annähernde Linearität der Moleküle wird durch Aromateneinheiten und durch (E)-konfigurierte Doppelbindungen im Mittelteil gewährleistet. Dementsprechend sollte dieser Teil möglichst aus einer geraden Anzahl von Atomen bestehen.

2.1.1 Nematische Phasen

Die nematische Phase achiraler Mesogene ist der einfachste Typ flüssigkristalliner Phasen. Sie ist am wenigsten geordnet, da lediglich die Längsachsen der Moleküle eine Vorzugsrichtung aufweisen. Diese Orientierungsvorzugsrichtung der Moleküle ist parallel zur optischen Achse angeordnet. Die Moleküle sind in der Längsrichtung frei verschiebbar

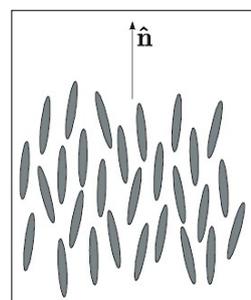


Abbildung 6: Molekülanordnung in einer nematischen Phase [11]

⁷ griechisch nema: Faden, fadenförmige Texturbilder der nematischen Phase

⁸ abgeleitet von den zugrunde liegenden Cholesterolester-Molekülen

⁹ griechisch smega: Seife, auf Textur der Seifen zurückzuführen

¹⁰ Temperatur des Übergangs der anisotropen in die isotrope Flüssigkeit

und können auch um 180° umklappen, das heißt ihr Vorder- und Hinterende vertauschen.

2.1.2 Smektische Phasen

Bei den smektischen Phasen sind die Moleküle auch parallel zueinander angeordnet, allerdings fügen sie sich zu Schichten zusammen, wodurch sich unterschiedliche Modifikationen ergeben. Dabei kann die Moleküllängsachse senkrecht auf der Schichtebene stehen (smektisch A) oder einen bestimmten Winkel mit ihr bilden (smektisch C). Andere smektische Phasen besitzen eine zusätzliche Ordnung innerhalb der Schichtebenen, zum Beispiel durch Ausbildung einer hexagonalen Struktur (smektisch B). Die Bezeichnung der unterschiedlichen smektischen Phasen ergibt sich aus der Reihenfolge ihrer Entdeckung.

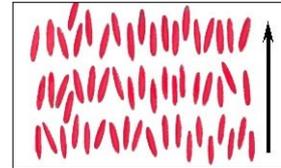


Abbildung 8: Molekülanordnung in der S_A -Phase (smektisch A) [19]



Abbildung 7: Molekülanordnung in der S_C -Phase (smektisch C) [19]

2.1.3 Cholesterische Phasen

Cholesterische Flüssigkristalle haben die komplizierteste Struktur. Zwar sind auch hier die Moleküle in Schichten angeordnet, ihre Längsachsen liegen jedoch in der Schichtebene und ihre Vorzugsrichtung verschiebt sich von Schicht zu Schicht um einen bestimmten Betrag. Wird die Hauptrichtung in jeder Ebene durch einen Pfeil beschrieben, so liegen die Spitzen dieser Pfeile auf einer schraubenförmigen Kurve oder Helix.

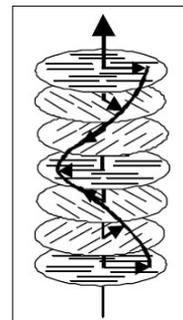


Abbildung 9: Molekülanordnung in der cholesterischen Phase [11]

2.2 Anisotropie [2, 7, 9, 11]

Die räumliche Ordnung der Moleküle in einem Flüssigkristall bewirkt, dass viele seiner Eigenschaften richtungsabhängig sind. Eine wichtige Rolle spielen dabei insbesondere für den Einsatz in LCDs, die optische und dielektrische Anisotropie.

2.2.1 Optische Anisotropie

Die optische Anisotropie eines Flüssigkristalls äußert sich primär in der Fähigkeit zur Doppelbrechung. Er spaltet einen quer zur Vorzugsrichtung einfallenden Lichtstrahl in zwei zueinander senkrecht polarisierte Strahlen auf, die sich unterschiedlich schnell ausbreiten und somit auch zwei verschiedene Brechungsindices haben. Die Differenz zwischen beiden, gemessen bei einer bestimmten Temperatur und Wellenlänge, dient als direktes Maß für die Doppelbrechung von flüssigen Kristallen.

Der Wert der Brechungsindices wird durch die Polarisierbarkeit der Moleküle bei optischen Frequenzen bestimmt und hängt stark von den im Molekül vorhandenen Bindungstypen ab. So begünstigen aromatische Ringe und Seitengruppen hohe Brechungsindices.

Bei nematischen und smektischen Phasen fällt die optische Achse mit der Vorzugsrichtung der Molekülachsen, die zugleich die Richtung größter Polarisierbarkeit ist, zusammen. Deshalb wird Licht, dessen elektrischer Feldvektor parallel zur optischen Achse schwingt (außerordentliche Strahl mit Brechungsindex n_e), stärker gebrochen als Licht, dessen elektrischer Feldvektor senkrecht zur optischen Achse schwingt (ordentliche Strahl mit dem Brechungsindex n_o).

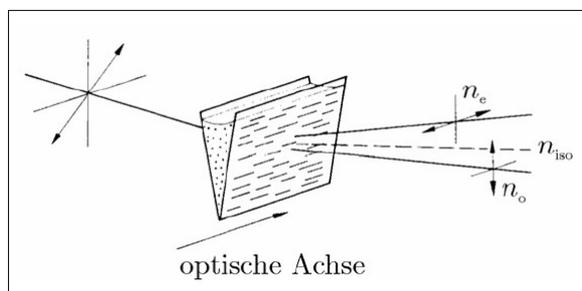


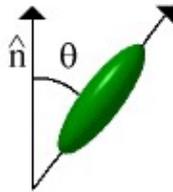
Abbildung 10: Doppelbrechung an einem nematischen Flüssigkristall (Direktor ist optische Achse): Der elektrische Feldvektor des außerordentlichen Strahls schwingt parallel zum Direktor ($n_e = n_{||}$), der des ordentlichen Strahls senkrecht zum Direktor ($n_o = n_{\perp}$) [11].

Folglich liegt eine positive Doppelbrechung vor, da $\Delta n = n_e - n_o > 0$ ist.

Bei cholesterischen Flüssigkristallen steht die optische Achse jedoch senkrecht zur Vorzugsrichtung der Moleküllängsachsen, das heißt $\Delta n = n_e - n_o < 0$. Daher handelt es sich in diesem Fall um eine negative Doppelbrechung.

Die Doppelbrechung ist mit der Dichte und dem Grad der Parallelordnung der Moleküle gekoppelt. Zur Beschreibung dieses Sachverhaltes wurde der Ordnungsgrad S eingeführt:

$$S = \frac{1}{2} \langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle$$



Er ist abhängig vom Winkel θ zwischen der Moleküllängsachse und dem Direktor \vec{n} . Dabei wird der Mittelwert der Orientierungsverteilung aller Moleküle angegeben.

