

Entwicklung eines Messverfahrens zur Bestimmung von Falschlicht an digitalen Kameras

Diplomarbeit

Fakultät für Information-, Medien- und Elektrotechnik

der Fachhochschule Köln

Institut für Medien und Phototechnik

Autor

Andreas Binder

aus Auenwald

Mat.-Nr. 11016563

Referent: Prof. Dr.-Ing. Gregor Fischer

Koreferent: Dipl.-Ing. Dietmar Wüller, Image Engineering ,

Frechen-Königsdorf

Köln, im September 2006

**Developement of a measurement method
for the definition of veiling glare
in digital cameras**

Diploma Thesis

Faculty of Information, Media and Electrical Engineering

University of Applied Sciences Cologne

Institute of Media and Phototechnology

Author

Andreas Binder

Auenwald

Mat.-Nummber. 11016563

First Reviewer: Prof. Dr.-Ing. Gregor Fischer

Second Reviewer: Dipl.-Ing. Dietmar Wüller, Image Engineering,

Frechen-Königsdorf

Cologne, September 2006

Kurzbeschreibung

Titel: Entwicklung eines Messverfahrens
zur Bestimmung von Falschlicht an digitaler Kameras

Autor: Andreas Binder

Referenten: Prof. Dr.-Ing. Gregor Fischer / Dipl.-Ing. Dietmar Wüller

Zusammenfassung:
Diese Arbeit stellt zwei Messverfahren vor, die durch Falschlicht verursachte Kontrastminderung in Digitalbildern ermitteln und messen soll. Dabei werden die Kontrastwerte von Testaufnahmen eines speziell entwickelten Testcharts für Falschlichtmessung in Bezug auf den absoluten Schwarzwert einer digitalen Kamera ausgewertet.

Stichwörter: Digitalkameras, Falschlichtmessung, Falschlicht, Testchart

Sperrvermerk: Die vorliegende Arbeit unterliegt keinem Sperrvermerk

Datum: 13.09.2006

Abstract

Title: Developement of a Measurement Method
for the defintion of veiling glare in digital cameras

Author: Andreas Binder

Reviewer: Prof. Dr.-Ing. Gregor Fischer / Dipl.-Ing. Dietmar Wüller

Summary: This Thesis introduces two measurement methods, that measure and evaluate the reducing of contrast caused by veiling glare
Therefore the contrast values, obtained by a especially developped test chart for veiling glare, are beeing evalutated in respect of the absolute blackvalue of a digital camera.

Keywords: digital cameras, measurement of veiling clare, veiling glare; testchart
Kontrastverlust

Lock flag: This Thesis is not closed

Date: 13.09.2006

Die Photographie ist eine wunderbare Entdeckung, eine Wissenschaft, welche die größten Geister angezogen, eine Kunst, welche die klügsten Denker angeregt – und doch von jedem Dummkopf betrieben werden kann (Nadar, 1856).

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	6
2 Zielsetzung	7
3 Grundlagen	8
3.1 Begriffsdefinitionen:.....	8
3.2 Allgemein Falschlicht.....	10
3.2.1 Definitionen der verschiedenen Lichtarten.....	10
3.2.1.1 Nutzlicht.....	11
3.2.1.2 Falschlicht.....	12
3.2.1.2.a Reflexlicht.....	13
3.2.1.2.b Streulicht.....	14
3.2.1.2.c Störlicht.....	16
3.2.2 Falschlichtentstehung im optischen System.....	16
3.2.2.1 Optische Funktionselemente.....	21
3.2.2.2 Optische Kitte.....	21
3.2.2.3 Randflächen optischer Linsen.....	22
4 Allgemeineameratechnik	23
4.1 CCD-Sensor.....	23
4.2 CMOS-Sensor.....	23
5 Die Übertragungskette der digitalen Fotografie	24
5.1 Bildaufnahme.....	24
5.1.1 Mosaikfilter, Bildwandler und Analogelektronik	25
5.1.2 Signalverarbeitung	25
5.1.2.1 analog/digital Wandler	25
5.1.2.2 Kamerainterne Bildverarbeitung	26
5.1.3 Bildausgabe	27
6 Dateiformate	28
6.1 JPEG.....	28
6.2 TIFF.....	28

