

Projektarbeit 1 MA-LOT

Thema:

Bokeh-Optimierung mittels eines planaren Apodisationselementes nahe der Aperturblendenebene eines Objektivs

Vorgelegt von

Daniel Thomae

Adorf i.V., den 02.04.2009

Zweite erweiterte Auflage : Adorf i.V., November 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen, Einleitung und Motivation	3
2	Stand der Technik	5
2.1	Nikon 105 mm & 135 mm Defocus Control	5
2.2	Minolta / Sony 135 mm F2.8 [T4.5] STF	5
3	Realisation mittels planarem Absorptionselement	6
3.1	Einfügen eines planen Trägerelementes mit absorbierender Beschichtung neben die Aperturblende	6
3.2	Aufdampfen einer absorbierenden Schicht auf einer aperturnahe Linse	7
4	Optimale Transmissionsfunktion	8
4.1	Ohne Absorptionsring	9
4.2	Schmaler Absorptionsring	9
4.3	Breiter Absorptionsring	10
4.4	Hergestellte Prototypen - 50 mm F2.4 [T3.4] - Version V1 & V2	10
5	Messergebnisse	11
5.1	MTF in Schärfenebene	11
5.2	dPSF - Aufnahme als Bild	12
5.3	Streulichtempfindlichkeit	13
6	Zusammenfassung & Ausblick	13

Abkürzungsverzeichnis

50 mm F2.4 [T3.4] - siehe Abschnitt 4.4

dPSF - defokussierte Punktbildverwaschungsfunktion (PSF), siehe Kapitel 1

Bokeh - siehe [2]

MTF - Modulations-Transfer-Funktion

Quellenverzeichnis

1 - John Hedgecoe - Fotografieren - Die neue große Fotoschule

2 - 2009-03-17 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Bokeh>

3 - A Technical View of Bokeh - by Harold M. Merklinger, published in 'Photo Techniques', May/June 1997

4 - Photozone - Review Sony 135mm f/2.8 [T4.5] STF
http://www.photozone.de/sony-alpha-aps-c-lens-tests/390-sony_135_28

5 - 2009-03-24 - <http://www.flickr.com/photos/1picaday/298169170/in/set-72157594391319516/>

6 - 2009-03-25 - <http://www.flickr.com/photos/tommyoshima/2194065235/>

7 - dpreview.com - Olympus E-30 Review - 2009-03-28
<http://www.dpreview.com/reviews/olympuse30/page33.asp>

8 - US-Patent - No. 3843235 - Image forming optical system wherein defocus images are improved

1 Grundlagen, Einleitung und Motivation

In der künstlerischen Fotografie wird für Portraitaufnahmen oft eine sehr dünne Schärfenebene und damit verbunden ein stark defokussierter Hintergrund angestrebt [1, Seite 47, rechts oben]. Die Defokussierung des Hintergrundes stellt sicher, dass dessen feine Details nicht auf den Bildaufnehmer übertragen werden.

Einzig das Hauptmotiv (i.d.R. das Gesicht eines Menschen) wird mit vielen Einzelheiten wieder gegeben (Abb. 1.1). Man erhofft sich hiervon eine Lenkung des Blickes auf den im Bild festgehaltenen Menschen, bzw. keine Ablenkung des Betrachters durch die Beschaffenheit des Hintergrundes.

Meist verwendet man für die Anfertigung (künstlerischer) Portraits leichte Teleobjektive mit kleinbildäquivalenten Brennweiten zwischen 75 und 135 mm, die typischen Maximalaperturen dieser Optiken liegen zwischen F2.8 und F1.2. Dies stellt in der Praxis eine oft ausreichende Defokussierung des Hintergrundes sicher.



Abbildung 1.1: 'Boris' von flickr-Nutzer 'one pic a day' [5]

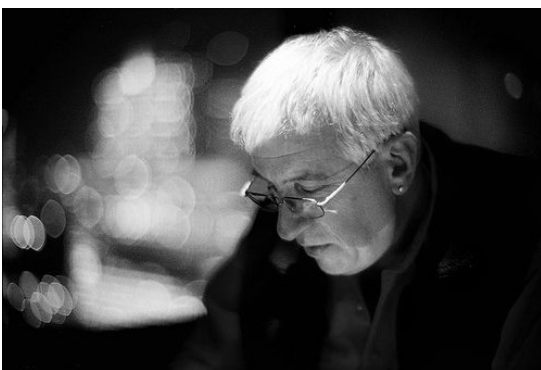


Abbildung 1.2: 'The Profile of Mister Z' von flickr-Nutzer 'TommyOshima' [6]

Jedoch kann auch bei diesen Objektiven ein bestimmter Restgehalt an hochfrequenten Bildbestandteilen (bzw. 'harte Linien') des defokussierten Hintergrundes verbleiben (Abb. 1.2).

Dies liegt an der Punktbildverwaschungsfunktion (engl.: **point spread function** - PSF). Wird eine kleine Punktlichtquelle aus dem Unendlichen durch ein Objektiv auf einen Bildaufnehmer nahe der Bildebene des Objektivs abgebildet, so beschreibt die PSF die Intensitätsverteilung des entstehenden Bildpunktes auf dem Bildaufnehmer. Sie ist damit ein Mittel um die Abbildungsgüte eines Objektivs in seiner Bildebene quantitativ zu bewerten.

Interessant im Rahmen dieser Arbeit ist die PSF für Bildpunkte, welche stark defokussiert auf den Bildaufnehmer treffen. Die defokussierte PSF (im folgenden dPSF) ähnelt dabei der Form der wirkenden Transmissionsfunktion der Apertur des Objektivs. [3, Seite 2] Charakteristisch ist dabei zum einen der abrupte Helligkeitsabfall am Rand der dPSF, zum zweiten kann die dPSF je nach Ausführung der Aperturblende aus einem regelmäßigen n-Eck bestehen (Abb. 1.3).