Bei vollkommener Parallelordnung aller Moleküle ergibt sich ein Ordnungsgrad von $S=1$. $S=0$ würde eine fehlende Vorzugsorientierung anzeigen, das heißt, es läge eine vollständig parallele Ausrichtung aller Moleküle vor, ein Idealzustand, der zum Beispiel in einer isotropen Phase herrscht.

Allerdings ist der Ordnungsgrad temperaturabhängig. So nimmt er in der N-Phase und wahrscheinlich auch in der N*-Phase mit der Temperatur ab (siehe Abbildung 11).

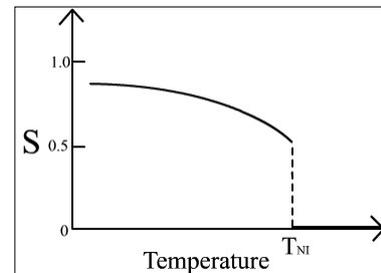


Abbildung 11: Temperaturabhängigkeit des Ordnungsgrads in einer nematischen Phase [19]

Dies ist auch bei der smektischen Phase der Fall, jedoch ist die Temperaturabhängigkeit hier wesentlich weniger stark ausgeprägt und somit die Abnahme des Ordnungsgrad auch nicht so groß.

Bei smektischen Phasen wird also eine wesentlich geringere Temperaturabhängigkeit der Brechung bzw. Doppelbrechung als bei nematischen Phasen beobachtet, was hauptsächlich durch Dichteänderungen verursacht wird.

Von Bedeutung für den im nächsten Kapitel beschriebenen Einsatz in LCDs sind jedoch nur nematische Flüssigkristalle.

Je größer die Doppelbrechung, desto unterschiedlicher sind die Geschwindigkeiten, mit denen verschieden polarisiertes Licht den Flüssigkristall durchquert. Andererseits lassen sich die Moleküle umso leichter im elektrischen Feld ausrichten, je größer ihre dielektrische Anisotropie ist.

Sowohl die dielektrische Anisotropie als auch die Doppelbrechung nehmen mit steigender Temperatur ab und verschwinden beim Übergang in die flüssige Phase (siehe Abbildung 12). Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten des polarisierten Lichtes sind eine entscheidende Grundlage für die Verwendung von Flüssigkristallen in Displays.

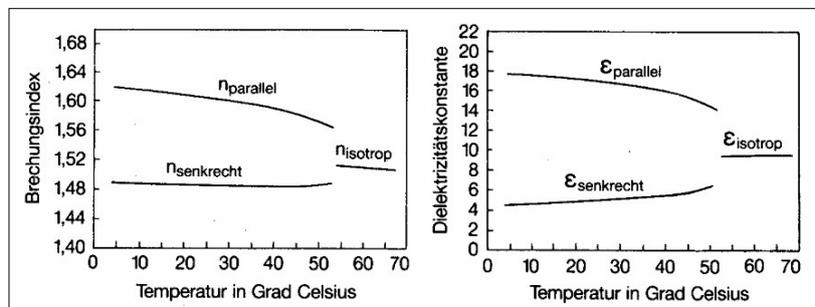


Abbildung 12: Temperaturabhängigkeit anisotroper Eigenschaften [7]

2.2.2 Dielektrische Anisotropie

Die dielektrische Anisotropie beschreibt die Richtungsabhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten ϵ , die beim Einbringen der Substanz in das elektrische Feld sichtbar wird. Dabei spielen sowohl die Polarisierbarkeit des Moleküls als auch permanente Dipolmomente eine Rolle.

Polarisierbarkeit

Befindet sich ein Flüssigkristall in einem elektrischen Feld, kann dieser durch Verschiebungen von Ladungen ein induziertes Dipolmoment erhalten, dessen Größe von der Polarisierbarkeit des Moleküls abhängt. Diese ist bei Flüssigkristallen anisotrop, so dass die Größe der induzierten Dipolmomente letztlich von der gegenseitigen Orientierung des elektrischen Feldes und der Molekülachsen abhängt.

Permanentes Dipolmoment

Befindet sich ein Molekül mit einem permanenten Dipolmoment μ in einem elektrischen Feld \vec{E} , so wirkt darauf ein Drehmoment, das zu einer Ausrichtung des Dipols parallel zum elektrischen Feld führt.

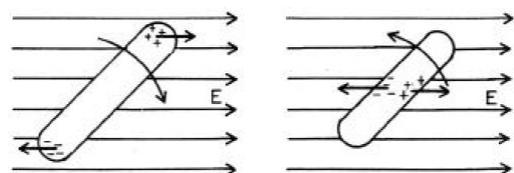


Abbildung 13: Orientierung im elektrischen Feld [9]

Viele stäbchenförmige Flüssigkristalle besitzen ein permanentes Dipolmoment in Richtung der Moleküllängsachse und orientieren sich dementsprechend im elektrischen Feld.

Die Dielektrizitätskonstante ϵ einer Substanz ist sowohl von der Polarisierbarkeit als auch vom permanenten Dipolmoment abhängig. Daher führen die Anisotropie der Polarisierbarkeit und das Vorhandensein eines permanenten Dipolmomentes zur Anisotropie der Dielektrizitätskonstanten. Da die Polarisierbarkeit parallel zur Moleküllängsachse größer ist als senkrecht dazu und das permanente Dipolmoment meist parallel zur Längsachse liegt, ist in der Regel ϵ_p deutlich größer als ϵ_s . Die meisten stäbchenförmigen Flüssigkristallmoleküle orientieren sich mit ihrer Längsachse daher nahezu parallel zum elektrischen Feld.

Die Stärke der Wechselwirkung der Kalamiten mit dem elektrischen Feld hängt von der dielektrischen Anisotropie $\Delta\epsilon = \epsilon_p - \epsilon_s$ ab. Je größer $\Delta\epsilon$ ist, desto schneller erfolgt die Ausrichtung der Flüssigkristallmoleküle beim Anlegen eines elektrischen Feldes.

Die schnelle Ausrichtung von nematischen Flüssigkristallen im elektrischen Feld ist entscheidend für die Funktionsweise von LCDs.

2.3 Ferroelektrische Kristalle [2, 5, 14, 17, 20, 21]

Ferroelektrische Flüssigkristalle sind anisotrop-flüssigkristalline chirale Substanzen, die bei Abwesenheit eines angelegten Feldes ein permanentes Dipolmoment besitzen. Dieses Moment wird auch als ferroelektrische Polarisation bezeichnet und basiert auf der Orientierung molekularer Dipole in der flüssig-kristallinen Phase.

Im Wesentlichen handelt es sich dabei um spezielle Eigenschaften smektischer Phasen. So besitzen die einzelnen Schichten in der S_C -Phase ferroelektrische Eigenschaften. Sie haben große technische Bedeutung, da sie zur Verkürzung der Schaltzeiten in Flüssigkristalldisplays beitragen sollen.