6.3 RAW.....	29
7 Die getestete Kameras	30
8 Versuchsaufbau	31
8.1 Kurzbeschreibung der Verfahren nach DIN 58 186: Qualitätsbewertung optischer Systeme - Bestimmung des Falschlichts.....	31
8.1.1 Das integrale Verfahren	31
8.1.2 Das differentielle Verfahren.....	32
8.2 Die zwei Messverfahren.....	33
8.2.1 Auflichtverfahren.....	34
8.2.1.1 Aufbau.....	34
8.2.1.2 Leuchdichtemessung zur Überprüfung der homogen Ausbeleuchtung.....	37
8.2.1.3 Ergänzender Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle.....	37
8.2.2 Durchlichtverfahren.....	39
8.2.2.1 Aufbau.....	39
8.2.2.2 Leuchdichtemessung zur Überprüfung der homogen Ausbeleuchtung.....	41
8.2.3 Auswahl der Bildhöhen.....	42
8.2.4 Berechnung des Helligkeitswertes aus den drei Farbkanälen.....	42
8.2.5 Hintergrund des Testcharts im Auflichtstand.....	42
8.3 Versuchsmethode.....	43
8.4 Empfindlichkeitsreihe.....	47
8.5 Belichtungsreihe.....	47
8.6 Brennweitenreihe.....	48
8.7 Prüfbedingungen.....	48
9 Versuchsauswertung	49
9.1 Darstellung des Falschlichtanteils nach DIN 4522 Teil7: Aufnahmeobjektive, Kennzeichnung der Abbildungseigenschaften photographischer Objektive	49
9.1.1 Das Auswertungsprogramm.....	49
9.1.1.1 Das Falschlichtmessungsdiagramm.....	52
9.1.1.2 Das Querschnittsdiagramm eines Messobjektes (Lichtfangloch).....	52
10 Ergebnisse	54
10.1 Auflichtverfahren.....	54
10.1.1 Auflichtverfahren mit Empfindlichkeitreihe.....	55

10.2	Durchlichtverfahren.....	56
10.2.1	Durchlichtverfahren mit veränderten Testfeldflächen.....	57
10.3	Vergleich der Ergebnisse vom Auflicht-und Durchlichtverfahren.....	58
10.4	Mögliche Ursachen für die Ergebnisse.....	63
10.4.1	Datei-Formate-Vergleich.....	64
10.4.2	Versuchsreihe zur direkten Lichteinstrahlung mit einer dritten Lichtquelle.....	65
10.4.3	Kamerabewertung.....	69
10.4.4	Visuelle Beurteilung der Testaufnahmen	70
11	Gegenmaßnahmen	71
11.1	Vermeiden von Falschlicht durch Gegenlichtblende.....	71
11.2	Vermeiden von Nebenlicht durch Vergütung.....	72
11.3	Vermeiden von Fassungslicht durch spezielle Oberflächenbeschaffenheit.....	73
11.4	Vermeiden von Streulicht durch Verbesserung der Mikrorauigkeit.....	73
11.5	Verbesserung der Kamera:.....	74
12	Fazit	75
13	Schlusswort	77
14	Glossar	78
15	Literaturverzeichnis	84
16	Anhang	85
16.1	Das Auswertungsprogramm.....	85
16.2	Diagramme und Tabellen.....	95
16.2.1	D2x.....	95
16.2.2	Nikon Coolpix 8400.....	99
16.2.3	Nokia.....	101
16.2.4	Nokia N80.....	102
16.2.5	Nokia 2 megapixel.....	103
16.2.6	Empfindlichkeitsreih.....	104
16.2.7	Ergänzender Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle.....	105
16.2.8	Hintergrund des Testcharts im Auflichtstand.....	106
17	Erklärungen	108

