

1 Einleitung

Der ferne Infrarotbereich, der auch als Submillimeter- oder Terahertz (THz)-Frequenzbereich bezeichnet wird, umfasst nach der deutschen Industrienorm DIN 5031 elektromagnetische Wellen mit Frequenzen zwischen 0,3 THz und 6 THz. In andere Einheiten konvertiert, entspricht dieser Bereich 1 mm – 50 μm langen Wellenlängen bzw. 10 cm^{-1} – 200 cm^{-1} großen Wellenzahlen. In der Literatur findet man aber auch andere Angaben [1-4], wobei der spektrale Umfang dann häufig durch die Bandbreite der verwendeten Spektrometer bzw. anhand charakteristischer Eigenschaften von Materialien definiert wird [5].

Das Universum als größte THz-Strahlquelle hat Forscher schon vor über hundert Jahren dazu angetrieben spezielle ferninfrarotsensitive Geräte zu entwickeln, um den kosmischen Geheimnissen auf die Spur zu kommen [6,7]. Die ersten Experimente mit Ferninfrarotstrahlen machten Rubens und Nichols [8,9]. Von wissenschaftlich anwendbaren Geräten kann man aber erst seit der Entwicklung der FTIR-Spektroskopie (engl. fourier transform infrared) in den 1950er Jahren sprechen [10,11].

Mit der Entwicklung der Femtosekundenlaser und der Einführung der THz-Zeitbereichsspektroskopie [12,13] zu Beginn der 90er Jahre, keimte auch bald die Hoffnung auf eine industrielle Nutzbarkeit der THz-Wellen. Durch das kohärente Detektionsverfahren können Amplituden- und Phaseninformationen der gepulsten THz-Signale bestimmt und der Brechungsindex n und der Absorptionskoeffizient α eines Materials über einen großen Frequenzbereich präzise aus den Messdaten berechnet werden. Das ermöglichte die Untersuchung verschiedener Materialien aus einem ganz neuen Blickwinkel und eröffnete der THz-Spektroskopie weitere Anwendungsfelder [3,4,14]. Heute, 20 Jahre nach ihrer Einführung, steht die THz-Zeitbereichsspektroskopie an der Schwelle zur Industrietauglichkeit.

Neben der THz-Zeitbereichsspektroskopie wurden auch zahlreiche alternative Technologien entwickelt. Dazu gehört z.B. die Photomischung [15,16], bei der kontinuierliche THz-Wellen mit Hilfe von photoleitenden Antennen generiert und detektiert werden. Die Photoleiter lassen sich z.B. durch die Strahlen eines Zweifarben-Lasers anregen, wobei die Differenz der beiden Laserlinien die Frequenz der abgestrahlten THz-Welle bestimmt.

Eine Brücke zwischen den beiden Techniken, Photomischung und Zeitbereichsspektroskopie, schlägt die Quasi-THz-Zeitbereichsspektroskopie [17]. Die Methode basiert auf einer Multimode-Halbleiter-Laserdiode (MMSLD), die ähnlich wie der Zweifarben-Laser in einen Photomischbau integriert ist. Durch die vielen äquidistanten Moden der Laserdiode werden jedoch wie in der THz-Zeitbereichsspektrosko-

pie pulsartige THz-Signale erzeugt. Quasi-Zeitbereichsspektrometer bieten zwar bisher nur eine begrenzte spektrale Bandbreite, sind aber dafür sehr kosteneffizient.

Weiterhin gibt es eine Reihe weiterer Quellen wie frequenzvervielfachte Gunn- und IMPATT-Dioden [18,19], Quantenkaskadenlaser [20,21], CH_2F_2 [22,23] bzw. CH_3OH -Laser [24] und Synchrotrone [25]. Ein Überblick über verschiedene Techniken ist auch in [2] zu finden.

Neben der Entwicklung verschiedenster Quellen und Detektoren gehört auch die Untersuchung der Wechselwirkungen der THz-Wellen mit Materie zum Arbeitsalltag der Wissenschaftler und Ingenieure. Zu den interessanten Materialien gehören z.B. Gase, Plasmen, Halbleiter, Kunststoffe, Biomoleküle, DNA, Sprengstoffe und eben auch Flüssigkristalle [4,26,27].

