

Optisches Design von kompakten Kameramodulen

Marco Wörz

Carl Zeiss AG
Geschäftsbereich Photoobjektive

m.woerz@zeiss.de

Durch den zunehmenden Einsatz von Kameramodulen in Mobiltelefonen versuchen dessen Hersteller sich mit der Bildqualität aktueller Digitalkameras zu messen. Extrem kleine Bauräume, Sensoreigenschaften und Fertigungstechnologien schränken dieses Bestreben jedoch vehement ein. Herausforderungen und Möglichkeiten werden nachfolgend beschrieben.

1 Definition

Ein kompaktes Kameramodul (oder Compact Camera Module / CCM) besteht in der Regel aus Objektiv, Sensor und einer eventuell integrierten kompletten Signalverarbeitung. Vorwiegend werden diese Module in Mobiltelefonen eingesetzt, welche dessen Entwicklung wesentlich vorantreiben. Um in den Geräten Platz zu finden, überschreiten sie kaum die Volumina von etwa 0.5-2cm² für Festbrennweiten und 2-4cm² bei Zoommodulen. Herausstehende oder -fahrende Teile sind zu vermeiden, da sie leicht abbrechen würden.

2 Entwicklung

Schon in den 50er Jahren sind sehr kleine Objektive für vorwiegend nachrichtendienstliche Tätigkeiten gebaut worden, damals ausschließlich aus sphärischen Glaslinsen. Sensoren gängiger Module sind elektronisch und besitzen bereits eine Auflösung von bis zu 3 Megapixel bei einer Pixelgröße von nur noch 2.2 μm . CCM-Festbrennweiten besitzen eine hohe Öffnung (2.8), 3-fach Zoomsysteme befinden sich bereits auf dem Markt bei einer F-Zahl von etwa 2.8 bis 5.9. Hochwertige Kameramodule in aktuellen Mobiltelefonen haben bereits das Potential mit Digitalkameras in der Einsteigerklasse zu konkurrieren.

3 Herausforderungen

3.1 Baulänge

Durch die sehr kleinen Abmessungen von Mobiltelefonen findet sich auch wenig Platz für ein Kameramodul. Meist wird es hinter das Display platziert, abzüglich dessen Tiefe und Raum für Elektronik verbleiben meist weniger als 10mm für das komplette Modul. In diesem Raum sind zwei Möglichkeiten des Einbaus denkbar: Ordnet man die optische Achse orthogonal zur Gehäuseoberfläche an, so muss das Modul sehr kurz gebaut werden, lässt jedoch große Öffnungen und einen preiswerten Bau zu. Die andere Möglichkeit ist das Umlenken durch ein Prisma oder einen Spiegel. Diese Module bauen länger, sind teurer hinsichtlich des um-

lenkenden Elements und dessen Justierung und lassen kaum Spielraum für große Öffnungen.

3.2 Einfallswinkel

Durch das auf den Sensoren meist vorhandene Mikrolinsenarray werden die einfallenden Strahlen begrenzt. Treffen sie zu schräg auf den Sensor, so verfehlen sie zum einen die lichtempfindliche Fläche, zum anderen können sie ein Pixelübersprechen (crosstalk) verursachen, das sich in großflächigen Farbverschiebungen manifestiert.

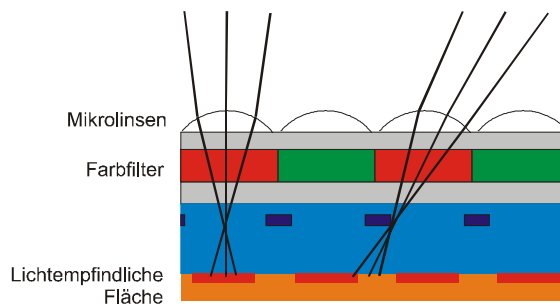


Abb. 1 Pixelübersprechen durch große Einfallswinkel.

Gewünscht wäre eigentlich ein telezentrisches System, welches mit den gegebenen Baubedingungen nahezu unmöglich ist. Eine Lösung dem entgegenzuwirken ist, das Mikrolinsenarray abhängig von den Einfallswinkeln zu verschieben, so dass der Sollpixel das Licht aufnimmt. Dadurch erreicht man eine Erhöhung auf etwa 25° zulässigen Einfallswinkel (gemessen am Hauptstrahl) von denen sonst etwa 10°. Mit abnehmender Pixelgröße nimmt die Sensordicke nicht in selbem Maß ab, daher wird das Problem der Einfallswinkel zunehmend schwerer.

3.3 Material

Bei Optik großer Stückzahlen werden oft Kunststofflinsen eingesetzt, auch bei kompakten Kameramodulen ist dies meist der Fall. Geeignete Materialien finden sich, außer Zeonex® und Polycarbonat, kaum. Eine Farbkorrektur ist damit schwer möglich, daher werden Systeme oft mit Glaslinsen ergänzt. Mit zunehmender Komplexität, beispiels-

weise Zoommodulen, sind mit Kunststoffen keine guten Ergebnisse mehr zu erzielen – Gläser sind dann unabdingbar. Aber auch hier ist die Materialauswahl begrenzt, denn aufgrund von vielen in den Systemen vorhandenen Asphären ist man auf blank gepresste Linsen angewiesen. Verschiedene Hersteller haben verschiedene Sortimente, so dass man gezwungen wird, sich zunächst auf einen Hersteller zu einigen und anschließend erst das Design fertig zu stellen. Eine Kombination mehrerer Hersteller lässt sich aus logistischen Gründen kaum realisieren.