Kurzgefasst sind S_C -Flüssigkristalle Substanzen, die elektrische Polarisation zeigen, ohne dass ein externes elektrisches Feld angelegt wurde, und deren Polarisation durch ein derartiges Feld reorientiert werden kann.

Daraus ergibt sich auch der Vorteil ferroelektrischer Kristalle, denn mit Hilfe eines von außen angelegten Feldes kann zwischen zwei stabilen Zuständen geschaltet werden. Dabei orientieren sich die gleichgerichteten Molekül-Dipole in Feldrichtung. Diese Eigenschaft kann für die Informationsspeicherung genutzt werden. Außerdem sind Flüssigkristalle für neue elektrooptische Technologien von Interesse (siehe 4.).

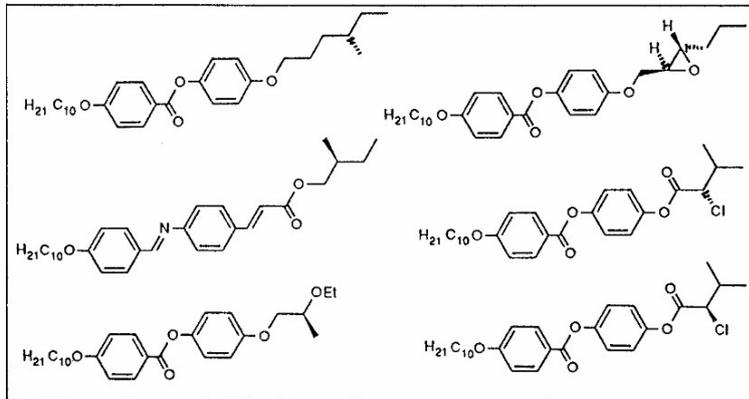


Abbildung 14: Einige käufliche ferroelektrische Flüssigkristalle [5]

2.4 Elastizität [3, 11]

Die Eigenschaften der Flüssigkristalle sind wesentlich durch ihr elastisches Verhalten bestimmt. Es gibt drei Grundtypen der Verbiegung des Direktorfeldes, auch Deformation genannt, mit jeweils einer zugehörigen elastischen Konstante. Eine mögliche Deformation ist die Spreizung¹¹ wie anhand der Feldlinien in Abbildung 15 zu erkennen ist. Eine andere mögliche Deformation ist die Biegung¹². Im Feldlinienbild ergeben sich hier durchgebogene Linien. Die dritte Grunddeformation ist die Verdrillung¹³, die die Grundlage der TN-Zelle darstellt.

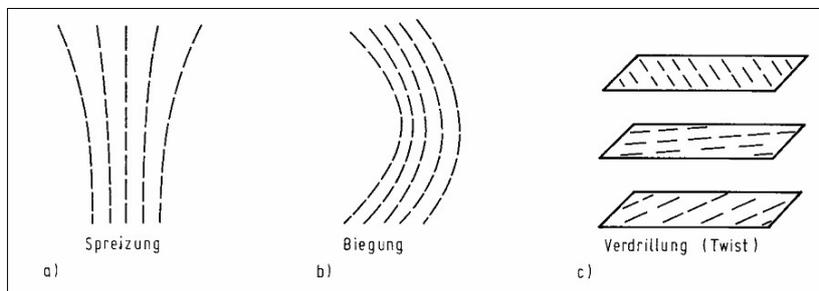


Abbildung 15: Elastische Deformation im Flüssigkristall anhand der entsprechenden Feldlinien [3].

¹¹ engl. splay

¹² engl. bend

¹³ engl. twist

Diese Grunddeformationen beschreiben die Orientierungselastizität der flüssigkristallinen Phase vollständig.

Alle elastischen Konstanten sind klein (0.1 J/m^3) und von ähnlicher Größe, so dass oft eine Einkonstanten-Näherung verwendet werden kann. Die Krümmungselastischen Eigenschaften sind auch verantwortlich für das Ausbilden von Domänengrenzen¹⁴, die im Polarisationsmikroskop charakteristische Texturen ergeben.

2.5 Chiralität [2, 11, 17]

„Ich nenne eine geometrische Figur oder Punktgruppe chiral und sage, dass sie Chiralität besitzt, wenn ihr Bild in einem idealen Planspiegel nicht mit ihr selbst in Übereinstimmung gebracht werden kann.“ [17]

So definierte Lord Kelvin 1884 den Begriff Chiralität¹⁵. Somit sind Moleküle nur dann chiral, wenn sie keine Spiegelebene, kein Inversionszentrum und keine Drehspiegelachse besitzen.

Durch Einbau einer Disymmetrie, das heißt optisch aktiver C-Atome in das Molekül, entsteht im Molekül eine Chiralität.

In Flüssigkristallen kann sie zu helikalen Überstrukturen der Phasen führen (siehe Abbildung 16). Der einfachste Weg ist dabei die Verknüpfung des Kerns mit chiralen Seitenketten.

Cholesterolderivate waren die klassischen Untersuchungsobjekte. Ausgehend von der nematischen Struktur führt die Chiralität des molekularen Kraftfeldes zu einer Drehung der Molekülachsen, aus der eine Verdrillung der ursprünglich nematischen Phase folgt, wodurch die Helix der cholesterischen Phase entsteht. Daher wird die cholesterische Phase auch als verdrillt nema-

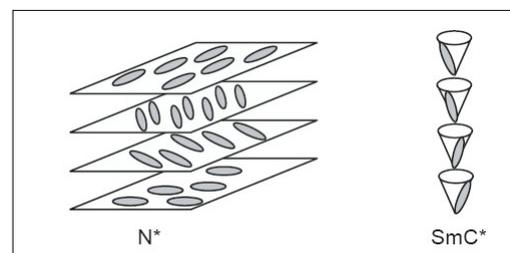


Abbildung 16: Helikale Überstrukturen in Flüssigkristallen aus chiralen calamitischen Molekülen [11].

¹⁴ engl. boundaries

¹⁵ griechisch cheir – Hand bzw. Händigkeit

tisch oder als Spezialfall der nematischen Phase bezeichnet.

Bei den smektischen Strukturen tritt die verdrehte Struktur bei der S_C -Phase auf. Sind chirale Moleküle anwesend, so wird die Vorzugsachse zur Schraubenachse, durch sukzessive Drehung der Richtung des Neigungswinkels der Molekülachsen von Schicht zu Schicht. Liegt Chiralität vor, so wird die Phase mit einem * gekennzeichnet (S_C^* -Phase). Im Gegensatz dazu ist bei der S_A -Phase mit orthogonal orientierter Längsachse eine solche Verdrillung nicht möglich.