Generell liegt der Grund für das wissenschaftliche Interesse an den Flüssigkristallen in der einzigartigen Kombination eines Ordnungsgrades, den man sonst nur bei Kristallen findet, und der Fluidität, die man nur von Flüssigkeiten kennt. Darüber hinaus weisen viele Flüssigkristalle eine dielektrische bzw. magnetische Anisotropie auf und reagieren sehr sensitiv auf magnetische und elektrische Felder. Daher eignen sich Flüssigkristalle hervorragend als Kernmaterial in schaltbaren Bauteilen.

Die Verknüpfung zwischen der Struktur der Moleküle und ihren dielektrischen Eigenschaften ist für den Radiofrequenz- und den optischen Frequenzbereich umfassend erforscht. Die dielektrischen Eigenschaften flüssigkristalliner Substanzen bei diesen Frequenzen können deshalb heute für nahezu beliebige Anwendungen optimiert werden. Für den THz-Frequenzbereich ist diese Verknüpfung nur begrenzt möglich, da umfangreiche systematische Untersuchungen bisher fehlen. An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an, deren Ziel es ist fundierte Kenntnisse über die makroskopischen und mikroskopischen Eigenschaften verschiedener Flüssigkristalle zu vermitteln und die wirkenden physikalischen Mechanismen aufzudecken. Außerdem, soll anhand verschiedener Bauteile das Anwendungspotential der Flüssigkristalle für den THz-Frequenzbereich demonstriert werden.

Schon in den frühen 1970er Jahren studierten Forscher die Ferninfrarot- (FIR) Eigenschaften von Flüssigkristallen [22,23,28-42]. Mit den verfügbaren Messinstrumenten, hatte man jedoch nur begrenzten Zugriff auf die FIR-Eigenschaften der Flüssigkristalle. So wurde z.B. der Absorptionskoeffizient mit Hilfe eines FTIR-Spektrometers oder einem CH_2F_2 - bzw. CH_3OH -basierendem FIR-Laser bestimmt [22,23]. Ergebnisse zum Brechungsindex der Flüssigkristalle bei einzelnen Frequenzen wurden jedoch nur mit der zuletzt genannten Technik erzielt [22].

Durch den großen Durchbruch der THz-Zeitbereichsspektrometer in den 1990er Jahren [13] rückten auch die Flüssigkristalle wieder mehr in den Fokus des Interesses und ihr Potential für schaltbare Terahertz (THz)- Bauteile wurde entdeckt. Um dieses Potential

zu nutzen, ist eine fundierte Kenntnis der dielektrischen Eigenschaften der Flüssigkristalle im THz-Frequenzbereich erforderlich und ein Verständnis der darunterliegenden physikalischen Mechanismen muss erlangt werden.

Die erste Flüssigkristallmessung mit einem THz-Zeitbereichsspektrometer machte Turchinovich et al. an PCH5 [43]. Dieser Messung folgten bald verschiedene Untersuchungen der Arbeitsgruppe von Prof. Pan an 5CB, 6CB, 7CB, 8CB [44-49], PCH5 [44,46], E7 [50,51] und einem ferroelektrischen Flüssigkristall [52]. Daten über 5CB präsentierten auch Bonn et al. [53]. Einen Flüssigkristall mit scheibchenförmiger Molekülstruktur untersuchten hingegen Xia et al. [54]. Mit anderen Spektroskopietechniken erzielten Takanishi et al. und Nishizawa et al. Ergebnisse zu P-8-PIMB bzw. MBBA [55,56]. Messungen zu einem Polymer-Flüssigkristall veröffentlichten Rutz und Mitarbeiter [57]. Jüngst publizierten Trushkevych et al. Resultate zur nematischen Mischung LCMS-107 [58]. Die Ergebnisse, die im Rahmen dieser Dissertation zu den Flüssigkristallen 5CB, 6CB, 7CB, 8CB, 5OCB, PCH5, PCH7, BL037, MLC7029, I52 und 1808 entstanden sind, lassen sich auch in [59-62] nachlesen.