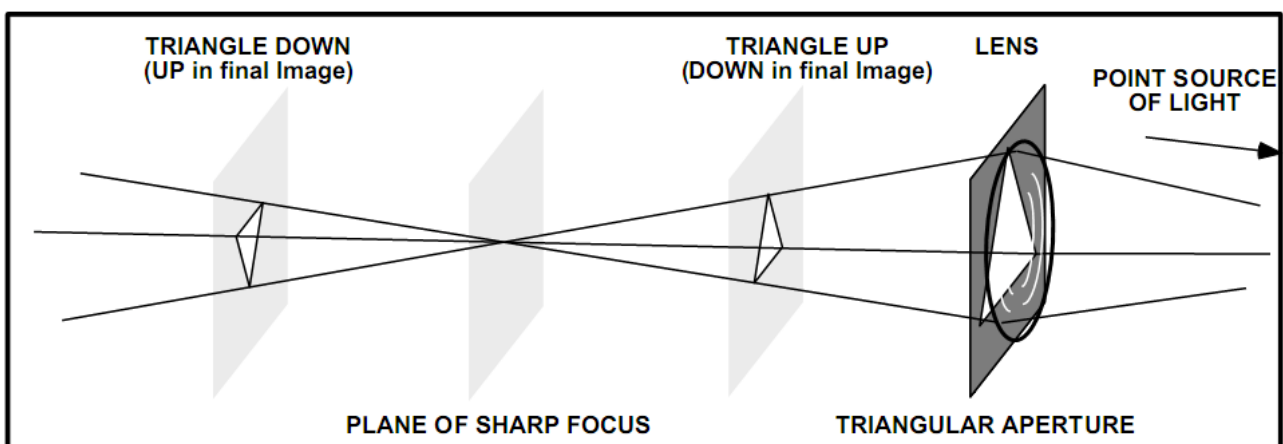


Abbildung 1.3: Entstehung der dPSF in Abhängigkeit der Form der Aperturblende, entnommen aus [3]

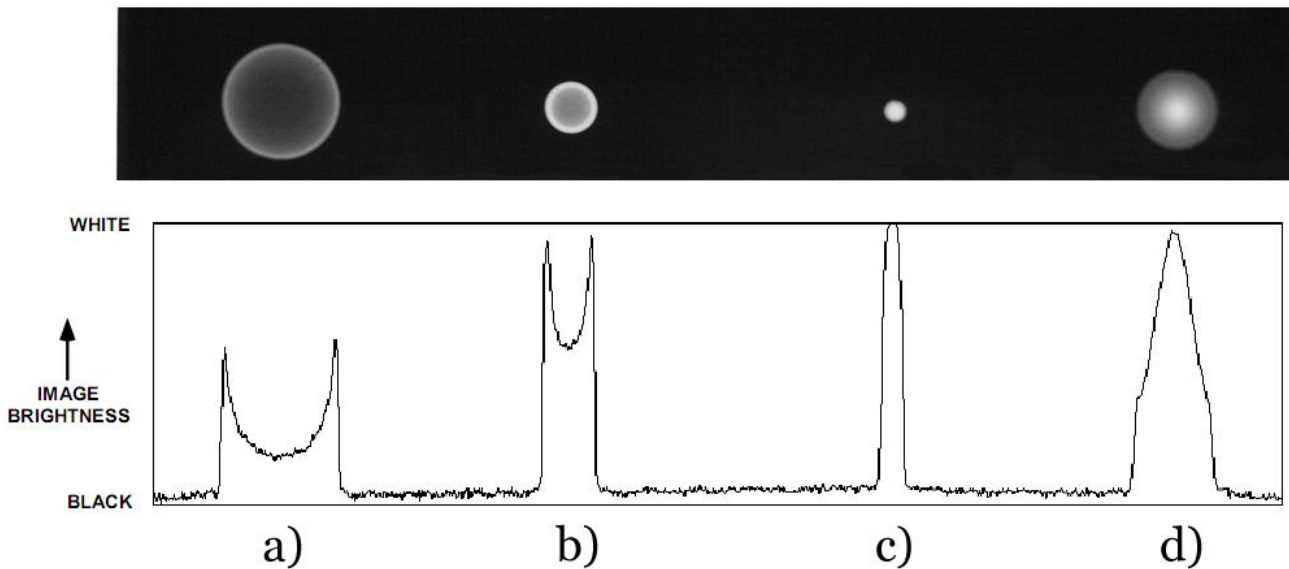


Abbildung 1.4: oben: Zerstreungskreise einer Punktlichtquelle mit Rodenstock Imagon 250 mm, unten: Schnitt durch die jeweiligen Zerstreungskreise. a) Film 4 cm vor Schärfenebene, b) 2 cm vor Schärfenebene, c) in Schärfenebene, d) 2 cm hinter Schärfenebene, entnommen aus [3]

Hinzu kommen noch Variationen in der Helligkeits- und Farbverteilung innerhalb der dPSF welche von Abbildungsfehlern herrühren. Insbesondere ist hierbei die sphärische Aberration zu nennen, welche der dPSF auf einer Seite der Schärfenebene eine helle Umrandung hinzufügt, auf der anderen Seite jedoch zu einem weichen Auslaufen der dPSF führt (Abb. 1.4).

Von vielen Nutzern angestrebt wird ein weiches Auslaufen der Intensität zu den Rändern der dPSF hin, dieses wird im weiteren als 'ästhetische dPSF' bezeichnet (Abb. 1.5).

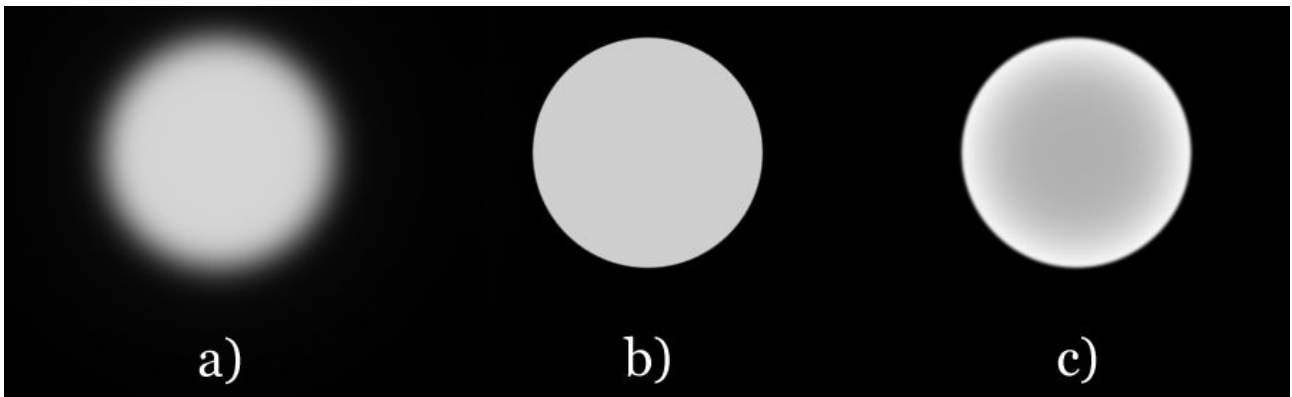


Abbildung 1.5: Subjektive Einteilung der dPSF, a) ästhetisch, b) neutral, c) unästhetisch

2 Stand der Technik

Für die Erzielung einer ästhetischen dPSF bieten zwei große Fotooptik-Hersteller eine Lösung an.