Die helikale Struktur führt dazu, dass einfallendes Licht selektiv reflektiert wird. Stimmt die Wellenlänge λ des Lichts mit der halben Helixganghöhe p überein, so wird der Anteil des Lichts reflektiert, dessen Zirkularpolarisation der Händigkeit der Struktur entspricht. Die andere Hälfte wird transmittiert. Dies führt im sichtbaren Bereich zu intensiven, glänzenden Farben.

Durch Aufnahme eines Reflexionsspektrums lässt sich die Ganghöhe p bestimmen:

$$\lambda = np \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{n^2}}$$

Unterschreitet die Helixganghöhe in der cholesterischen Phase einen kritischen Wert, so werden die so genannten Blauen Phasen gebildet. Diese Phasen sind reich an Defekten und zeichnen sich durch mehrdimensionale Verdrillung aus. Ihr Temperaturbereich ist häufig nur wenige Kelvin breit und befindet sich zwischen der cholesterischen und der isotropen Phase.

Zurzeit sind wieder Untersuchungen von großem Interesse bei denen die Chiralität eine wichtige Rolle spielt. Dabei handelt es sich um Moleküle mit einer bananenförmigen Geometrie (vgl. 5.1). Meistens bestehen sie aus einem 1,3-substituierten Benzenring. Neben der überraschenden Eigenschaft, dass diese Moleküle überhaupt flüssigkristalline Eigenschaften besitzen, bilden sie auch chirale Strukturen aus, welche aus nicht-chiralen Molekülen bestehen.

Außerdem wurden kolumnare Phasen intensiv bearbeitet, die ebenfalls chirale Anteile besitzen können.

3. Technische Anwendungen von Flüssigkristallen [11]

Flüssigkristalle finden seit Mitte der 1960er Jahre ihre technische Hauptanwendung in den heute weit verbreiteten Flüssigkristallanzeigen und -bildschirmen (LCDs). Mit einem weltweiten Marktvolumen von derzeit 28 Milliarden US-Dollar pro Jahr sind Flüssigkristalldisplays längst zu einer etablierten Schlüsseltechnologie avanciert. Bereits jetzt decken LCDs fast 90 % des Weltmarktes für Flachbildschirme ab.

3.1 Anwendungen thermotroper Flüssigkristalle [2, 23]

Aufgrund der vielen verschiedenen Flüssigkristalle, die die Basis der elektrooptischen Anzeigesysteme bilden, sind auch die Anzeigesysteme sehr vielfältig.

Die TN-Zelle ist der Urtyp aller Flüssigkristall-Anzeigen. Ein Nachteil besteht darin, dass die Lesbarkeit der Anzeige sehr stark vom Blickwinkel abhängt. Die STN-Zelle ist eine Weiterentwicklung der TN-Zelle. Sie hat günstigere elektrische Eigenschaften für Displays, da sie sich durch eine steilere elektrooptische Kennlinie ausweist. Dadurch lässt sich die Anzahl der Bildpunkte gegenüber den passiv angesteuerten TN-Zellen deutlich erhöhen, ohne dass aktive Bauelemente benötigt werden. Eine Fortentwicklung der STN-Zelle ist z.B. die DSTN-Zelle (besteht aus zwei STN-Schichten). Die heutigen Flachbildschirme basieren auf TFT¹⁶-Displays.

3.1.1 TN- Anzeigen [2, 7, 15]

Das Prinzip der TN-Zelle (twisted nematic; verdrillt nematisch) wurde 1971 von M. Schadt und W. Helfrich und unabhängig von ihnen von James Ferguson entdeckt.

Das Grundprinzip dieser Zelle besteht darin, dass eine verdrillte Flüssigkeitsschicht die Polarisations Ebene von Licht unterschiedlich dreht, je nachdem, ob ein elektrisches Feld angelegt wird oder nicht. Das Licht kann beim Anlegen eines elektrischen Feldes zwei Polarisationsfilter passieren, während im Fall von unpolarisiertem (natürlichem Licht) nur Licht einer Polarisationsrichtung durchgelassen wird.

¹⁶ Thin-Film-Transistor

Eine TN-Zelle besteht aus einer ca. 5 Mikrometer dicken flüssigkristallinen (nematischen) Schicht zwischen zwei ebenen Glasplatten, auf die jeweils eine elektrisch

leitende, transparente Schicht aus Indium-Zinnoxid als Elektrode aufgedampft ist. Zwischen diesen Filmen und der flüssigkristallinen Schicht befindet sich eine

ebenfalls transparente Orientierungsschicht, die meist aus einem Kunststoff (z.B. Polyimiden) besteht. Sie dient dazu, durch Oberflächenkräfte die Längsachsen der benachbarten flüssigkristallinen Moleküle in eine Vorzugsrichtung zu bringen.

In der TN-Zelle sind die Orientierungsschichten so angebracht, dass die Längsachsen der Moleküle, die die obere und untere Glasfläche berühren, im ausgeschalteten Zustand um 90 Grad zueinander gedreht sind. Wegen des

Bestrebens der Moleküle in der flüssigkristallinen Schicht, sich parallel zueinander auszurichten, geht ihre Vorzugsrichtung zwischen den beiden Glasflächen graduell von derjenigen an der Ober- zu der Unterseite über und sie ordnen sich wie in einem verdrehten Band an.

Auch Polarisationsfilter sind so angebracht, dass ihre Durchlassrichtung mit der Vorzugsrichtung der Moleküllängsachsen an den beiden Glasflächen zusammenfällt. Das durchtretende polarisierte Licht lässt sich dann von den Molekülen des Flüssigkristalls leiten und folgt ihrer verdrehten Struktur, so dass seine Schwingungsebene nach Durchlaufen der Schicht an der anderen Begrenzungsfläche des Displays gleichfalls um insgesamt 90 Grad gedreht worden ist. Da es damit parallel zum zweiten Polarisationsfilter orientiert ist, kann es ungehindert aus dem Display austreten: Das Anzeigesystem ist transparent.

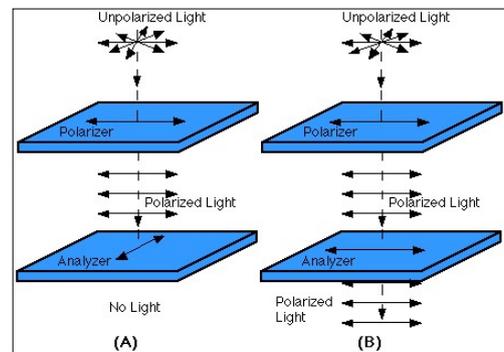


Abbildung 17: Polarisatoren in einem isotropen Medium (z.B. Luft). Die optische Durchlässigkeit der Anordnung hängt von der relativen Anordnung des Polarisators und des Analysators ab [15].

