

Vergrößerung der Schärfentiefe einer Abbildungsoptik durch gezielte Einführung eines Farblängsfehlers

Eckhard Langenbach

FISBA OPTIK, St. Gallen

mailto:eckhard.langenbach@fisba.ch

Der Farblängsfehler der hier vorgestellten Optik wird so gewählt, dass mit einem RGB-Farbsensor aufgenommene Farbauszüge zu geringfügig überlappenden Schärfentiefenbereichen gehören. Dadurch kann mit einer einzigen Aufnahme ein deutlich erweiterter Tiefenbereich mit hoher Auflösung erfasst werden.

1 Einleitung

Bei Abbildungsoptiken für die industrielle Bildverarbeitung sind oft widersprüchliche Anforderungen zu erfüllen: Eine große Schärfentiefe ist nur mit kleinen Aperturwinkeln erreichbar, während eine gute Bildschärfe große Aperturwinkel erfordert.

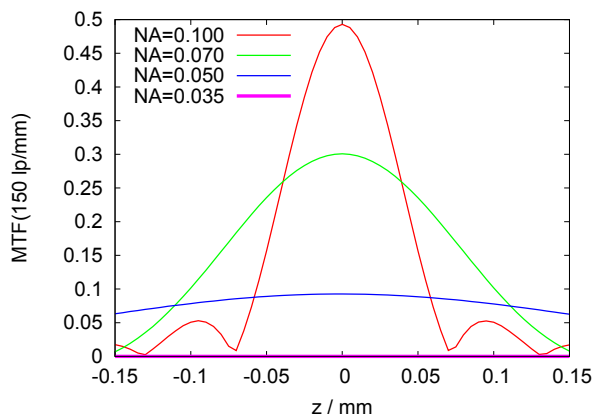


Abbildung 1 Fokusabhängigkeit des Bildkontrasts

Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 1 an einem Beispiel demonstriert: Für unterschiedliche numerische Aperturen $0.035 \leq NA \leq 0.1$ wird die Fokusabhängigkeit des Bildkontrasts bei der Ortsfrequenz 150 lp/mm dargestellt. Die bei diesen Rechnungen verwendete Optik ist aberrationsfrei und arbeitet mit weißem Licht. Bei $NA = 0.1$ ist der Kontrast in der optimalen Bildebene mit 50% noch sehr hoch, aber er sinkt bereits bei leichtem Defokussieren deutlich ab. Mit sinkender NA wird der Maximalkontrast zwar kleiner, aber er bleibt über einen größeren Tiefenbereich noch brauchbar. Für $NA \leq 0.05$ sinkt der Kontrast unter 10%, und bei $NA = 0.035$ werden die 150 lp/mm gar nicht mehr aufgelöst.

2 Aufnahme mehrerer Objektebenen

Kleine Details in einem tiefen Objektraum lassen sich abbilden, indem man mehrere Bilder mit unterschiedlicher Fokusslage aufnimmt. Bei zeitkritischen Anwendungen verbietet sich jedoch die sequentiell-

le Aufnahme der Bilder, und die Aufnahmen müssen gleichzeitig erfolgen. Dafür könnte man z. B. das Objekt über Strahlteiler auf mehrere Sensoren abbilden, die jeweils auf eine andere Objektebene fokussiert sind. Die numerische Apertur wird so gewählt, dass das notwendige Auflösungsvermögen erreicht wird, und die Abstände der Fokusebenen werden an die Schärfentiefe angepasst.

2.1 Objektiv mit Farblängsfehler

Die hier vorgestellte Optik modifiziert diesen Ansatz, indem eine Optik mit einem gezielt angepassten Farblängsfehler verwendet wird und sich alle Farben eine gemeinsame Bildebene teilen. Dadurch gehört im Objektraum zu jeder Wellenlänge eine andere Objektebene.

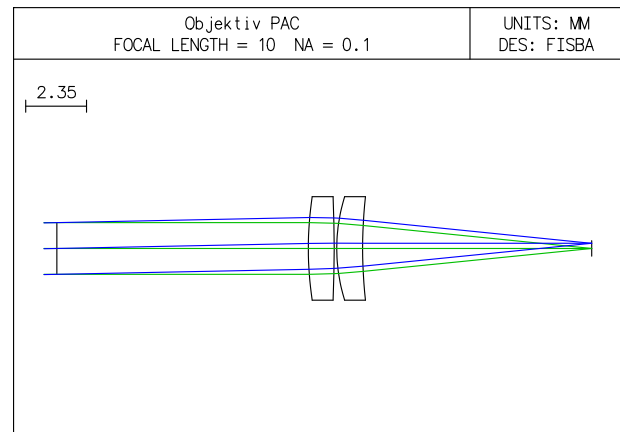


Abbildung 2 Schnittbild eines monochromatisch korrigierten Objektivs

Abbildung 2 zeigt ein einfaches Objektiv dieses Typs mit folgenden Eigenschaften:

- Brennweite $f = 10$ mm
- numerische Apertur $NA = 0.1$
- Objektfelddurchmesser 0.4 mm
- objektseitig telezentrisch
- Bildabstand ∞

- sehr gute Korrektur der monochromatischen Bildfehler
- Farblängsfehler: Abstand der roten und der blauen Objektebene ≈ 0.2 mm (siehe Abbildung 3)
- Der unkorrigierte Farbquerfehler bleibt über das kleine Objektfeld vernachlässigbar klein.
- In der zur Abbildung 2 gehörenden Optikrechnung verlaufen die Lichtstrahlen rückwärts vom Bild (links, ∞) zum Objekt (rechts).