2.1 Nikon 105 mm & 135 mm Defocus Control

Nikon verwendet in den Objektiven 105 mm F2.0 DC und 135 F2.0 DC eine spezielle Optikbaugruppe, welche gezielt die Korrektur der sphärischen Aberration eingreift. Das Maß der sphärischen Aberrationskorrektur lässt sich über einen dezidierten Kontrollring am Objektiv einstellen.

Hierdurch lässt sich die dPSF nach dem in Abb. 1.4 gezeigten Prinzip in einem gewissen Maße steuern. Eine ästhetische dPSF lässt sich hierbei jedoch nur für den Bereich vor oder hinter der Schärfenebene erreichen und bedingt gleichzeitig eine unästhetische für den komplementären Bereich.

Die Nikon Defocus Control Objektive können über das AF-System einer Spiegelreflex-Kamera scharf gestellt werden. Die Fokusslage muss jedoch nach jeder Änderung der sphärischen Aberrationskorrektur nachgeführt werden.

Das Nikon Objektiv 105mm F2.0 DC ist für rund 850 Euro erhältlich, das Nikon Objektiv 135 mm F2.0 DC für rund 1150 Euro.

2.2 Minolta / Sony 135 mm F2.8 [T4.5] STF

Die zweite Lösung am Markt wurde 1999 von Minolta (inzwischen zu Sony gehörend) eingeführt. Im 135 mm F2.8 STF ('smooth transition focus') nutzt man eine verkittete Kombination aus einer Plan-Konkav und einer Plan-Konvex-Linse als Apodisationselement (Abb. 2.1). Die Plan-Konkav Linse wird hierbei aus einem Glas mit absorbierende Wirkung hergestellt. Durch die verschiedenen Weglängen bei der Passage des Elementes wird in der Bildmitte eine höhere Transmission erreicht, als am Rand. Das Funktionsprinzip wurde 1974 als Patent erteilt [8].

Durch den Eingriff in die Transmissionsfunktion der Aperturblende, wird eine ästhetische dPSF sowohl vor als auch hinter der Schärfenebene erreicht.

In Folge des absorbierenden Glaselements, sinkt jedoch der Transmissionsgrad des Gesamtsystems deutlich. Daher wird neben der geometrischen Blende ein Äquivalent für die Belichtungsmessung [T4.5] angegeben.

Nachteilig ist die durch das Apodisationselement weitgehend festgelegte Blendenstellung des Objektivs. Die Schließung der Aperturblende führt wiederum zum Auftauchen einer harten Kante in der dPSF (Abb. 2.2). Weiterhin wird das Objektiv ohne Autofokus ausgeliefert und muss vom Benutzer per Hand scharf gestellt werden. Das Sony 135 mm F2.8 [T4.5] STF ist für ca. 1000 Euro erhältlich.

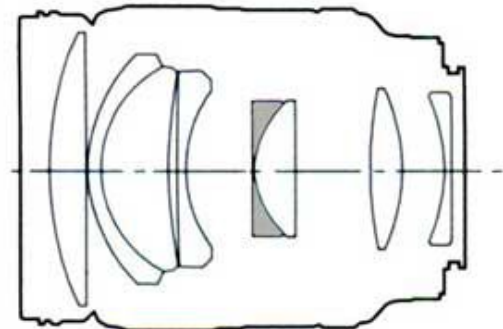


Abbildung 2.1: Optischer Aufbau Minolta 135 mm F2.8 STF



Abbildung 2.2: dPSF des 135 mm STF bei verschiedenen Blendenstellungen, entnommen aus [4]

3 Realisation mittels planarem Absorptionselement

Wie bereits in Kapitel 2 dargelegt, sind die am Markt befindlichen Lösungen für eine ästhetische dPSF relativ teuer, was die Existenz eines gut betuchten Kundenkreises mit Sensibilität für die Erscheinung der dPSF nahe legt.

Als Versuchsobjektiv für eine kostengünstige Realisation wurde ein 'Pentacon auto 1,8/50 Multi Coating' gewählt (Abb. 3.1), durch Verwendung eines Sensor mit nur 21,6 mm Diagonale beträgt die kleinbildäquivalente Brennweite ca. 100 mm. Das Pentacon ist zwar nur mäßig lichtstark, jedoch relativ leicht erhältlich und mechanisch einfach zu zerlegen.

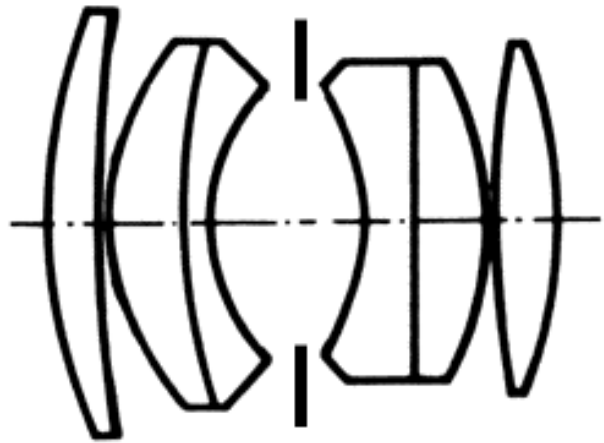


Abbildung 3.1: Optischer Aufbau Pentacon 50 mm F1.8

3.1 Einfügen eines planen Trägerelementes mit absorbierender Beschichtung neben die Aperturblende

Um die Transmissionsfunktion in der Aperturblendenebene zu beeinflussen, bietet sich die Montage eines transparenten Trägermediums direkt neben der Aperturblende an (Abb. 3.2). Als Träger für einen ersten Versuch wurde eine Polylux-Folie gewählt, welche durch einen Laserdrucker vorher mit einer entsprechenden Transmissionsfunktion versehen wurde.

Beim Betrachten des Objektivs erkennt man bereits mit bloßem Augen das Druckraster (Abb. 3.3). Dieses regelmäßige Muster führt zu Beugungseffekten. Die mittels dieses Objektivs erzielte PSF (Abb. 3.4a) führt zu einer deutlichen Abnahme der Auflösungsleistung des Objektivs in der Bildebene.

Die dPSF zeigt keine harte Begrenzung, das subjektive Erscheinungsbild wird jedoch durch die inhomogene Intensitätsverteilung getrübt (Abb. 3.4b).