17.1 Eidesstattliche Erklärung.....	108
17.2 Sperrvermerk.....	109
17.3 Weitergabeerklärung.....	109

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung des Falschlichts.....	10
Abbildung 2: Abbildung einer Fläche auf den Sensor.....	11
Abbildung 3: Reflexionstypen.....	13
Abbildung 4: Leuchtdichte- und Lichtstärkeverteilung bei einem Lambertstrahler.....	14
Abbildung 5: Transmissionstypen.....	15
Abbildung 6: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Nebenlicht.....	17
Abbildung 7: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Objektlicht.....	17
Abbildung 8: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Blendenlicht	18
Abbildung 9: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Fassungslicht	18
Abbildung 10: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Reflexlicht.....	19
Abbildung 11: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Empfängerlicht.....	20
Abbildung 12: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Streulicht.....	21
Abbildung 13: Randflächen, Phase und freier Durchmesser einer optischen Linse.....	22
Abbildung 14: Übertragungskette in der digitalen Fotografie.....	24
Abbildung 15: Messaufbau des integralen Verfahrens nach DIN 5886	31
Abbildung 16: Querschnitt durch ein Lichtfang im Maßstab 1:2.....	35
Abbildung 17: Testchart im Auflichtstand.....	36
Abbildung 18: Testchart im Auflichtstand und direkte Lichteinstrahlung mit dritter Lichtquelle.....	38
Abbildung 19: Testchart im Durchlichtstand mit Ulbrichtkugel.....	40
Abbildung 20: Durchlicht-Testchart.....	41
Abbildung 21: Auswertung des Testbild mit dem Auswertungsprogramm.....	45
Abbildung 22: Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle.....	68
Abbildung 23: Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle.....	68
Abbildung 24: Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG): Handykamera Nokia 2 megapixel.....	107
Abbildung 25: Falschlichtmessung (Durchlicht+JPEG): Handykamera Nokia 2 megapixel.....	108
Abbildung 26: Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit normalen Hintergrund.....	112
Abbildung 27: Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit hellen Hintergrund.....	113

1 Einführung

Jedes abbildende System erzeugt einen mehr oder weniger großen Anteil an Streu- oder Falschlicht. Das abbildende System besteht aus Linsen oder Spiegeln, die neben ihrer idealen Funktion (Linsen- Brechung bei Lichtdurchgang; Spiegel- Reflexion) auch nicht ideales Verhalten haben.

Glas-Luftflächen brechen nicht nur, sondern reflektieren auch Licht und Spiegel reflektieren nicht nur gerichtet, sondern auch diffus. Licht kann an Linsenfassungen und Blenden unerwünschte Reflexionen verursachen. Selbst breitbandvergütete Glas-Luftflächen reflektieren noch bis zu 0,4% des Lichtes, welches je nach Weg durch das Objektiv als Streulichthintergrund wirken kann.

Damit wird Licht vom Objekt nicht nur an die Stellen übertragen, die sich aus der geometrischen Optik ergeben, sondern gelangen auch an ganz anderen Stellen.

Weiterhin hat der Sensor selbst ein endliches Reflexionsvermögen (Silizium 30-65%). D.h. das auf den Sensor abgebildete Licht wird durch beträchtlichen Teilen reflektiert und „geistert im Objektiv herum“. All diese Effekte führen zu einem mehr oder weniger starken „Streulichtteppich“.

Dieser Streulichtuntergrund äußert sich in einem Helligkeitspegel, welcher dem Bild (Nutzlicht) überlagert ist. Bemerkbar macht sich dies vor allem in den dunklen Partien des Bildes.