Die THz-Systemtechnik ist noch ein sehr junges Forschungsfeld und an vielen Stellen bedarf es noch geeigneter Bauteile wie z.B. Filter, Phasenschieber oder Modulatoren zur Beeinflussung der THz-Strahlen. Um den Mangel an diesen Bauelementen zu beseitigen, wurden für den THz-Frequenzbereich unter anderem verschiedene Konzepte zur Entwicklung schaltbarer Flüssigkristallbauteile vorgeschlagen. Die Gruppe von Pan et al. stellten magnetisch und elektronisch schaltbare Phasenschieber [46,50,63-65], verschiedene Filter [46,66,67], einen Polarisator [68] und ein optisches Gitter vor [69]. Ghattan und Mitarbeiter entwickelten einen flüssigkristallbasierenden photonischen Kristall für den Sub-THz-Bereich [70]. Die Umsetzung eines ähnlichen Konzepts gelang Zhang et al. für den THz-Bereich [71]. Einen schaltbaren dielektrischen Spiegel präsentierten Wilk et al. [72]. Zudem sind eine Reihe von Arbeiten zu schaltbaren THz-Bauteilen entstanden, bei denen Flüssigkristalle mit einem Metamaterial kombiniert wurden [73-78]. Außerdem schlugen Yuan et al. ein neues Konzept zur elektrischen Steuerung eines THz-Schalters auf Flüssigkristallbasis vor [79].

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel. Nach dieser Einleitung folgen zwei Grundlagenkapitel zur Einführung in die Thematik der Flüssigkristalle und die THz-Spektroskopie. In den daran anschließenden Kapiteln werden die experimentellen Ergebnisse vorgestellt. Im letzten Kapitel folgt eine Zusammenfassung der wesentlichen Resultate und ein Ausblick.

Kapitel 2 gibt eine grundlegende Einführung in die Thematik der Flüssigkristalle. Nach einem kurzen historischen Überblick folgt eine Einteilung der Flüssigkristalle hinsichtlich physikalischer und struktureller Merkmale. Daran schließt sich eine Beschreibung wesentlicher Eigenschaften wie des Ordnungsparameters, der

dielektrischen Kenngrößen, des Temperaturverhaltens, molekularer Polarisierbarkeiten und der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Flüssigkristallen an.

Zur Charakterisierung der Flüssigkristalle und der Bauteile werden in dieser Arbeit ein THz-Zeitbereichsspektrometer, ein Spektrometer zur Erzeugung von THz-Dauerstrichstrahlung und ein FTIR-Spektrometer verwendet. In Kapitel 3 werden deshalb die verwendeten Spektrometer und experimentelle Details vorgestellt. Dazu gehören z.B. eine ausführliche Beschreibung des Aufbaus der Spektrometer und der Mechanismen zur Erzeugung und Detektion der THz-Strahlung. Für Messungen im THz-Zeitbereichsspektrometer und im FTIR-Spektrometer kommen verschiedene Küvetten zum Einsatz. Dem Aufbau und der Herstellung der Küvetten sowie den dazu benötigten Materialien sind daher eigene Abschnitte gewidmet. Besonderer Wert wird auf die Auswertung der im Zeitbereichsspektrometer zur Charakterisierung der Flüssigkristalle erzielten Daten gelegt.

Die Ergebnisse der spektroskopischen Untersuchungen sind Thema des vierten Kapitels. Zunächst werden die makroskopischen Eigenschaften wie der Brechungsindex und der Absorptionskoeffizient verschiedener Flüssigkristalle präsentiert. Diese Materialien wurden mit dem THz-Zeitbereichsspektrometer im Frequenzbereich zwischen 0,2 THz und 3 THz charakterisiert. Daran schließt sich die Bestimmung mikroskopischer Eigenschaften wie des Ordnungsparameters und der Polarisierbarkeiten aus den makroskopischen Daten einiger ausgewählter Strukturen an. Abschließend folgen die Resultate von Messungen mit einem FTIR-Spektrometer zur Charakterisierung der Flüssigkristalle im Frequenzbereich zwischen 1,5 THz und 15 THz.

Im Fokus von Kapitel 5 steht die Demonstration eines THz-Filters und Phasenschiebers. Darüber hinaus wird das Konzept eines schaltbaren Prismas vorgestellt. Abschließend folgt eine Diskussion der potentiellen Anwendungsfelder dieser Bauteile.

2 Grundlagen

Das folgende Kapitel dient der Einführung in das Feld der Flüssigkristalle (engl. liquid crystal, LC). Die dafür gewählten Schwerpunkte sind eine Auswahl aus diesem Forschungsbereich und sollen das Verständnis der vorliegenden Arbeit erleichtern. Weiterführende Informationen sind in zahlreichen Fachbüchern und Journalen nachzulesen [80-91].