Abbildung 3.2: In Objektiv geklebte Trägerfolie

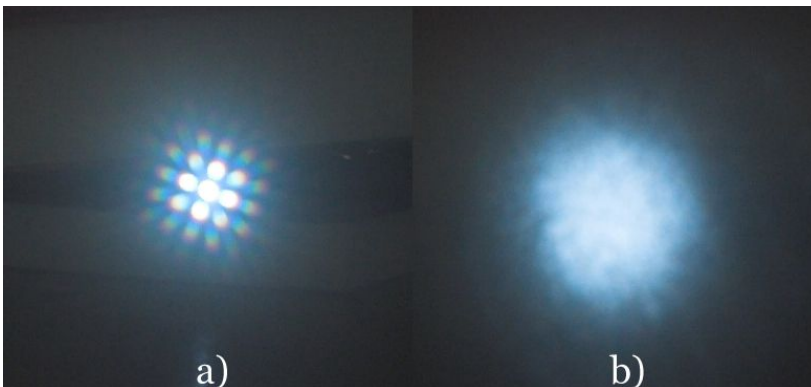


Abbildung 3.4: a) PSF, b) dPSF Pentacon 50 mm mit bedruckter Folie

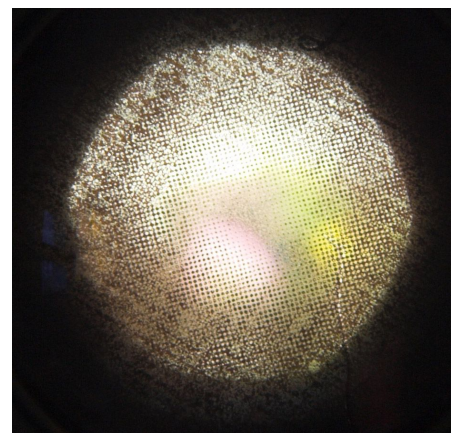


Abbildung 3.3: Blick durch Pentacon 50 mm mit bedruckter Folie

3.2 Aufdampfen einer absorbierenden Schicht auf einer aperturnahe Linse

Aufgrund der Probleme mit der Beschaffung eines ausreichend antireflex-beschichteten Trägers sowie der offenen Frage, wie eine fein genug strukturierte Beschichtung mit Transmissionsgradient darauf angebracht werden kann, wurde dieser Ansatz fallen gelassen.

Als alternativer Träger für die absorbierende Schicht wurde die vor der Aperturblende gelegene Linsenoberfläche benutzt. Als Beschichtungsmaterial wurden die Rückstände aus einer unvollständigen Verbrennung von Kerzenwachs genutzt.

Hält man einen kalten Gegenstand in eine Kerzenflamme, wird der Verbrennungsprozess gestört und es bildet sich auf dem Gegenstand eine Schicht aus nahezu schwarzem Material (im folgenden als 'Ruß' bezeichnet). Diese Schicht zeichnet sich durch einen sehr kontinuierlichen Transmissionsverlauf ohne visuell sichtbares Muster aus (Abb. 3.5). In Folge dessen war anzunehmen, dass die in Abschnitt 3.1 beobachteten Beugungseffekte nicht auftreten sollten.

Ein erster Prototyp wurde durch jeweils kurzes 'in die Flamme tauchen' der vorderen Objektivbaugruppe und anschließendem Weiterdrehen angefertigt (Abb. 3.5). Die Transmissionsverteilung in der Aperturblendenebene wies demzufolge keine Rotationssymmetrie auf (Abb. 3.5). Die damit entstandenen Bilder zeigen keine Beugungseffekte in der Schärfenebene (Abb. 3.6a). Die dPSF weist gemäß [3] die Form der nicht rotationssymmetrischen Transmissionsverteilung auf und sieht entsprechend ungewöhnlich aus (Abb. 3.6b).

Zur Erreichung der Rotationssymmetrie war es zweckmäßig, die vordere Objektivbaugruppe während der Beschichtung rotieren zu lassen. Hierzu wurde sie mittels dreier Büroklammern auf einem PC-Lüfter montiert (Abb. 3.7a). Dieser kann über ein regelbares Netzteil mit Spannungen zwischen 3 und 12 V mit verschiedenen Geschwindigkeiten rotieren (Abb. 3.7b). Anschließend wurde die rotierende Objektivbaugruppe in eine Kerzenflamme gehalten (Abb. 3.8).



Abbildung 3.5: Transmission durch vordere Objektivbaugruppe nach Beschichtung mit Ruß

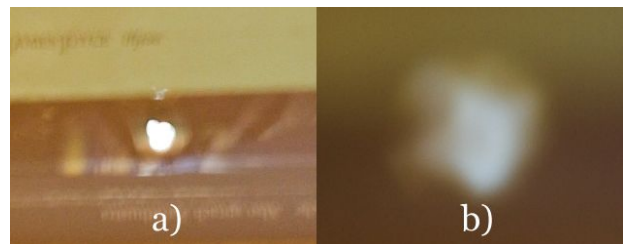


Abbildung 3.6: a) PSF (leicht verwackelt), b) dPSF, Pentacon 50 mm mit Rußbeschichtung



Abbildung 3.8: Beschichtung der vorderen Objektivbaugruppe mit Ruß



Abbildung 3.7: Montage der Objektivbaugruppe auf PC-Lüfter

4 Optimale Transmissionsfunktion

Je nach Ausführung der Beschichtung lassen sich verschiedene Rußprofile auf der Linsenoberfläche erzielen. Zur Systematisierung ist die Einteilung in drei Transmissionszonen sinnvoll (Abb. 4.1). Zur Vereinfachung wird angenommen, die Apodisationsschicht befindet sich direkt in der Aperturblendenebene.

In der Mitte der Aperturblende befindet sich ein Bereich, dessen Transmissionsgrad durch die Apodisation nicht beeinflusst wird ('Transmittierender Bereich'). Am Rand der Aperturblende der Absorptionsring, dessen dicke Rußschicht (fast) kein Licht transmittieren lässt. Zwischen beiden befindet sich der Gradientenbereich, welcher einen fließenden Übergang zwischen den letztgenannten herstellt.

Die Angabe über die Lage der Bereiche erfolgt aus praktischen Gründen über die Zuordnung der Stellung der Aperturblende.

