

Linsen mit einstellbarer Brennweite Neue Freiheitsgrade für Optik-Designer

In zahlreichen industriellen, medizinischen oder wissenschaftlichen Anwendungen sind adaptive optische Elemente von großer Bedeutung: Formveränderliche Beugungsgitter werden als kompakte optische Schalter in Übertragungssystemen und Displays verwendet. Weitere Beispiele sind akustooptische Modulatoren für optische Mikroskope zur Anpassung der Intensität von Laserlicht. Dieser Artikel konzentriert sich auf die neueste Entwicklung auf dem Gebiet adaptiver optischer Elemente: Linsen mit einstellbarer Brennweite.

Die größten Nachteile optischer Fokussier- und Vergrößerungssysteme sind heute die Größe und der Preis. Jedoch gäbe es unzählige Anwendungen wie

kostengünstige Kompakt-Kamera-Module für Mobil-Telefone, Fokussier-Features in Endoskopen oder handliche und leichte Optiken in Mikroskopen.

Neben diesen abbildenden Systemen ist die adaptive Beleuchtung eine weitere interessante Anwendung.

Es gibt zwei grundsätzliche Ansätze, um Linsen mit einstellbarer Brennweite zu realisieren. Der erste basiert auf der Realisierung einer Fresnel-Linse durch lokale Änderungen des Brechungsindex. Diese können durch einen elektro- oder akustooptischen Effekt erzeugt werden (siehe Bild 1). Die häufigste Technologie für diesen Ansatz sind Flüssigkristalle. Diese haben den Vorteil einer geringen Antriebsspannung ($\sim 10 V_{rms}$) und einer geringen Verlustleistung, zudem erleichtern sie die Miniaturisierung. Dagegen sind Flüssigkristalle polarisationsempfindlich, haben aufgrund der Neuordnung der Moleküle eine langsame

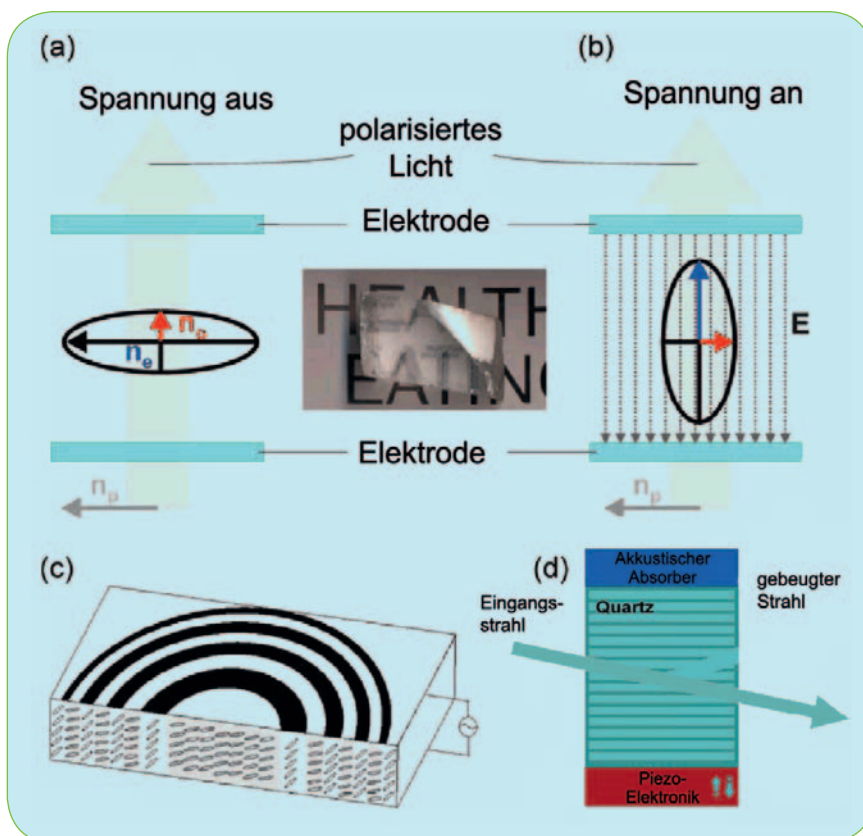
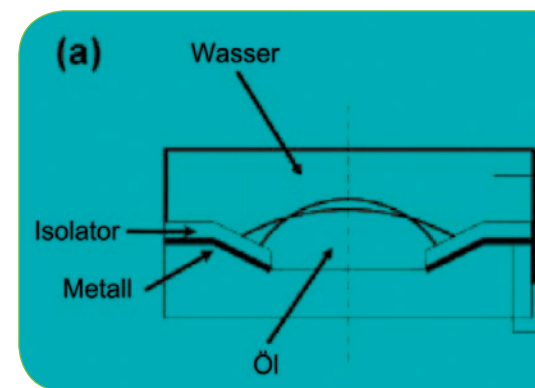


Abb 1: (a) doppelbrechendes Molekül eines nematischen Flüssigkristalls in seiner vorbestimmten Orientierung. (b) gedrehtes Molekül nach anlegen eines elektrischen Feldes. (c) schematische Darstellung einer einstellbaren Fresnel-Linse basierend auf Flüssigkristallen. (d) Prinzip eines akustooptischen Modulators: Die durch einen piezoelektrischen Wandler erzeugte Schallwelle wandert in einem optisch transparenten Material – beispielsweise in Quarz. Die Ultraschallwelle verursacht lokale Deformationen, die den Brechungsindex des Materials verändern und dadurch ein Beugungsgitter erzeugen. Ein akustischer Absorber verhindert die Reflektion der Schallwelle.