2.1 Historischer Rückblick

Die Erfolgsgeschichte der Flüssigkristalle könnte man auch mit „*Von der Karotte zum Flachbildschirm*“ betiteln [92]. Anno 1888 arbeitete der österreichische Botaniker Friedrich Reinitzer an der Charakterisierung von Derivaten des Cholesterins [93], welche er aus Karotten gewann. Er entdeckte, dass einige seiner Präparate zwei Schmelzpunkte aufwiesen. Mit Hilfe eines Mikroskops erkannte er zwischen dem festen und flüssigen Aggregatzustand eine bis dahin unbekannte Phase, in welcher der Stoff milchig trüb erschien und mit Licht auf eine für ihn unerklärlich Weise wechselwirkte. Um weiteres Licht auf seine Entdeckung zu werfen, wandte er sich mit folgenden Worten an Otto Lehmann, einem Spezialisten auf dem Gebiet der Mikroskopie und Kristallographie [83,94]:

„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.“

Lehmann bestätigte Reinitzers Beobachtungen. Die entdeckte Phase war weder eindeutig den Kristallen noch den Flüssigkeiten zuzuordnen, sondern vereinte Eigenschaften beider Aggregatzustände. In einem seiner Briefe an Reinitzer bemerkte Lehmann [95]:

„Für den Physiker ist es jedenfalls von hohem Interesse, daß Kristalle existieren, deren Weichheit eine so bedeutende ist, daß man sie beinahe flüssig nennen könnte“

Der Name Flüssigkristall geht also letztendlich auf Lehmann zurück [80,96]. Mit der Entdeckung der Flüssigkristalle begann ein neues Zeitalter für das Verständnis der Aggregatzustände der Materie [93]. Vor dieser Entdeckung waren nur die klassischen Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig bekannt [97]. Die Resultate Reinitzers und Lehmanns stießen zunächst nicht überall auf Anerkennung, standen sie doch im Gegensatz zur allgemeinen Lehrmeinung. Sehr schnell wurden jedoch immer neue Flüssigkristalle entdeckt und auch die hartnäckigsten Gegner mussten nach und nach umdenken. Um dem Status eines eigenständigen Aggregatzustandes gerecht zu werden,

spricht man von der flüssigkristallinen Phase auch als Mesophase (griech. für Zwischenphase) oder bisweilen vom vierten Aggregatzustand [94].

Über die nächsten 80 Jahre hinweg blieben die Flüssigkristalle aber ein Phänomen ohne größere praktische Anwendung. Im akademischen Bereich wurden jedoch einige wegweisende Arbeiten zur theoretischen Beschreibung flüssigkristalliner Phasen veröffentlicht [83,98,99]. Der große technologische Durchbruch gelang Anfang der 1970er Jahre [100] mit der Entwicklung der verdrehten nematischen Zelle (engl. twisted nematic, TN) und dem Einzug der LCs in die Welt der Flachbildschirme. Heute kennt man bereits weit über 80000 flüssigkristalline Verbindungen und im Jahr 2003 überschritt in Deutschland die Anzahl der verkauften Flüssigkristallbildschirme erstmals die Menge der umgesetzten Röhrengeräte.

2.2 Klassifizierung und Aufbau

2.2.1 Lyotrope und thermotrope Flüssigkristalle

Eine erste Unterteilung der LC-Substanzen ist die in thermotrope und lyotrope Flüssigkristalle. Thermotrope Flüssigkristalle ändern ihren Aggregatzustand mit der Temperatur. Bei tiefen Temperaturen ist das Material fest und geht mit steigender Temperatur zunächst in die flüssigkristalline Phase und anschließend in die isotrope Phase über (Bild 2.1). Diese Klasse findet z.B. für Flachbildschirme Verwendung.