2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein standardisiertes Messverfahren für digitale Kameras zu entwickeln, das die Auswirkung von Falschlicht als messtechnische Größe bezüglich vorgegebener Bildstellen ermittelt. Grundgedanke der Methode ist, die vom Falschlicht verursachten unkontrollierte Aufhellung im Bild als kontrastmindernde Größe zu erfassen und sie dann im Vergleich zum Gesamtkontrast zu beurteilen.

Die Falschlichtmessung soll nur im spektralen Bereich der sichtbaren Strahlung (Licht) im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm eingesetzt werden.

Da der zustande kommende Kontrast eines Bildes nicht nur von der Abbildungsgüte des Objektivs, sondern von mehreren Faktoren (benutzte Farbtiefe, automatische Gradations-Korrektur der Kamera, Dunkelstrom der Sensoren) beeinflusst wird, kann das entwickelte Messverfahren nur im Zusammenhang „digitales System Kamera“ beurteilt werden.

Der Begriff „Kamera“ bedeutet hier die Kombination aus Objektiv, CCD-Chip und kamerainterne Bildverarbeitung.

Die Entwicklung des Versuchsaufbaus orientiert sich gemäß der DIN-Vorschrift DIN 58 186: Qualitätsbewertung optischer Systeme - Bestimmung des Falschlichts.

In Anlehnung der DIN 4522 Teil7 : Aufnahmeobjektive, Kennzeichnung der Abbildungseigenschaften photographischer Objektive richtet sich die Versuchsauswertung.

Unberücksichtigt bleiben in dieser Arbeit die verschiedenen objektseitige Ursachen, die zur Entstehung von Falschlicht führen können. Dazu zählt Staubteilchen, Fingerabdruck oder Kratzer auf der Linsenflächen.

3 Grundlagen

3.1 Begriffsdefinitionen:

Für den weiteren Verlauf der Arbeit müssen folgende Begriffe definiert werden, um Missverständnissen vorzubeugen.

Falschlicht:

Im optischen System entstandenes und unerwünschtes Licht, welches nicht zum regulären Bildaufbau beiträgt.

Die verschiedenen Ursachen werden in Kapitel 3.2 noch genauer erläutert. Generell wird zwischen Reflexionslicht und Streulicht unterschieden.

Globales Falschlicht:

Als globales Falschlicht wird die von Falschlicht verursachte Grundaufhellung, welches sich auf das gesamte Bild einheitlich verteilt, bezeichnet.

Lokales Falschlicht:

Als lokales Falschlicht wird die von Falschlicht verursachte, auf nur bestimmte Bildbereiche eingeschränkte, und zusätzlich zum globalen Falschlicht, vorkommende Aufhellung bezeichnet.

Kontrastumfang

Beschreibt den maximalen Helligkeitsumfang eines Bildes von Schwarz bis Weiß. Der Kontrast ist hierbei das Verhältnis aus der Differenz der maximalen und minimalen Beleuchtungsstärke:

$$K = \frac{E_{max}}{E_{min}}$$

In der Kontrastformel können außer der Beleuchtungsstärke auch noch andere photometrische Größen eingesetzt werden, wie Strahldichte und Leuchtdichte. Im Fall der digitalen Fotografie kann der Kontrastumfang als Verhältnis der Helligkeitswerte im hellsten und dunkelsten Pixel dargestellt werden.

Der Motivkontrastumfang wird in dieser Arbeit durch das Verhältnis der höchsten und nied-

rigsten Leuchtdichte charakterisiert.

$$K = \frac{L_{max}}{L_{min}}$$

Dunkelstrom

Dunkelstrom (engl: dark current) ist ein unerwünschter Effekt von lichtempfindlichen Sensorelementen bei denen Ladungen im unbelichteten Zustand entstehen. Die Ursache hierfür ist, dass Sensoren auch ohne einfallendes Licht Elektronen emittieren. Dies bezeichnet man auch als Rauschen.

Somit dient der als Dunkelstrom ermittelte digital Wert als absoluter Schwarzwert, die eine Kamera erreichen kann. Alle darüber liegend Werte werden als Aufhellungen gewertet.