(e) Prinzip einer „Electrowetting“ Linse: Ein Tropfenchen wird auf eine isolierte Metallstruktur abgelegt. Der Kontaktwinkel und infolgedessen die Wölbung des Tropfchens kann durch eine variierende Spannung, die an das Metall angelegt wird, geändert werden.



shaping the future of optics

www.optotune.com

Reaktionszeit und eine geringe optische Zerstörschwelle (bis zu 2 kW/cm^2).

Der zweite Ansatz strebt die Kontrolle der Linsen-Form an. Daraus resultiert eine bessere Qualität, größere Brennweitenbereiche und eine Polarisationsunabhängigkeit. Eine intensiv erforschte Linsentechnologie basiert auf dem „electrowetting“ Prozess (siehe Bild 1 (e)). Wesentliche Vorteile dieser Technologie sind der geringe Energieverbrauch, ein mittlerer Einstellbereich und die kostengünstige Herstellung. Die größten Nachteile ergeben sich durch die begrenzte Apertur von ca. 3 mm aufgrund der vorherrschenden Gravitation gegenüber den Kapillarkräften in größeren Systemen.

OPTOTUNE, eine Ausgründung der ETH Zürich, hat dagegen eine Linse mit einstellbarer Brennweite entwickelt, die auf elastischen Polymeren basiert. Eine dünne Membrane bildet die Grenzschicht zwischen zwei Kammern, die jeweils ein optisch durchsichtiges Material mit unterschiedlichem Brechungsindex enthalten. Der Druckunterschied zwischen den beiden Kammern bestimmt den Radius bzw. die Linsenform. Der Druckunterschied kann auf unterschiedliche Arten geregelt werden: mechanisch (z.B. durch Verwendung eines Gewinderings, der einen runden Zylinder auf die Kammer drückt), elektromechanisch (durch Verwendung von voice wils, Piezo- oder Stepper-Motoren um mechanische Kraft auszuüben), hydraulisch (durch Pumpen von Flüssigkeit in die Kammer) oder elektrostatisch (durch Verwendung von elektroaktiven

Polymeren zur Änderung der Spannung in der Membrane).

Dieses Zweikammer-Prinzip eröffnet viele Möglichkeiten. Verschiedenste Materialien können verwendet werden, wenn sie die gewünschten optischen Eigenschaften besitzen: Brechungsindex (n_D von 1.3 bis 1.559), Dispersion (Abbezahl von 32 bis 100) oder Transmission (240 nm bis 2500 nm). Die Linsen können von konvex über plan bis hin zu konkav geformt werden. Durch die Änderung der mechanischen Eigenschaften der Membrane ist es grundsätzlich möglich, asphärische Linsen zu verwirklichen. Zudem kann, durch z.B. ein rechteckiges Design, eine zylindrische Linse realisiert werden.

Im Allgemeinen können sowohl die Apertur der Linse als auch deren Dicke von wenigen Millimetern bis hin zu einigen Zentimetern variieren. Der einstellbare Brennweitenbereich kann auf die Anwendung optimiert werden. Dabei müssen Größe, Einstellbereich und Reaktionszeit aufeinander abgestimmt sein.

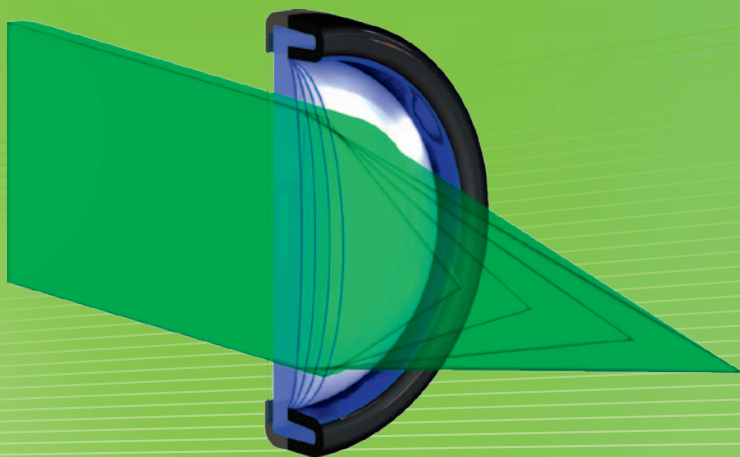


Abb 3: Die elektrische Linse EL-10-30 sowie die mechanische Linse ML-20-35 sind beide bei Qioptiq erhältlich.