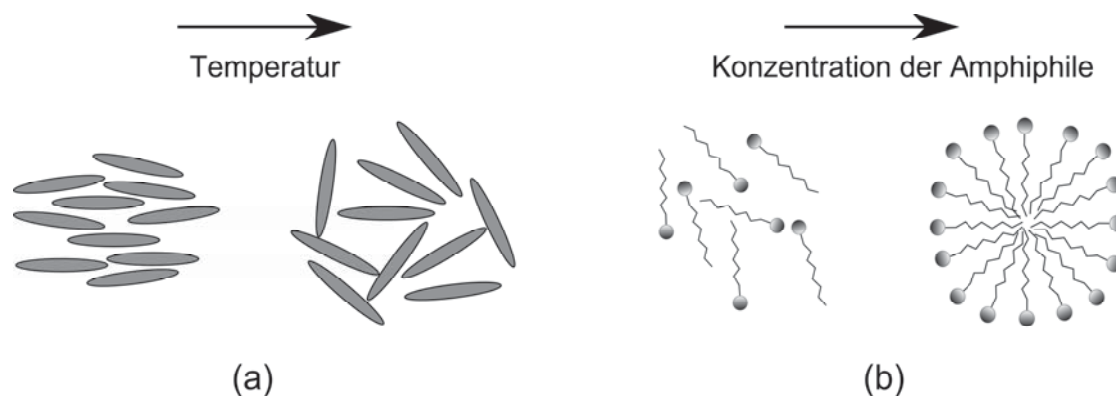


Bild 2.1: (a) Thermotroper Flüssigkristall: mit steigender Temperatur nimmt der Ordnungsgrad ab (b) Lyotroper Flüssigkristall: Amphiphile Molekülen ordnen sich mit steigender Anzahl der Moleküle in einer Lösung in Form einer Micelle an.

Lyotrope Moleküle wie z.B. Phospholipide und Seifen ändern ihre Phase mit der Konzentration der Moleküle in einer Lösung. Sie bestehen aus sogenannten amphiphilen Molekülen, die einen hydrophilen (wasserliebenden) Kopf und eine hydrophobe (wasserabweisende) Hydrocarbon-Kette besitzen. In Lösung (z.B. Wasser) und ab einer kritischen Anzahl an Amphiphilmolekülen rücken die wasserabweisenden Ketten zusammen und die wasserliebenden Köpfe zeigen in Richtung des Lösungsmittels. Die resultierende Form nennt man z.B. bei Seifen Micelle [88], die

beispielhaft in Bild 2.1 (b) dargestellt ist. Lyotropen werden von der Öffentlichkeit bisher weniger beachtet als ihre thermotropen Verwandten. Dennoch kommen sie sehr häufig im Alltag vor, da sie z.B. Bestandteil von Kosmetikprodukten, Seifen und Waschmitteln sind. Von großem Interesse sind Lyotrope aber auch für die Biologie, da z.B. Zellmembrane aus Phosphorlipiden aufgebaut sind.

2.2.2 Flüssigkristallphasen

Flüssigkristalle können je nach Komplexität der Moleküle nicht nur eine sondern auch mehrere flüssigkristalline (meso) Phasen aufweisen. Bisher sind mindestens 13 verschiedene Mesophasen bekannt [85]. Eine Auswahl sehr häufig vorkommender Phasen bei thermotropen Molekülen ist in Bild 2.2 (a-d) dargestellt. Bei tiefen Temperaturen befindet sich die Substanz in der Kristallphase und weist wie in Bild 2.2 (a) dargestellt die für diese Phase typische Orientierungs- und Positionsfernordnung auf. Das heißt die Moleküle zeigen mit ihrer Längsachse in eine Richtung und die Molekülschwerpunkte sind auf festen Gitterplätzen angeordnet. Mit steigender Temperatur lassen die Bindungskräfte der Moleküle nach und die Kristallstruktur wird gestört. Sprunghaft geht die Substanz dann in eine Mesophase über. Bei sehr vielen Flüssigkristallen ist das die in Bild 2.2 (b) illustrierte smektische A-Phase.