Auflichtstand

Meßaufbau, bei dem sich die Lichtquelle zur Ausleuchtung vor dem Testchart, also auf der Kameraseite befindet.

Durchlichtstand

Meßaufbau, bei dem sich die Lichtquelle zur Ausleuchtung hinter dem Testchart, also gegenüber der Kamera befindet.

3.2 Allgemein Falschlicht

3.2.1 Definitionen der verschiedenen Lichtarten

In der Bildfläche, die zu einer spezifischen Abbildung gehört, wird im allgemeinen nicht nur Nutzlicht (1), sondern auch Falschlicht (2) und Störlicht (3) registriert.

Diese unterschiedlichen Einflussgrößen werden folgendermaßen unterschieden:

Das nach den Gesetzen der optischen Abbildungen durch das optische System auf der Bildfläche erzeugte Bild wird durch das Nutzlicht (1) aufgebaut. Das Nutzlicht enthält nur Strahlung aus dem anwendungsspezifisch festgelegten Spektralbereich.

Das aus dem Objektraum durch das optische System auf die Bildfläche treffende Licht, das auf konstruktiv nicht beabsichtigte Weise in das Bild gelangt, ist Falschlicht (2).

Auf die Bildfläche auffallendes, aber nicht durch das optische System verlaufendes Licht, ist Störlicht (3). [1]

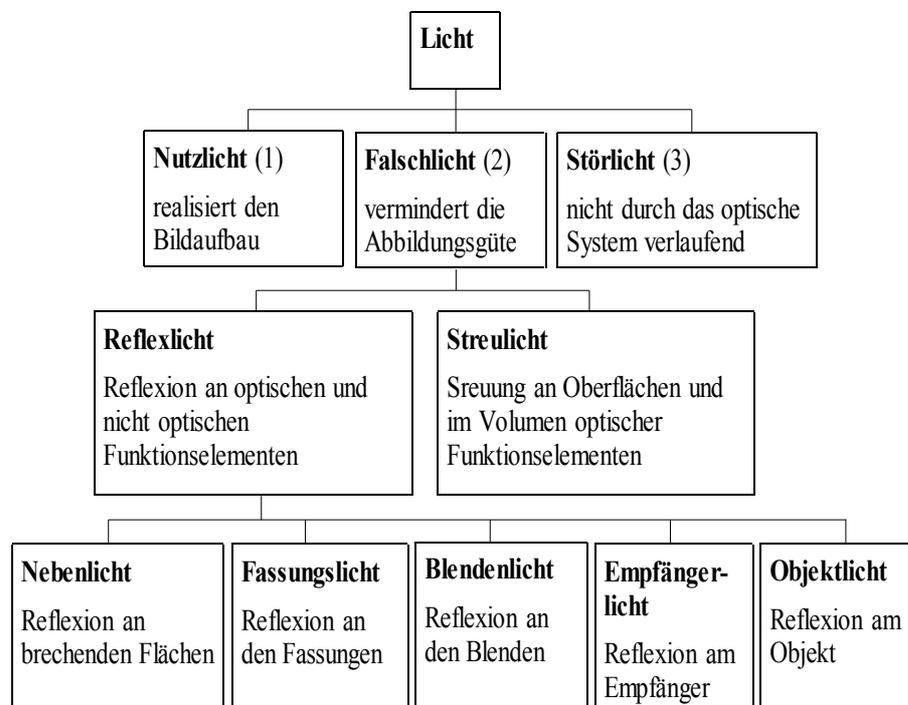


Abbildung 1: Einteilung des Falschlichts

Zur Systematisierung der Falschlichtarten die in optischen Systemen entstehen können, wer-

den im folgenden einige Begriffe definiert und erklärt (siehe dazu Abbildung 1: Einteilung des Falschlichts)

3.2.1.1 Nutzlicht

Da der Zusammenhang Nutzlicht und einwirkende Beleuchtungsstärke eines CCD-Sensor von Interesse ist, soll im folgenden die Belichtung des Sensors hergeleitet werden.