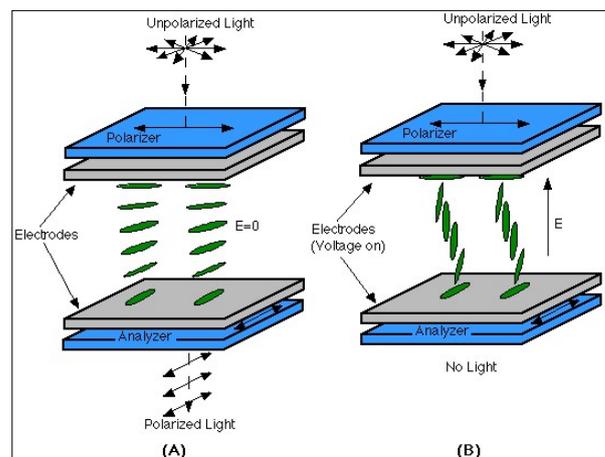


Abbildung 18: Aufbau der TN-Zelle: Der Polarisator und der Analysator sind zueinander gekreuzt und parallel zum Direktor an der jeweiligen Glasplatte orientiert [15].

Beim Anlegen einer Spannung wechselt die Anzeige nicht sofort von hell nach dunkel. Die Moleküle orientieren sich parallel zum elektrischen Feld und die Fähigkeit der Zelle, die Polarisationssebene zu drehen, geht verloren. Die Spannung muss vielmehr einen Mindestbetrag erreichen, dessen Größe von den dielektrischen Eigenschaften des flüssigen Kristalls abhängt. Je größer dessen dielektrische Anisotropie, desto niedriger ist die Schaltspannung. Wie schnell die Anzeige bei Überschreiten dieser Spannung dunkel wird, kann der elektrooptischen Kennlinie entnommen werden.

Fast alle LCD`s in Digitaluhren oder Taschenrechnern beruhen auf dem Prinzip der reflektiv betriebenen TN-Zelle. Sie enthält zusätzlich einen Spiegel (Reflektor) hinter dem zweiten Polarisator. Liegt keine Spannung an, fällt Licht durch die Zelle auf den Spiegel, wird reflektiert und tritt wieder aus der Zelle aus, die dann silbrig aussieht. Bei eingeschalteter Spannung ändert der Flüssigkristall nichts an der Polarisation des Lichts und der zweite Polarisator hindert es daran, den Spiegel zu erreichen. Es wird reflektiert und die Zelle erscheint dunkel. Werden die Elektroden in Form von Segmenten gestaltet, kann ein alphanumerisches Display konstruiert werden. Passive Anzeigen wie diese funktionieren ausschließlich im Hellen.

3.1.2 TFT- Anzeigen [7, 23]

Bei LCDs wird zwischen Aktiv-Matrix- und Passiv-Matrix-Displays unterschieden. In der Passiv-Matrix findet, wie in 3.1.1 erwähnt, keine elektrische Ladungsspeicherung statt, sie wird lediglich durch die beiden Elektroden angesteuert. Somit kehren die Moleküle des Flüssigkristalls mit der Zeit wieder in den Ursprungszustand zurück und die TN-Zelle muss in regelmäßigen Abständen erneuert werden.

Im Gegensatz dazu findet bei einem Aktiv-Matrix-Display eine elektrische Ladungsspeicherung statt.

In einer so genannten Aktiv-Matrix- oder TFT-Anzeige ist jedem Bildpunkt ein eigener Transistor in Dünnschicht-Technologie zugeordnet. Senkrechte und waagerechte Leiterbahnen versorgen die Source- und Gate- Anschlüsse der Bauelemente mit Steuersignalen (siehe Abbildung 19).

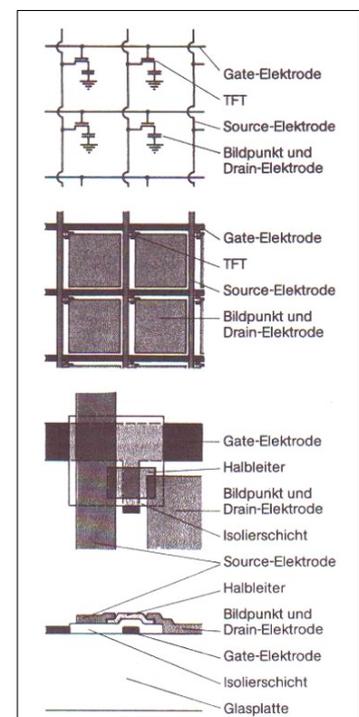


Abbildung 19: TFT-Anzeige (oben: Schaltbild und Aufsicht; unten: Aufsicht und Querschnitt) [7]

Dabei arbeiten die einzelnen Bildpunkte selbst nach dem Prinzip der verdrillten nematischen Zelle. An den Kreuzungspunkten der Steuerelektroden sind zusätzliche Halbleiterelemente aufgedampft. Sie verstärken jeweils eine kurzzeitig anliegende Steuerungsspannung und lassen in der übrigen Zeit keine weiteren Steuersignale zu der entsprechenden TN-Zelle durch. Diese Rückführung auf eine quasi-statistische Ansteuerung ermöglicht gute elektrooptische Eigenschaften. Es können größere Ladungen über einen längeren Zeitraum gespeichert werden, wodurch die mittlere Leuchtdichte einer Zelle und damit der Kontrast des Displays steigt.

Da jede Zelle bei dieser Anordnung ein aktives Bauelement enthält, wird solch ein Display als Aktiv-Matrix-Display bezeichnet.

3.2 Anwendungen lyotroper Flüssigkristalle [2, 4]

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, werden lyotrope Flüssigkristalle in der Waschmittelindustrie, in der Kosmetik sowie in der Medizin bzw. Pharmazie eingesetzt.

Flüssigkristalle spielen in den genannten Anwendungsbereichen eine wichtige, oft unterschätzte Rolle, können aber quantitativ mit der Bedeutung der thermotropen Flüssigkristalle bei weitem nicht mithalten.

Für die Waschmittelindustrie ist die Forschung auf dem Gebiet der lyotropen Flüssigkristalle von zentraler Bedeutung, da Tensidlösungen bei höheren Konzentrationen durch kooperative Wechselwirkungen zwischen den monomeren oder mizellar gebundenen Tensiden lyotrope Flüssigkristallphasen bilden. Die Anwesenheit lyotroper Flüssigkristalle übt einen großen Einfluss auf Produkteigenschaften wie z.B. Viskosität, Stabilität, Dispergiervermögen, Schaumeigenschaften etc. aus. Dies kann allerdings auch zu verfahrenstechnischen Problemen führen, da z.B. eine erhöhte Viskosität zum Verstopfen der Anlage führen kann.

In der Kosmetik werden Tenside als oberflächenaktive Substanzen, Emulgatoren und Stabilisatoren verwendet. Kosmetische Produkte lassen sich zwei Kategorien zuordnen: Binären Systemen (Tensid + Lösungsmittel) sowie ternären Systemen (Tensid + Wasser/Öl + Feststoff). Die bei höheren Tensidkonzentrationen auftretenden lamellaren, hexagonalen oder kubischen Flüssigkristalle haben einen wesentlichen Einfluss auf die Produkteigenschaften (vgl. Waschmittel).