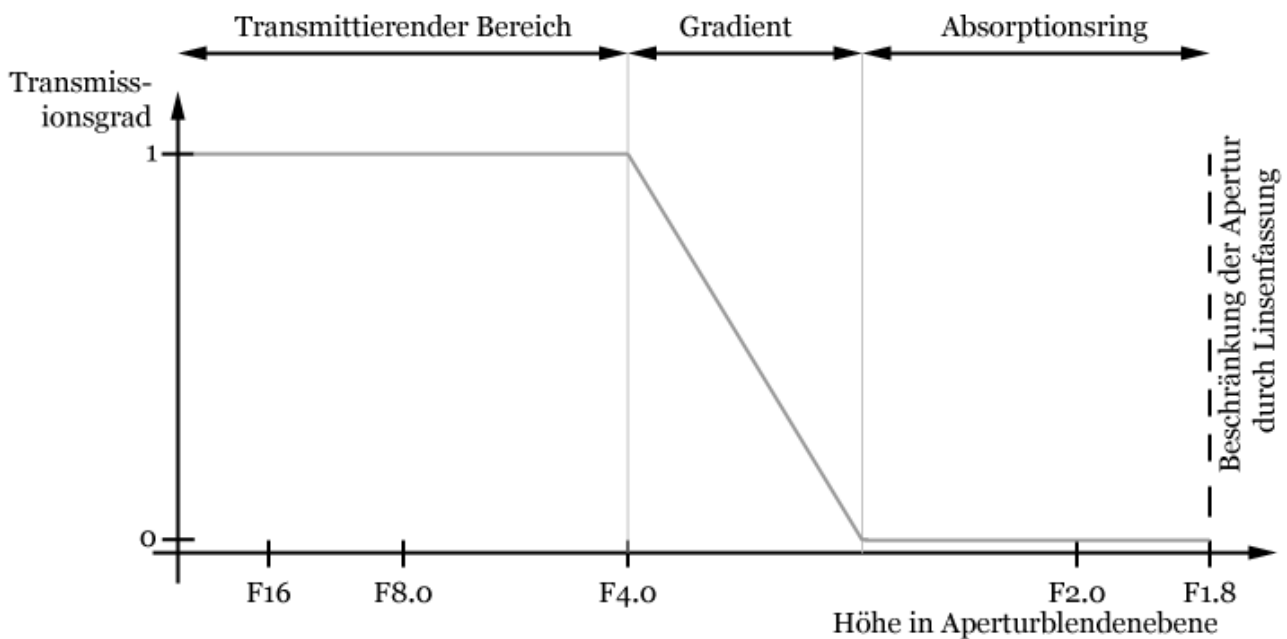


Abbildung 4.1: Einteilung der Transmissionsfunktion in drei Transmissionszonen, Erklärung siehe Text

Im folgenden sollen kurz die Vor- und Nachteile von drei exemplarischen Transmissionsfunktionen diskutiert werden (Abb. 4.2).

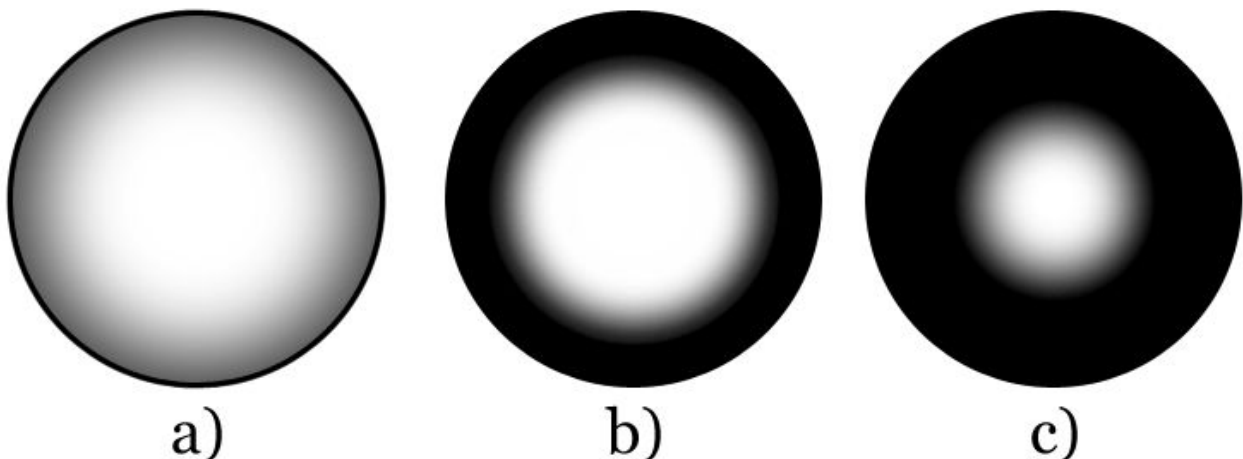


Abbildung 4.2: a) ohne Absorptionsring, b) schmaler Absorptionsring, c) breiter Absorptionsring

4.1 Ohne Absorptionsring

Die einfachste Möglichkeit ist die Anbringung einer leicht absorbierenden Schicht, deren Gradient bis unmittelbar an die Linsenfassung reicht. Dieses 'Design' verursacht nur einen geringen Abfall der durch das Objektiv transmittierten Helligkeit und erzeugt aufgrund geringen eingebrachten Rußmenge am wenigsten Streulicht.

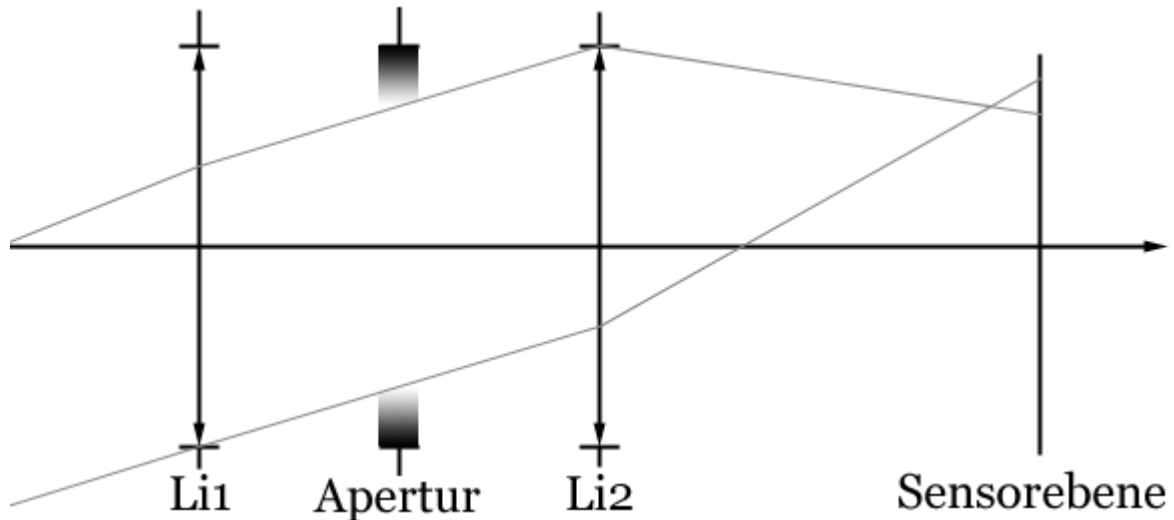


Abbildung 4.3: Prinzipdarstellung von Vignettierung

Diese Transmissionsfunktion sorgt jedoch nur in der Mitte des Bildes für eine ästhetische dPSF. Mit zunehmenden Abstand von der Bildmitte, zeigt die dPSF durch Vignettierung verursachte 'harte' Kanten. Bei der Abbildung achsferner Punkte wirkt sowohl die vordere als auch die hintere Linsenfassung als Aperturblende, der geschwärzte Bereich der Transmissionsfunktion wird nicht durchlaufen (Abb. 4.3).