Ausgegangen wird von einer vollkommen matten Fläche A_1 , die mit einer Beleuchtungsstärke E beleuchtet wird. ρ ist der Reflexionsfaktor der Fläche und Ω_0 der Einheitsraumwinkel, dann wirkt A_1 als „sekundärer Strahler“ mit einer Leuchtdichte von

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \cdot \frac{1}{\Omega_0} \quad (1)$$

Es interessiert die auf den Sensor einwirkende Beleuchtungsstärke E_s . Dazu betrachten wir die Abbildung der Fläche A_1 über die Kameraoptik auf die Fläche A_2 auf den Sensor, gemäß Abbildung :

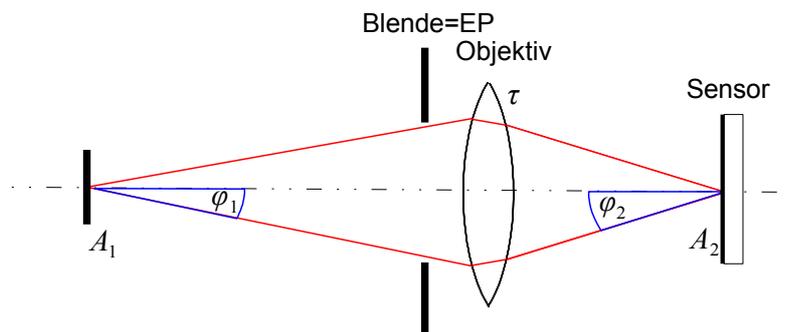


Abbildung 2: Abbildung einer Fläche auf den Sensor

Sei τ der Transmissionsgrad der Optik und φ_1 der objektseitige Aperturwinkel, so wirkt durch die Abbildung auf den Sensor der Lichtstrom Φ_s , bzw. die Beleuchtungsstärke E_s ein.

$$\Phi_s = \pi L A_1 \tau \sin^2 \varphi_1 \Omega_0 \quad (2)$$

$$E_s = \frac{\Phi_s}{A_2} = \pi L \tau \frac{A_1}{A_2} \sin^2 \varphi_1 \Omega_0 \quad (3)$$

Mit der Blendenzahl $k = \frac{\text{Brennweite}}{\text{Durchmesser der Eintrittspupille}}$, dem Abbildungsmaßstab $\beta = \frac{\text{Bildweite}}{\text{Gegenstandsweite}}$

und dem bildseitigen Aperturwinkel φ_2 gelten nun die Beziehungen:

$$\frac{A_1}{A_2} \sin^2 \varphi_1 = \sin^2 \varphi_2 \quad (4)$$

und

$$\sin \varphi_2 = \frac{1}{2k(\beta + 1)} \quad (5)$$

Setzt man (4) und (5) in die Gleichung (3) ein, so ergibt sich die Beleuchtungsstärke E_s auf dem Sensor

$$E_s = \frac{\pi L \tau}{4k^2(\beta + 1)^2} \Omega_0 \quad (6)$$

Und mit der Näherung für weit entfernte Objekte $\beta \rightarrow 0$:

$$E_s \approx E_{s\infty} = \frac{\pi L \tau}{4k^2} \Omega_0 \quad (7)$$

Der Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke auf der Szene und der auf dem Sensor ergibt sich schließlich durch Einsetzen von Gleichung (1) in (7):

$$E_{s\infty} = \frac{\rho \tau}{4k^2} E \quad (8)$$

Nach der Gleichung verringert sich also die Beleuchtungsstärke des Sensors auf die Hälfte durch Erhöhen der Blendenzahl um eine Stufe (Faktor $\sqrt{2}$). Die Werte von ρ und τ richten sich nach den Strahlungsanteilen, die durch verschiedenen „Medien“ durch Reflexion, Absorption und Streuung spektral unterschiedlich geschwächt werden, .