Auch in der medizinischen Forschung spielen lyotrope Flüssigkristalle eine bedeutende Rolle. Bei der in-vitro-Wirkstofffreigabe von hydrophilen Arzneistoffen wie z.B. Nicotinamid sind lamellare Bilschichtstrukturen wichtig. Im Bereich der retardierten Wirkstofffreigabe senken lyotrope Flüssigkristalle die Freisetzung von gelösten Pharmaka um das 1000 fache.

Die erste verwendete Substanz ist das Chemotherapeutikum Arsphenamin. Mit Hilfe seiner Wirkung gegen Mikroorganismen konnten seit Anfang des 19. Jahrhunderts, als es noch keine Antibiotika gab, Geschlechtskrankheiten geheilt werden.

Ein anderes Beispiel ist die Anwendung des Dinatriumcromoglicinat (DNGG) als Antiallergikum bei Heuschnupfen und Asthma. Es stabilisiert die Mastdarmzellmembranen und verhindert so die Freisetzung von Histamin.

Arzneistoff	Flüssigkristalltyp	
Arsphenamin	nematisch	
Dinatriumcromoglicinat	nematisch, hexagonal	
Nafoxidin-HCl	hexagonal, kubisch, lamellar	
Flufenaminsäure-Diethylammoniumsalz	lamellar	
nichtsteroidale Antirheumatikasalze:		
Fenoprofen	lamellar	
Ketoprofen	lamellar	
Ibuprofen	lamellar	
Flurbiprofen	lamellar	
Pirprofen	lamellar	
Diclofenac	lamellar	

Abbildung 20: Flüssigkristalline Arzneistoffe [2]

4. Ausblick [13]

Displays nehmen in der modernen Informations- und Kommunikationsgesellschaft eine stetig wachsende Bedeutung ein. Aufgrund ihrer kompakten Bauweise werden Flachbildschirme für die meisten Anwendungen bevorzugt. Flüssigkristallanzeigen nehmen dabei eine Zentrale Rolle ein. Daher ist auch die Forschung in diesem Bereich sehr vielfältig. Exemplarisch werden im folgenden die Forschungsergebnisse im Bereich der bananenförmigen Moleküle und der OLED-Displays kurz vorgestellt.

4.1 „Flüssigkristalle aus bananenförmigen Molekülen“ [2]

Seit ca. 10 Jahren wird verstärkt an einer Unterklasse der thermotropen Flüssigkristalle geforscht, den bananenförmigen Molekülen. Vom derzeitigen Standpunkt aus betrachtet sind aber noch einige der bisher interessanten erforschten Eigenschaften in sich widersprüchlich. Dies könnte sich allerdings durch neue Forschungsergebnisse bezüglich der Struktur und spezifischen Eigenschaften geben, da dann eine bessere Einordnung in das Gebiet der thermotropen Flüssigkristalle möglich ist.

Molekülaufbau

Die charakteristische Biegung des Moleküls kommt dadurch zustande, dass das Molekülzentrum nicht aus einem para-, sondern aus einem 1,3-substituierten Benzenring besteht. Der Bindungswinkel variiert dabei zwischen 109° und 165° . Zurzeit ist es möglich, Fünf – Siebenring - Verbindungen, Naphtalinringe und heterogene Ringsysteme herzustellen (siehe Abbildung 21).

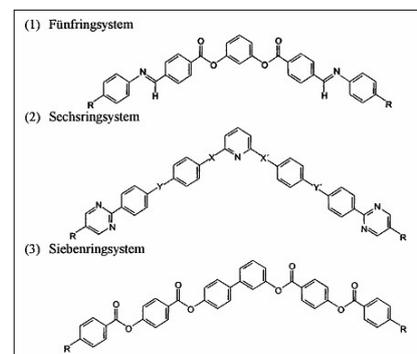


Abbildung 21: bananenförmige Molekülstruktur [2]

Eigenschaften der bananenförmigen Moleküle

Die im Folgenden genannten Moleküleigenschaften werden mit Vorbehalt genannt, da aufgrund neuer Forschungsergebnisse ständig mit Änderungen und Ergänzungen gerechnet werden kann.

Die bananenförmigen Moleküle weisen ferro-, ferri- und antiferroelektrische Effekte auf. In Zukunft könnten diese Moleküle Anwendung in Displays finden, da sie im elektromagnetischen Feld schaltbar sind. Obwohl sie selber nicht chiral sind, sind in der Lage chirale Überstrukturen zu bilden.

Bananenförmige Moleküle lassen sich mit keiner smektischen Phase der kalamitischen Flüssigkristalle mischen. Dies ist ein Indiz dafür, dass sie eigenständige Modifikationen sind, die vielfältige Strukturen ausbilden (z.B. spiralförmig, fadenförmig, lanzettenförmig).

Die hohen Umwandlungsenthalpien von 2 bis 170 kJ/mol, die mit den großen Packungsdichten in den Schichtsystemen korrelieren, deuten darauf hin, dass ein Großteil der der genannten Eigenschaften kristalliner Natur ist.

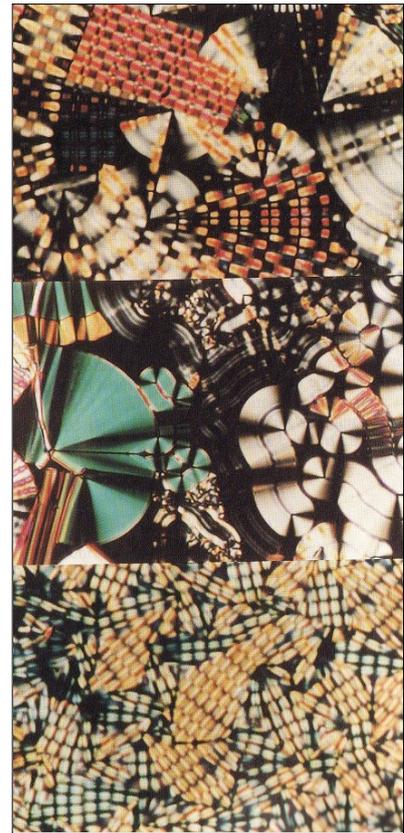


Abbildung 22: Polarisationsmikroskopische Variationen der B₇-Phase [2]

4.2 OLED-Displays [10, 25, 27]

Organische Leuchtdioden (OLED¹⁷), sind Leuchtdioden, die aus organischen, halbleitenden Polymeren oder kleinen Molekülen (small molecules) bestehen. Sie können im Vergleich zu anorganischen LEDs wesentlich kostengünstiger hergestellt werden. Von Ihnen wird sich eine neue Generation extrem dünner und leichter Flachbildschirme und Beleuchtungen versprochen. Sie sollen die Nachfolger der heutigen LCD-Bildschirme werden.

Erste Anwendungen der OLEDs in Autoradios und Mobiltelefonen sind bereits auf dem Markt.