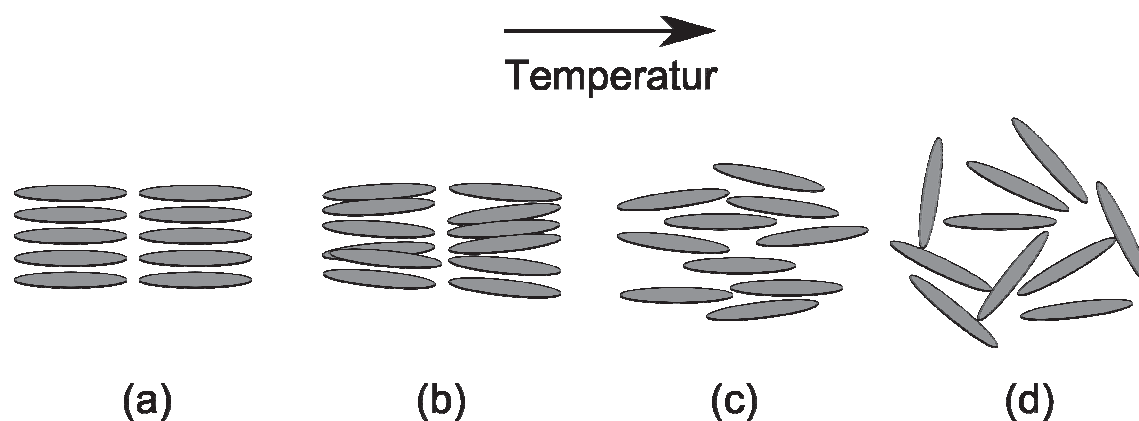


Bild 2.2: Typische Phasen eines flüssigkristallinen Materials. (a) Kristallin, (b) Smektisch A (c) Nematisch und (d) Isotrop.

In der smektischen A-Phase bleibt neben der *Orientierungsordnung* noch eine eindimensionale Positionsordnung erhalten. Hierbei bilden die Moleküle einzelne Schichten, wobei ihre Schwerpunkte innerhalb dieser Schichten wie in einer Flüssigkeit zufällig angeordnet sind. Mit weiter steigender Temperatur können Flüssigkristalle noch in andere Mesophasen übergehen. Die einfachste und technologisch bedeutsamste Phase ist die nematische Phase. In dieser in Bild 2.2 (c) gezeigten Phase bleibt nur noch die Orientierungsordnung erhalten. Zu guter Letzt geht der Flüssigkristall wie in Bild 2.2 (d) dargestellt am sogenannten Klärpunkt in die isotrope Phase über. Hier sind die Bindungskräfte zwischen den Molekülen nur noch sehr schwach, so dass sie sich wie in

bezeichnet, deren π -Elektronen über das gesamte Ringsystem verteilt sind [102]. Unter Konjugation hingegen versteht man in diesem Fall die Überlappung der Molekülorbitale mehrerer Ringe. In Flüssigkristallen mit π -Bindungselektronen können sich diese Elektronen also frei über mehrere Ringe bewegen.

Diese physikalische Gegebenheit hat eine große Bedeutung für die Wechselwirkung der Flüssigkristalle mit elektrischen und magnetischen Feldern. In einem elektrischen Feld, das z.B. parallel zur Längsachse des Moleküls 5CB aus Bild 2.3 (a) polarisiert ist, lässt sich die π -Elektronenwolke in Richtung der Längsachse verschieben und das Molekül gut polarisieren. Senkrecht zur Längsachse des Moleküls kann die Elektronenwolke nur wenig verschoben werden. Das führt zu einer starken Anisotropie der elektronischen Polarisierbarkeit. Für die Polarisierbarkeiten parallel γ_{\parallel} und senkrecht γ_{\perp} zur Längsachse von 5CB wie auch für die meisten nematischen LCs gilt:

$$\gamma_{\parallel} > \gamma_{\perp}. \quad (2.1)$$

Im ultravioletten Wellenlängenbereich ist das Elektronensystem resonant und führt zu sehr hohen Polarisierbarkeiten und folglich zu großen Werten für den Brechungsindex und den Absorptionskoeffizienten [103-106].

Neben der elektrischen Anisotropie weisen Flüssigkristalle auch eine Anisotropie ihrer magnetischen Eigenschaften auf. Ein Magnetfeld, das z.B. senkrecht zur Fläche der Benzolringe polarisiert ist, induziert einen Ringstrom, wobei ein parallel zur Moleküllängsachse polarisiertes Magnetfeld einen viel kleineren Strom induziert. Das führt zu unterschiedlich großen Werten der magnetischen Suszeptibilität parallel χ_{\parallel} und senkrecht χ_{\perp} zur Längsachse des Moleküls. Für das Molekül 5CB aus Bild 2.3 (a) gilt [83]:

$$|\chi_{\perp}| > |\chi_{\parallel}|. \quad (2.2)$$

2.2.5 Nematen mit positiver und negativer dielektrischer Anisotropie

Im Kontrast zur optischen Anisotropie steht die dielektrische Anisotropie, mit der man die Wechselwirkungen der LCs mit statischen bzw. niederfrequenten elektrischen Feldern beschreibt. Die dielektrische Anisotropie wird hierbei nicht wie bei der optischen Anisotropie durch Polarisation der π -Elektronen verursacht sondern indem das permanente Dipolmoment der Moleküle umpolarisiert wird. Die ersten Flüssigkristalle, die in schaltbaren optischen Bauteilen zum Einsatz kamen, waren Nematen mit positiver dielektrischer Anisotropie (PDA). Diese werden häufig auch als die klassischen LCs bezeichnet [107]. PDA-Substanzen besitzen am Molekülende eine polare Gruppe und bilden deshalb ein permanentes Dipolmoment in Richtung der Längsachse aus. Eine positive Anisotropie zeigen alle LCs, bei denen der Winkel (siehe

auch Bild 2.6) zwischen Moleküllängsachse und Dipolmoment kleiner ist als 55° [87]. Beim 5CB Molekül aus Bild 2.3 (a) wird das Dipolmoment z.B. durch einen Cyanid-Kopf (CN) erzeugt. Diese Eigenschaft ist wichtig für die Wechselwirkungen der LCs mit statischen oder niederfrequenten elektrischen Feldern. Wie in Bild 2.4 (a) illustriert neigen PDAs dazu, sich parallel zu den elektrischen Feldlinien auszurichten. Im feldfreien Fall orientieren sich die LCs hingegen parallel (homogen) zu den Zellwänden [81].

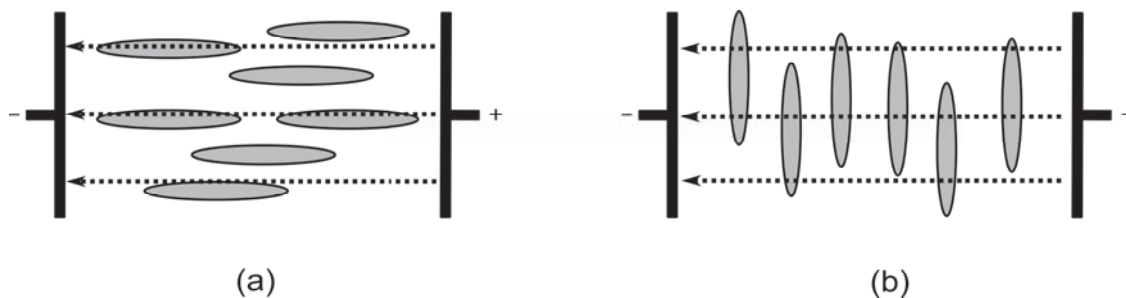


Bild 2.4: Ausrichtung von Flüssigkristallen im elektrischen Feld mit a) positiver und b) negativer dielektrischer Anisotropie.

Im Falle von LCs mit negativer dielektrischer Anisotropie (NDA) ist der Winkel zwischen Moleküllängsachse und Dipolmoment größer als 55° [87]. Hier wird das permanente Dipolmoment z.B. durch eine lateral an das Molekül geknüpfte Cyanid-(CN) oder Fluorid- (F) gruppe verursacht [108-110]. Im statischen elektrischen Feld richten sich die NDA's wie in Bild 2.4 (b) dargestellt mit ihrer Längsachse immer senkrecht zu den Feldlinien aus. Im feldfreien Fall bevorzugen NDA's eine senkrechte Ausrichtung zur Zellwand. Die feldfreie Ausrichtung wird auch als homöotrope Orientierung bezeichnet.

2.2.6 Reine Flüssigkristalle und Mischungen

Abhängig von der Anwendung, müssen Flüssigkristalle verschiedene Eigenschaften wie z.B. eine hohe Doppelbrechung, eine positive oder negative dielektrische Anisotropie, kurze Schaltzeiten und chemische Stabilität aufweisen. Von einer reinen Substanz wie z.B. 5CB sind diese Anforderungen nicht alle gleichzeitig zu erfüllen. Aus diesem Grund, werden die Eigenschaften der Flüssigkristalle durch Mischen von bis zu zwanzig verschiedenen Substanzen optimiert [107,111-115]. Bis heute wurden bereits unzählige Mischungen entwickelt. Darunter befinden sich Mischungen für Bauteile mit niedrigem Energiebedarf, kurzen Schaltzeiten und Substanzen für Monitore mit hohem optischen Kontrast und verbesserter Blinkwinkelabhängigkeit.