Für die Belichtung des Sensors gilt schließlich:

$$H_{s\infty} = E_{s\infty} \cdot t \quad (9)$$

[2 S.30]

3.2.1.2 Falschlicht

In die Bildebene eines optischen Systems gelangt außer dem gewünschten zum regulären Bildaufbau beitragenden Nutzlicht auch noch zusätzliche Strahlung. Dieses so genannte Falschlicht überlagert das eigentliche Bild als kontrastmindernden Schleier.

Das Falschlicht durchläuft das Abbildungssystem im Gegensatz zum oben aufgeführten Störlicht, das nicht durch das optische System gelenkt wird. Somit wird als Falschlicht das gesamte aus dem Objektraum durch das optische System entstehende Licht (d.h. die gesamte durch die Eintrittspupille des Systems eintretende Strahlung) bezeichnet, das auf konstruktiv nicht beabsichtigtem Weg zum Bildaufbau beiträgt und den Bildkontrast verschlechtert.

Aus Abbildung 1: Einteilung des Falschlichts ist ersichtlich, dass Falschlicht in zwei verschie-

denen Kategorien eingeteilt werden kann, nämlich dem Reflexlicht und dem Streulicht.

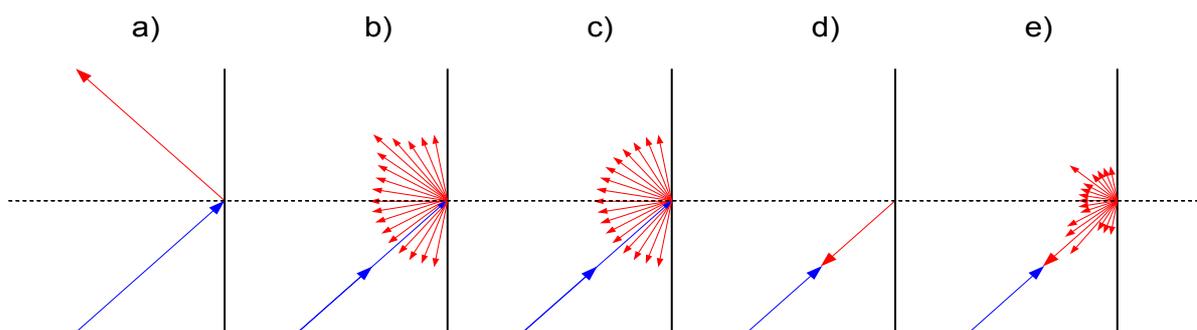
3.2.1.2.a Reflexlicht

Als Reflexlicht charakterisiert man sämtliches Licht, das an Oberflächen von optischen und nicht optischen Funktionselementen reflektiert wird. Hierbei unterscheidet man die gerichtete Reflexion, bei der das Reflexionsgesetz (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) und die daraus abgeleiteten Fresnelschen Reflexionsformeln gelten, von der ungerichteten Reflexion (auch diffuse Reflexion), bei der das Licht gestreut wird.

Bei der gerichteten Reflexion trifft ein schmaler und scharf begrenzter Eintrittsstrahl auf ein Oberfläche und wird als ebenso schmaler und scharf begrenzter Austrittsstrahl reflektiert. Daher wird auch der Ausdruck spiegelnde Reflexion verwendet. Die getroffene Fläche ist so beschaffen, dass die Oberflächenhervorhebungen und -vertiefungen (auch als Rauigkeit von Oberflächen bezeichnet) im Vergleich zur Wellenlänge des einfallenden Lichtes klein sind. Das heißt, die gestreuten Elementarwellen interferieren in einer Richtung (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) konstruktiv. Somit muss die Flächen klein genug sein, dass sie als glatt betrachtet werden kann. Das Snelliussche Brechungsgesetz gilt nur in diesem Falle.