4.2 Schmaler Absorptionsring

Die in 4.1. aufgezeigten Vignettierungsprobleme können durch die Einführung eines Absorptionsringes reduziert werden (Abb. 4.4).

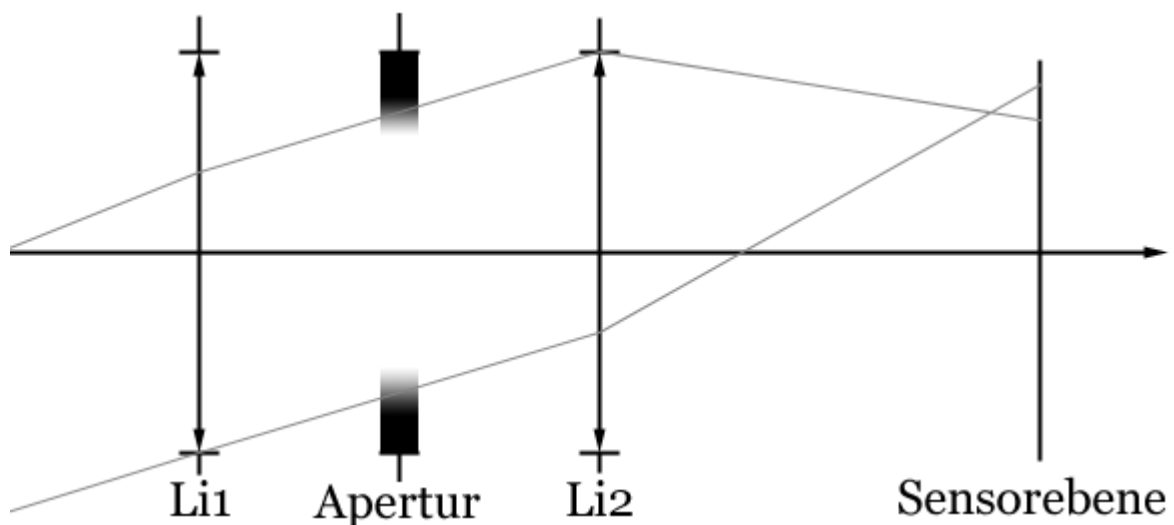


Abbildung 4.4: Prinzipdarstellung Vignettierung mit schmalen Absorptionsring

4.3 Breiter Absorptionsring

Durch eine weitere Vergrößerung des Absorptionsringes kann man die Vignettierungsprobleme natürlich auch vollkommen beseitigen. Die damit einhergehende drastische Reduktion der Lichtstärke des Objektivs bedingt eine Reduktion des Durchmessers der dPSF. Die Zerstreungskreise sind dann zwar sehr 'ästhetisch', gleichzeitig aber so klein, dass noch sehr viele Details des Hintergrundes erhalten bleiben.

Für die Dimensionierung des Absorptionsringes ist zudem die Abbildungsqualität in der Schärfenebene zu beachten. Fast alle alten 50 mm Objektive weisen bei offener Blende ein für heute übliche Fotosensoren unzureichendes Auflösungsvermögen auf, welches meist erst durch das Abblenden auf Blende F4 bis F5.6 über das gesamte Bildfeld ein gutes Niveau erreicht.

Die Dimensionierung des Absorptionsrings ist daher auch maßgeblich für das Auflösungsvermögen feinsten Details verantwortlich. Für ein Portraitobjektiv ist hier wahrscheinlich ein anderer Kompromiss aus den Eigenschaften der PSF und dPSF sinnvoll als für ein Makro-Objektiv.

4.4 Hergestellte Prototypen - 50 mm F2.4 [T3.4] - Version V1 & V2

Für die weiteren Messungen wurde ein Pentacon 50 mm F1.8 Objektiv nach diesem Schemata modifiziert. Der dunkle Außenring blendet das Objektiv etwa auf Blende 2.4 ab, der Gradient der Transmissionsfunktion umfasst ca. den Bereich von Blende 2.4 bis 4.0.

Die Lichttransmission ist äquivalent zu Blende 3.4. Nach dem Namensschema von Minolta/Sony wäre dieses Objektiv demzufolge ein '50 mm F2.4 [T3.4] V1', diese Bezeichnung wird im Weiteren für den ersten Prototypen verwendet. Die Apodisation mittels Rußschicht bewirkt eine leichte Farbverschiebung zum rötlichen Ende des Spektrums hin. Dies resultiert scheinbar aus einer spektral leicht variierenden Extinktion der Rußschicht.

Zur Reduzierung der sich aus einem zu schmalen Absorptionsring ergebenden Vignettierung in der dPSF wurde eine zusätzliche Apodisationsschicht auf die Innenseite der letzten Linse aufgetragen. Hierzu wurde die Linse ausgebaut, mit Silikon auf eine Rotationsfassung gekittet (Abb. 4.7), mit Ruß beschichtet (Abb. 4.6) und wieder in das Objektiv eingebaut. Das dabei entstandene Objektiv wird im Weiteren als '50 mm F2.4 [T3.4] V2' bezeichnet.



Abbildung 4.5: Pentacon 50 mm F2.4 [T3.4]



Abbildung 4.7: Linse auf Rotationsfassung

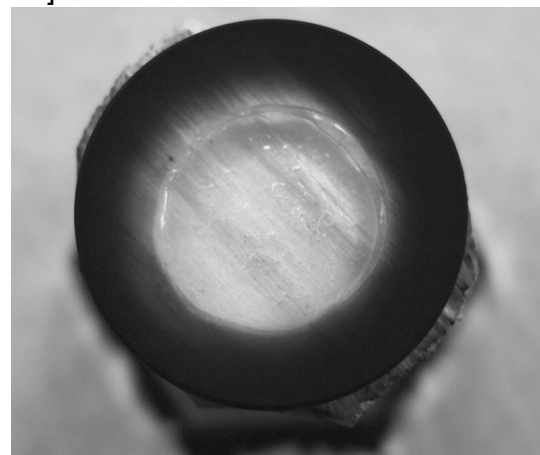


Abbildung 4.6: Linse beschichtet

5 Messergebnisse

5.1 MTF in Schärfeebene

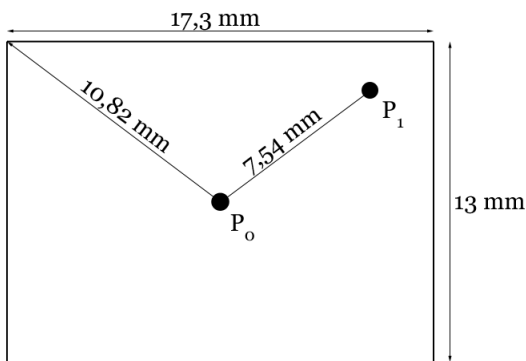


Abbildung 5.1: FourThirds Bildsensor im 4:3 Format - P_0 und P_1 bezeichnen die Messpunkte für die MTF-Funktion

Die MTF in der Schärfeebene wurde im Optiklabor der FH-Jena an einem MTF-Messplatz gemessen. Es wurden die Punkte P_0 und P_1 im Bildfeld gewählt, P_0 bezeichnet die Abbildung auf der optischen Achse, P_1 70% der halben Sensordiagonalen (Abb. 5.1).