Ein großer Vorteil der OLED-Bildschirme gegenüber den herkömmlichen Flüssigkristallbildschirmen ist das Auskommen ohne Hintergrundbeleuchtung. Sie benötigen dadurch deutlich weniger Energie und können auch gut in kleinen tragbaren Gerä-

¹⁷ Kurzform für engl. „organic light-emitting diode“

ten eingesetzt werden, bzw. deren Laufzeiten verlängern. Das Display ist so dünn wie eine Plastikfolie und genauso biegsam. Es hat einen großen Blickwinkelbereich von bis zu 170° und eine hohe Schaltgeschwindigkeit, wodurch es sich besonders gut zur Darstellung von bewegten Bildern eignet.

Zurzeit gibt es allerdings noch Probleme mit der Lebensdauer, da die roten, grünen und blauen Pixel unterschiedlich schnell altern. Für die kurzlebigsten blauen Pixel liegt sie momentan bei ungefähr 150 000 Stunden, was schon eine beträchtliche Steigerung gegenüber einer ursprünglichen Lebensdauer von 30 000 Stunden ist.

Einen wichtigen Anteil zur Weiterentwicklung der OLED-Technologie steuert in Deutschland die Fraunhofer-Gesellschaft bei. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer Fertigungstechnologie für OLEDs der nächsten Generation auf Glas bzw. auf anderen transparenten und flexiblen Substraten.

Auch an der TU Braunschweig wird OLED-Forschung und Entwicklung betrieben, so ist das Institut für Hochfrequenztechnik eines der führenden Forschungsinstitute in diesem Bereich.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Demus, D u.a.: Physical Properties of Liquid Crystals, 1.Auflage, Wiley-VCH-Verlag, Weinheim, 1999, Seite 1-14
- [2] Dörfler, Hans-Dieter: Grenzflächen und kolloid-disperse Systeme Springer-Verlag, Heidelberg, 2002, Seite 405 – 505
- [3] Koswig, Hans Dieter: Flüssige Kristalle, 2. überarbeitete Auflage, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1990, Seite 52-77
- [4] Stegemeyer, Horst: Lyotrope Flüssigkristalle, 1. Auflage, Steinkopf-Verlag, Darmstadt, 1999, Seite 107-145
- [5] Vögtle, Fritz: Supramolekulare Chemie, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Teubner, Stuttgart, 1992, S.358-419

- [6] Eidenschink, Rudolf: Flüssige Kristalle, Chemie in unserer Zeit, Volume 18, Oktober 1984, S.168-176
- [7] Finkenzeller, Ulrich: Flüssigkristalle für optische Displays, Spektrum der Wissenschaft, 1990, H.7-12, S. 54-62

- [8] Blume, Rüdiger: Flüssigkristalle, http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/tip/07_00.htm, 24. Mai 2006
- [9] Flüssigkristallanzeigen: Konstruktion und physikalische Eigenschaften von LCDs, <http://www.chemie.uni-marburg.de/~pcprakt/skripten/lcd.pdf>, 24. Mai 2006
- [10] Fraunhofer Institut Photonische Mikrosysteme: Produktentwicklung auf Basis von hocheffizienten Organischen Leuchtdioden (OLED), Dresden
- [11] Gieselmann, Frank: Flüssigkristalle, http://www.ipc.unistuttgart.de/~giesselmann/AG_Giesselmann/Forschung/Flüssigkristalle/Flüssigkristalle.htm, 24. Mai 2006
- [12] Merck: Flüssigkristalle für Aktiv-Matrix-Flachbildschirme, www.merck.de, 24. Mai 2006
- [13] Merck corporate communications :100 Jahre Flüssigkristalle von Merck : die Geschichte der Zukunft, www.merck.de, 24. Mai 2006
- [14] Müller, Mario: Was sind Flüssigkristalle, http://www.tu-berlin.de/%7Einsi/ag_Heppke/clark/lc-einf.htm, 24. Mai 2006
- [15] Müller, Mario: "Twisted Nematic"-Flüssigkristallzellen,

- [http:// www.tu-berlin.de/~insi/ag_heppke/clark/tnlc_d.html](http://www.tu-berlin.de/~insi/ag_heppke/clark/tnlc_d.html), 24. Mai 2006
- [16] Müller, Mario: Demonstrationsexperimente mit Flüssigkristallen,
http://www.tu-berlin.de/~insi/ag_heppke/Experimente/DemoLCD.html, 10. Mai 2006
- [17] Müller, Mario: Ferroelektrische Eigenschaften und elektrooptisches Schaltverhalten chiraler kolumnarer Flüssigkristalle, Dissertation, Berlin, 2000, S.24-28,
http://edocs.tu-berlin.de/diss/2000/mueller_mario.htm, 24. Mai 2006
- [18] PLC: Virtual Textbook, Liquid crystal phases,
<http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/textbook.htm>, 10. Juni 2006
- [19] PLC: Virtual Textbook, Introduction to liquid crystals,
<http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/textbook.htm>, 10. Juni 2006
- [20] PLC: Virtual Textbook, Introduction to ferroelectric crystals,
<http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/textbook.htm>, 10. Juni 2006
- [21] PLC: Virtual Textbook, Ferroelectric liquid crystal structure,
<http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/textbook.htm>, 10. Juni 2006
- [22] Wikipedia, die freie Enzyklopädie: Flüssigkristalle,
<http://de.wikipedia.org/wiki/Flüssigkristall>, 24. Mai 2006
- [23] Wikipedia, die freie Enzyklopädie: Flüssigkristallbildschirm,
<http://de.wikipedia.org/wiki/Flüssigkristallbildschirm>, 13. Mai 2006
- [24] Wikipedia, the free encyclopedia: Liquid crystal,
http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_crystal, 10. Juni 2006
- [25] Wikipedia, die freie Enzyklopädie: Organische Leuchtdiode,
http://de.wikipedia.org/wiki/Organische_Leuchtdiode, 15. Juni 2006
- [26] Max-Planck-Gesellschaft: Presseinformation-Wissenschaftler enthüllen die verborgene Symmetrie von Flüssigkeiten, <http://www.mpg.de/bilderBerichteDokumente/dokumentation/pressemitteilungen.html>, 25. Mai 2006
- [27] Institut für Hochfrequenztechnik: OLED und Sensorik,
<http://www.tu-braunschweig.de/ihf/ag/photonik/oled>

6. Anhang

6.1 Demonstrationsexperiment 1

Darstellung der temperaturabhängigen Flüssigkristalleffekte [8]

Versuchsziel:

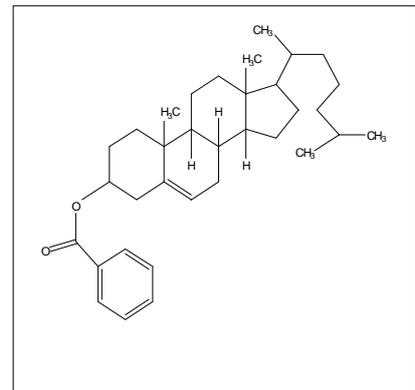
Im Folgenden sollen die temperaturabhängigen Effekte des Cholesterylbenzoats gezeigt werden, wie sie bereits 1889 von Reinitzer und Lehmann beobachtet wurden.