d) Toleranzen

Die Fertigungstoleranzen sind leider nicht im selben Maß gesunken wie die Kameramodule, daher befinden sich diese momentan am technischen Limit. Eine Justierung, wie bei Kleinbildobjektiven oder Digitalkameras, ist kaum oder gar nicht möglich, es ergeben sich Ausschussraten von bis zu 20%. Viele Asphären dominieren das Design und machen die Linsen sehr kipp- und zentrierempfindlich. Daher wird die theoretische Toleranzanalyse zu einem der wichtigsten Werkzeuge im Designprozess, da man durch sie erst die letztendliche (sinnvolle) Baubarkeit feststellen kann. Optische Designs für kompakte Kameramodule müssen demnach sehr entspannt konstruiert und dürfen nicht nur aufgrund der nominalen Designwerte beurteilt werden.

4 Beispiele

4.1 $F\# = 2.8 / f' = 3.85 \text{ mm}$

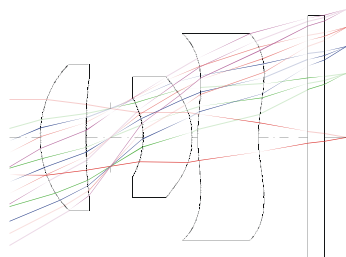


Abb. 2 Objektiv für VGA-Auflösung (0.3 Megapixel) | Pixelgröße $5.6 \mu\text{m}$ | Festbrennweite / Fixfokus (0.5m) | Baulänge: 5.60 mm | Feldwinkel: 30° | 3 Kunststofflinsen

4.2 $F\# = 2.9 / f' = 5.26 \text{ mm}$

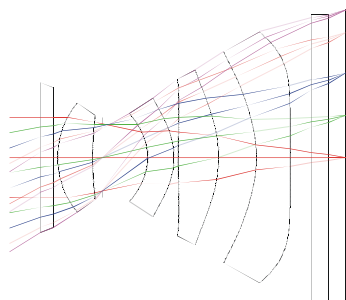


Abb. 3 Objektiv für 1.3 Megapixel Auflösung | Pixelgröße: $4.0 \mu\text{m}$ | Festbrennweite / Fixfokus (0.7m) | Baulänge: 7.00mm | Feldwinkel: 33° | 4 Kunststofflinsen

5 Ausblick

5.1 DOE

Der Einsatz eines oder mehrerer diffraktiver optischer Elemente in kompakten Kameramodulen könnte Linsen einsparen, damit die Baulänge verkürzt und Farbfehler exzellent korrigieren. Leider zeigt sich, durch die Fertigungsprobleme der DOEs bedingt, eine massive Streulichtproblematik, die es momentan unmöglich macht, sie in der Massenfertigung einzusetzen.

5.2 Flüssiglinsen

In kompakten Kameramodulen könnten Flüssiglinsen dazu dienen, Autofokus- oder Zoom-Motoren einzusparen. Die momentan herstellbaren Öle liegen im Glasdiagramm jedoch sehr ungünstig, hochdispersiv und niederbrechend, der einstellbare Brennweitenbereich ist für einen Autofokusmotor zu hoch ($\sim 20 \text{ Dpt}$), die damit verbundenen Hysterese ebenfalls (mehrere Dpt) und die Rückseite kann nicht zur Korrektur verwendet werden. Es ist sehr fraglich, ob man durch den Ersatz eines Motors durch eine Flüssiglinse einen Zugewinn hinsichtlich Kosten, Qualität der Korrektur oder Baulänge erreicht. Der Einsatz in Zoomobjektiven wäre allerdings zur Baulängenverkürzung denkbar.

5.3 Wellenfrontkodierung

Bei fokusinvarianten Systemen wird in die Blende eine (Phasen-)Maske eingebracht, wodurch der Sensor lediglich ein unscharfes Zwischenbild aufnimmt. Durch Faltung des Zwischenbildes mit der PSF des Objektivs erhält man das Endresultat. Die Tiefenschärfe kann gesteigert und der Autofokusmotor damit überflüssig werden. Der Fotograf hat allerdings keine Möglichkeit mehr, gestalterische Unschärfe einzusetzen, die Zielgruppe sind demnach eher nicht-professionelle Anwender. Der erhebliche Rechenaufwand und der damit verbundene Stromverbrauch stellt ebenfalls ein Problem für mobile Geräte dar.

6 Fazit

Die in modernen Mobiltelefonen eingebauten kompakten Kameramodule sind schon durchaus in der Lage, mit Digitalkameras der Einsteigerklasse zu konkurrieren. Kostendruck und Baubeschränkungen sind enorm, sodass Entwicklung und Fertigung in technische Randbereiche gedrängt werden. Der Einsatz von neuen Technologien wie DOEs, Flüssiglinsen oder Bildverarbeitungstechniken liegt nahe, doch die Implementierung in aktuelle Produkte ist (noch) nicht praktikabel. Die „klassische“ Optik mit starker Asphärisierung des gesamten Designs und in Kunststoffspritzguss gefertigte oder blankgepresste Linsen haben hier immer noch klare Vorteile.