In Tabelle 5.1 sind die MTF-67 Messwerte für das 50 mm F2.4 [T3.4] V1 Objektiv vermerkt. Die Messwellenlänge betrug 587 nm. MTF-67 bezeichnet die Bildfrequenz, bei welcher noch 67% des im Objekt enthaltenen Kontrastes übertragen werden.

Aktuelle Bildsensoren mit 12 MP im FourThirds Format bieten ein Auflösungsvermögen von ca. 145 LP/mm [7].

Dies ist deutlich mehr, als das 50 mm F2.4 [T3.4] V1 ohne Eingriff der Aperturblende mit hohem Kontrast aufzulösen vermag. In Anbetracht des Anwendungsgebietes als Portraitobjektiv ist das optische Auflösungsvermögen jedoch hinreichend gut.

Die MTF Kurven für das Bildzentrum bei der Aperturblendenstellung F1.8 für das Bildzentrum sowie die Meridional- und Saggitalebene können Abb. 5.2 entnommen werden. Hierbei ist zu beachten, dass die für jede Kurve erneut die optimale Bildposition gesucht wurde, eine evtl. auftretende Bildfeldwölbung sowie Astigmatismus bleiben durch diese Messung unbeachtet.

Tabelle 5.1: MTF-67 für das 50 mm F2.4 [T3.4] bei verschiedenen Stellungen der Aperturblende

MTF67 [LP/mm]	P_0	P_1 Saggital	P_1 Meridional
F1.8	92	51	32
F2.8	90	65	41
F4.0	95	94	83