Verwendete Geräte:

Kristallisierschale, Tiegelzange, Bunsenbrenner

Verwendete Chemikalien:

Cholesterylbenzoat (siehe Strukturformel)



Versuchsdurchführung:

Der Boden der Kristallisierschale wird ca. 5mm hoch mit Cholesterylbenzoat bedeckt. Die Substanz wird mit Hilfe der Tiegelzange über dem Bunsenbrenner erwärmt, jedoch ohne, dass die Schale direkten Kontakt mit der Flamme bekommt.

Die klare Schmelze wird unter genauer Beobachtung im Licht wieder abgekühlt.

Versuchsbeobachtung:

Beim Abkühlen auf Raumtemperatur kann das Wandern einer blauviolettten Zone durch die vorher klare Schmelze beobachtet werden. Die klare, flüssige Schmelze beginnt milchig und trüb zu werden. Nach einiger Zeit erstarrt diese dann und die Kristalle des festen Cholesterylbenzoats bilden sich zurück.



Abbildung 23: Vom Klärpunkt bis zum Schmelzpunkt (Cholesterylbenzoat) [8]

Versuchshintergrund:

Wie bereits erwähnt, schmilzt die Substanz bei 145°C zu einer trüben Flüssigkeit und wird erst bei 178°C plötzlich klar. Beim Abkühlen lässt sich beobachten, dass sich dieses Phänomen umkehrt, wobei unter wachsender Trübung das Wandern einer blauviolettten Zone beobachtet werden kann.

Bei der Erwärmung der Substanz kommt es nicht unmittelbar zur Bildung einer Flüssigkeit, da die Moleküle noch zu dicht zusammenhängen.

Am Schmelzpunkt verändert sich die Translationsfernordnung der Molekülschwerpunkte langsam und schrittweise. Im Bereich der polymorphen Flüssigkristalle liegt die Substanz als

kristalline Flüssigkeit vor, d.h., dass die Fernordnungsstruktur noch immer nicht vollständig abgebaut ist. Dies passiert erst im Gebiet der isotropen Flüssigkeit: nach dem Überschreiten der Klärtemperatur tritt die Trübe des flüssigkristallinen Zustands nicht mehr auf und es liegt eine reine Flüssigkeit vor.

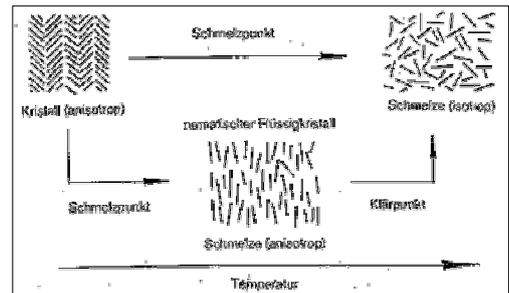


Abbildung 24: Schematische Darstellung der Ordnungsprinzipien eines Kristalls, eines nematischen Flüssigkristalls und einer isotropen Schmelze [16].

Cholesterylbenzoat ist ein Beispiel für einen Temperaturindikator von denen bisher ca. 15000 bekannt sind. Diese Stoffe zeigen bei substanzspezifischen Temperaturen die verschiedensten Farben, was auch eine wichtige Rolle in der Anwendung als Display spielt. Die Moleküle sollten zugleich Dipole sein, damit die Flüssigkristalle ausgerichtet werden können und der gewünschte Bereich eine bestimmte Helligkeit bzw. Farbe annimmt. Den Geräten wird dabei statt Wärme elektrische Energie zugeführt.

6.2 Demonstrationsexperiment 2

Schadt-Helfrich-Zelle [16]

Versuchsziel:

In diesem Versuch soll die Funktionsweise einer Flüssigkristallanzeige dargestellt und erklärt werden.

Verwendete Materialien:

Flüssigkristallanzeige ohne Polarisationsfilter (Sie besteht aus zwei Glasplatten, die einen Abstand von 10 Mikrometern zueinander haben. Die gegenüberliegenden Glasflächen sind mit leitenden Zinn-Oxid-Schichten beschichtet. Diese sollen nachher beliebig strukturierbare Ziffern, Zeichen oder Segmente darstellen. Die Flüssigkristallmoleküle sind so ausgerichtet, dass sich die Orientierungsrichtungen der gegenüberliegenden Oberflächen parallel verhalten (Abbildung 25)

Overheadprojektor, 2 Polarisationsfilter,

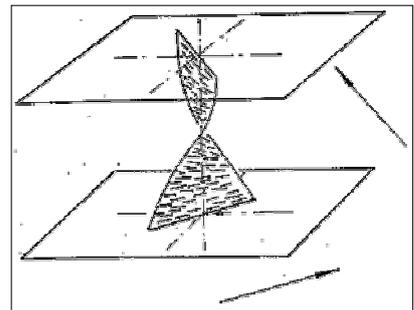


Abbildung 25: Verdrillte Struktur der nematischen Phase in der Schadt-Helfrich-Zelle im nicht-geschalteten Zustand [14].

Versuchsaufbau:

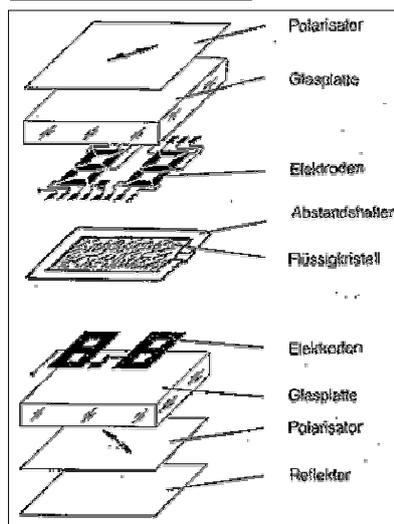


Abbildung 26: Aufbau einer Flüssigkristallanzeige [15].

Versuchsdurchführung:

In den Strahlengang des Overheadprojektors werden zwei Polarisationsfilter in gekreuzter Stellung eingebracht. Anschließend wird eine Spannung von 5V an die Elektroden angelegt.

Versuchsbeobachtung:

Die Stellen, an denen sich die Flächenelektroden gegenüberstehen, erscheinen als dunkle Zeichen.

Versuchshintergrund:

Flüssigkristallanzeigen werden mit niederfrequenter Wechselspannung betrieben, um eine elektrolytische Zersetzung des organischen Materials zu verhindern. Trotz der geringen Spannung treten aufgrund der kleinen Schichtdicken hohe Feldstärken auf, da 5V an 10µm immerhin 5000V / cm sind.

Zum weiteren theoretischen Hintergrund siehe 4.1 TN-Zelle.