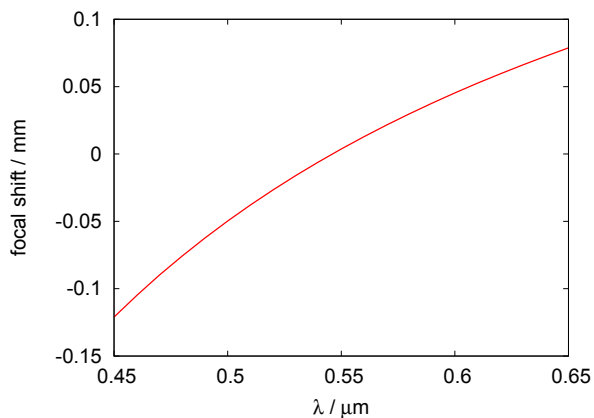


Abbildung 3 Farblängsfehler des Objektivs

Im vorliegenden, einfachen Beispiel ist der Farblängsfehler durch eine geeignete Glasauswahl eingestellt worden, wobei die beiden positiven Linsen aus dem gleichen Kronglas bestehen. Für viel kleinere oder viel größere Farblängsfehler muss man – ähnlich wie bei Achromaten – positive und negative Linsen aus Gläsern mit unterschiedlicher Dispersion kombinieren.

2.2 Verwendung von RGB-Farbsensoren

Die gleichzeitige Aufnahme von drei Objektebenen ist mit einem RGB-Farbsensor möglich. Die aufgenommenen Bilder werden in drei Farbauszüge zerlegt, die jeweils eine eigene Ebene im Objektraum scharf darstellen. Dabei geht zwar die Anzahl der nutzbaren Pixel zurück, aber im Vergleich zu einer Einzelaufnahme erreicht man bei gleicher Auflösung etwa die dreifache Schärfentiefe (siehe Abbildung 4), wenn man von 10% Mindestkontrast ausgeht. Wird ein höherer Kontrast benötigt, muss der Farblängsfehler reduziert werden, was aber auch den Tiefenbereich entsprechend verkleinert.

Alternativ zu einer Vergrößerung der Schärfentiefe kann das Verfahren auch zur Erhöhung der numerischen Apertur verwendet werden, um das Auflösungsvermögen zu verbessern.

Bei der Sensorauswahl sollte auf die Verwendung eines RGB-Sensors geachtet werden, dessen Pixel jeweils für eine der additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau empfindlich sind. Weit verbreitet sind auch CYMG-Sensoren mit Pixeln für die subtraktiven Grundfarben und für Grün, die zwar eine höhere Lichtempfindlichkeit erreichen, aber für die aktuelle Anwendung weniger gut geeignet sind. RGB-Farbauszüge müssen dann nämlich durch Linearkombinationen kontrastarmer Bilder errechnet werden, was mit einem Anstieg des Bildrauschens verbunden ist.

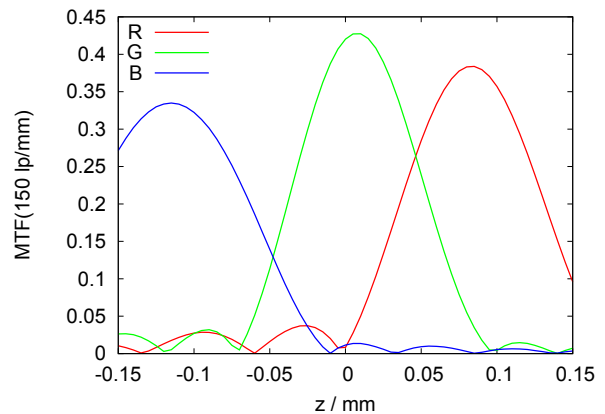


Abbildung 4 Fokusabhängigkeit des Farbkontrasts der RGB-Farbauszüge

3 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Verfahren erlaubt mit einem Farbsensor die gleichzeitige Aufnahme von drei Objektebenen mit jeweils einem Farbauszug für die additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau. Wenn die Gleichzeitigkeit nicht benötigt wird, kann das Verfahren auf mehr als drei Objektebenen erweitert werden, indem man einen monochromen Bildsensor verwendet und nacheinander mehrere Farbauszüge aufnimmt, bei denen das Objekt jeweils mit einer anderen Farbe beleuchtet wird. Leuchtdioden als Lichtquellen ermöglichen die schnelle Umschaltung der Beleuchtung auf viele, eng beieinander liegende, schmale Wellenlängenbereiche.