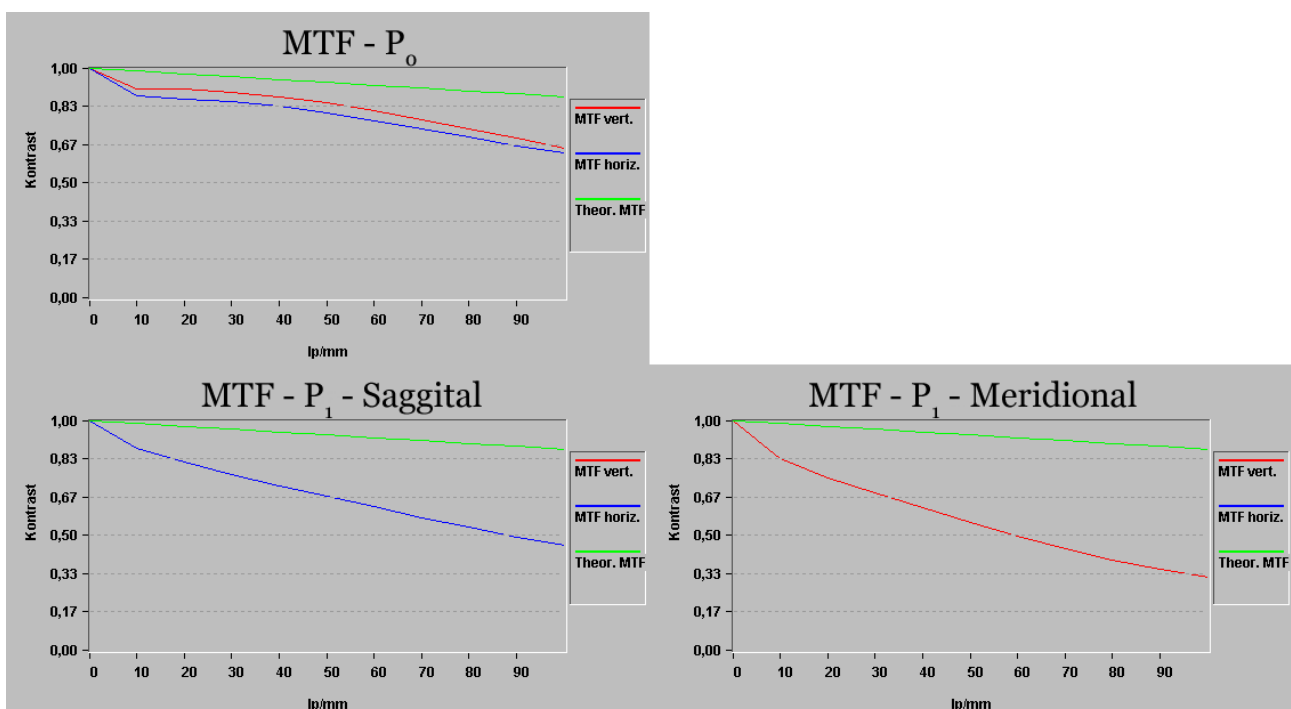


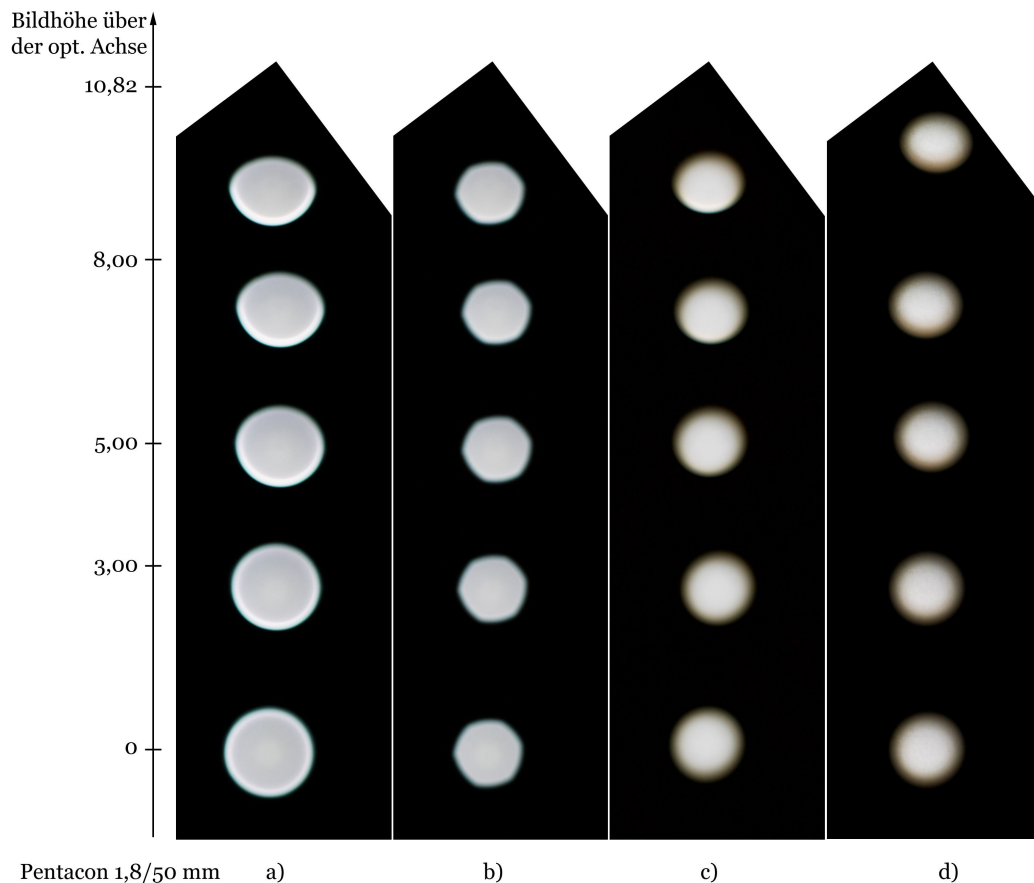
Abbildung 5.2: MTF für 50 mm F2.4 [T3.4] V1 für P_0 und P_1 - Fokussierung erfolgte für jede Messung neu, die angegebene theoretische MTF gilt für ein Objektiv mit Lichtstärke F1.8

5.2 dPSF - Aufnahme als Bild

Die dPSF kann mittels einer Punktlichtquelle (z.B. weiße LED) vor einem dunklem Hintergrund über den Bildsensor einer Kamera aufgenommen werden. Zur Beurteilung der Beeinflussung der dPSF durch die Apodisation wurde das 50 mm F2.4 [T3.4] in beiden Versionen (Abb. 5.3c&d) mit einem unmodifizierten Pentacon 50 mm F1.8 bei den Blenden F1.8 (Abb. 5.3a) und F2.8 (Abb. 5.3b) verglichen. Die Objektiv wurden jeweils auf eine Distanz von 0.7 m fokussiert, die LED befand sich in 2 m Entfernung (auf die Sensorposition bezogen).

Wie Abb. 5.3c entnommen werden kann, wird durch die Apodisation nahe dem Bildzentrum das gewünschte weiche Auslaufen zu den Rändern der dPSF hin erreicht. Mit zunehmender Entfernung von der optischen Achse, treten die in Kapitel 4 beschriebenen vignettierungsbedingten Probleme auf. Diese äußern sich beim verwendeten Prototypen in einer harten Kante der dPSF zum Bildzentrum hin. Diese wird von der Fassung der letzten Linse des Objektivs verursacht.

Durch Hinzufügen einer Apodisationsschicht auf die Innenseite der letzten Linse kann die vignettierungsbedingte Beeinträchtigung der dPSF vermieden werden (Abb. 5.3d). Erkauft wird dies mit einer deutlicheren Abweichung der dPSF von der Rotationssymmetrie und mit zusätzlicher Vignettierung.



Pentacon 1,8/50 mm a) b) c) d)
Abbildung 5.3: dPSF bei Fokussierung auf ein 0.7 m entferntes Objekt, weiße LED in 2 m Entfernung. a) Pentacon 50 mm F1.8 @ F1.8, b) Pentacon 50 mm F1.8 @ F2.8, c) 50 mm F2.4 [T3.4] V1, d) 50 mm F2.4 [T3.4] V2

5.3 Streulichtempfindlichkeit

Allgemein sind ältere 50 mm Objektive im Vergleich zu heute gefertigten Objektiven relativ streulichtempfindlich. Durch die Apodisationsschicht wird diese Problematik noch deutlich verschärft. Wie Abb. 6.1 entnommen werden kann, verursacht die Apodisationsschicht eine deutliche Abnahme des im Bild wiedergegebenen Kontrastes.

Dieses Problem kann durch Einsatz einer geeigneten Sonnenblende reduziert werden. Das durch die Apodisation hervorgerufene Streulicht zeigt i.d.R. eine homogene Verteilung über das gesamte Bild, und lässt sich daher auch verhältnismäßig einfach mittels Software für Bildbearbeitung/-entwicklung beseitigen.



Abbildung 6.1: Testbild zur Feststellung der Streulichtempfindlichkeit, a) 50 mm F2.4 [T3.4] V1, b) Pentacon 50 mm F1.8 bei Blende 1.8 (Aufnahmen jeweils ohne Sonnenblende)

6 Zusammenfassung & Ausblick

Die bisher am Markt befindlichen bokehoptimierten Objektive adressieren einen ausgesprochenen Nischenmarkt mit einem eigens dafür geschaffenen optischen System. Die geringen Stückzahlen mögen ihren Anteil zu den hohen Preisen der Produkte von Nikon und Sony / Minolta beitragen.

Der große Charme der hier vorgestellten Lösung besteht in der Nutzung gängiger, oft noch in Produktion befindlicher Objektive als Basis. Der Mehrwert wird einzig durch zwei oder drei zusätzliche Apodisationsschichten generiert, dies sollte die Herstellungskosten dramatisch senken.

Der konkrete gewählte Weg der Erzeugung der Apodisationsschicht durch Rußabscheidung einer Kerze ist allenfalls für den handwerklich begabten Hobby-Fotografen interessant. Für ein ausgereiftes Produkt ist eine schwächer streuende und mechanisch robustere Beschichtung erforderlich. Ein prüfenswerter Ansatz ist das Aufsprühen von Schultafellack. Das Problem einer Festlegung der Aperturblende durch die Beschichtung besteht weiterhin, Eingriffe durch eine zweite mechanische Irisblende schlagen sich negativ in der dPSF nieder.

Neben der Foto- könnte in erster Linie in der Filmbranche Interesse an bokeh-optimierten Teleobjektiven bestehen. Aufgrund der weniger spontanen Aufnahmebedingungen könnte für darauf zugeschnittene Produkte die aperturnahe Apodisationsbeschichtung auf einem auswechselbaren Träger angebracht werden. Über einen Satz von unterschiedlich beschichteten Trägern in einem Revolver kann die Aperturblende unter Erhaltung der positiven dPSF-Eigenschaften verstellt werden.