Zusätzliche Freiheitsgrade

Der größte Vorteil der Linsen von OPTOTUNE ist der zusätzliche Freiheitsgrad, der den Optik-Designern durch die Möglichkeit der einstellbaren Brennweite gegeben ist. Optische Systeme können so kompakter entworfen werden, also mit weniger Linsen und mit geringerer bis keiner translatorischen Bewegung. Dies bedeutet, dass keine teuren mechanischen Aktuatoren mehr notwendig sind. Außerdem können die einzelnen Komponenten der Linse kostengünstig gefertigt werden, weshalb sich diese Technologie auch für Verbraucheranwendungen eignet. Weniger bewegte Komponenten erlauben ein robusteres und staubfreies Design, das bedeutet aber auch einen geringeren Energieverbrauch. Die Änderung des Krümmungsradius der Linse von einigen Mikrometern kann denselben optischen Effekt haben wie die Verschiebung der ganzen Linse um einige Zentimeter. Letztendlich sind alle verwendeten Materialien leichter als Glas, wodurch Gewicht gespart wird.

Im Design des Systems sollte berücksichtigt werden, dass durch die Gravitation eine Koma verursacht werden kann, wenn sich die Linse in vertikaler Position befindet. Steifere Materialien können diesen Effekt reduzieren. Die steiferen Materialien wirken sich allerdings negativ auf Einstellbereich und Energieverbrauch aus. Je nach verwendetem Material kann zusätzlich eine thermische Ausdehnung beobachtet werden, welche den Radius der Linse beeinflusst. Dies muss bei „open loop“ Systemen in Betracht gezogen werden.



Eigenschaften der Linse EL-10-30 mit einstellbarer Brennweite von OPTOTUNE

	EL-10-30-VIS-HR	EL-10-30-VIS-LD	EL-10-30-NIR-LD	ML-20-35
Mechanische Eigenschaften				
Aussendurchmesser x Höhe	30 mm x 9.7 mm	30 mm x 9.7 mm	30 mm x 9.7 mm	35 mm x 8 mm
Apertur	10 mm	10 mm	10 mm	20 mm
Elektrische Eigenschaften				
Regelspannung	0 bis 5 V	0 bis 5 V	0 bis 5 V	–
Lebensdauer (Zyklen)	>10.000.000	>10.000.000	>10.000.000	–
Reaktionszeit (10% - 90% Schritt)	10 ms	10 ms	10 ms	–
Optische Eigenschaften				
Brennweitenbereich	+15 bis +50 mm	+30 bis +100 mm	+30 bis +100 mm	-40 bis +40 mm
Linsenform	plankonvex	plankonvex	plankonvex	plankonkav bis plankonvex
Brechungsindex n _D (589,3 nm)	1.559	1.300	1.300	1.559
Zerstörschwelle	>25 kW / cm ²	>25 kW / cm ²	>25 kW / cm ²	>25 kW / cm ²
Transmissionsbereich	400 - 700 nm	400 - 700 nm	700 - 1100 nm	400 - 700 nm
Polarisation	erhaltend	erhaltend	erhaltend	erhaltend
Thermische Eigenschaften				
Lagertemperatur	-40 - 85°C	-40 - 85°C	-40 - 85°C	-40 - 85°C
Betriebstemperatur	-20 - 65°C	-20 - 65°C	-20 - 65°C	-20 - 65°C
Bestellnummer	G39 9552 000	G39 9553 000	G39 9554 000	G39 9551 000
Preis, netto zzgl. gesetzl. MwSt.	450 €	450 €	550 €	250 €

Praktische Anwendungsbereiche

Die Anwendungsgebiete können in drei Bereiche aufgeteilt werden:

- Beleuchtungssysteme
- Abbildungssysteme
- Laseranwendungen

Beispiele für den ersten Bereich sind z.B. Taschenlampen, Spots, Schweinwerfer oder Mikroskope. Diese Anwendungen sind – was die optische Qualität betrifft – sehr robust, aber auch sehr anspruchsvoll in Bezug auf Umwelteinflüsse. Der Trend hin zu LEDs kommt fokusvaria-

blen Linsen zu Gute. Halogenlampen, die das Licht ringförmig abstrahlen, können mit einem Parabolspiegel fokussiert werden. LEDs hingegen strahlen das Licht größtenteils unidirektional ab, wofür neue Optiken zur Varianten des Abstrahlwinkels benötigt werden. Die Gruppe der Abbildungssysteme beinhaltet unter anderem Kameras aller Art, Mikroskope, Endoskope und Ferngläser. Linsen mit einstellbarer Brennweite sind besonders für Anwendungen mit geringem Platzbedarf (z.B. Handy-Kameras) oder Anwendungen im Machine Vision

Bereich geeignet. Beispiele für Laseranwendungen sind Barcode-Lesegeräte, Laserbearbeitung und Lasershows.