Dem gegenüber tritt diffuse Reflexion dann auf, wenn die Fläche relativ uneben ist. Dies zwei Reflexionsarten sind Extreme, dazwischen können eine ganze Reihe von Verhaltensweisen liegen.[3]

In Abbildung 3:Reflexionstypen sind diese verschiedenen Reflexionstypen dargestellt.



Naumann, H/Schröder G: "Baulemente der Optik", 6. Auflage, S.77

Abbildung 3: Reflexionstypen

a) ideal gerichtete Reflexion (guter Spiegel) b) Mischung aus diffuser und gerichteter Reflexion (Mattfläche mit Glanzanteil) c) ideal diffuse Reflexion (Lambert-Strahler) d) ideale Reproreflexion e) Retroreflexion mit Anteilen diffuser und gerichteter Reflexion (Rückstrahler)

3.2.1.2.b Streulicht

Dringt optische Strahlung durch ein Medium (z.B. Luftschicht oder Linsen aus Glas), so zerlegt sich die Strahlungsleistung in verschiedenen Anteile:

in den transmittierenden, in den reflektierenden und/oder absorbierenden Anteil.

Wird Licht transmittiert oder reflektiert entsteht dabei gerichtete und/oder gestreute Strahlung. Verteilt sich das Licht in einen größeren Raumwinkelbereich, tritt Lichtstreuung auf. Dabei wirkt das Medium auf die Strahlung ein und zwar je nach spektraler Zusammensetzung, Polarisationszustand und räumlicher Verteilung des Lichtes. Somit kann als Streulicht alles Licht bezeichnet werden, das an der Oberflächen und im Volumen optischer Funktionselemente diffus gestreut wird. Ideal diffus streuende Oberflächen sind unabhängig vom Einfallswinkel und verhalten sich wie ein Lambert-Strahler, der alles einfallende Licht statistisch verteilt in den Raum streut. Seine Leuchtdichte L ist in alle Richtungen gleich groß. Die Lichtstärke des Lambert-Strahlers ist dem Kosinus des Ausstrahlwinkels ε proportional.

In Abbildung 4: Leuchtdichte- und Lichtstärkeverteilung bei einem Lambertstrahler ist die Abstrahlcharakteristik eines Lambert-Strahlers dargestellt. Daraus ist die Lichtstärkverteilung als an den Lambert-Strahler tangierender Kreis ersichtlich.[4 S.30]

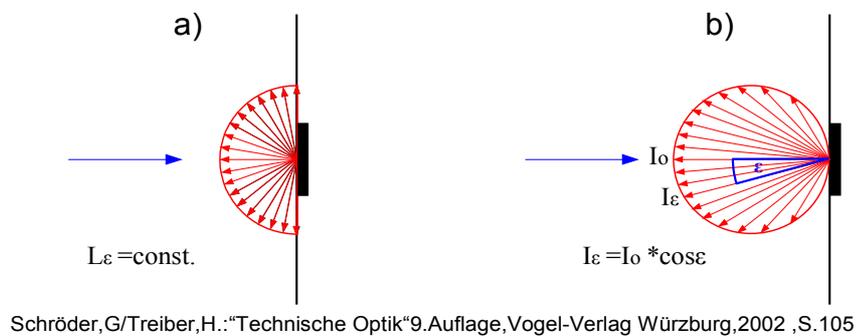


Abbildung 4: Leuchtdichte- und Lichtstärkeverteilung bei einem Lambertstrahler

(entspricht einer ideal diffus leuchtenden Fläche z.B. ideal mattweiße Wand)

a) die Leuchtdichte ist in allen Richtungen konstant

b) während die Lichtstärke I mit zunehmendem Winkel ε gegenüber der Flächennormalen entsprechend abnimmt

Der physikalische Prozess, der als Lichtstreuung an den Teilchen bezeichnet wird, läuft wie folgt ab:

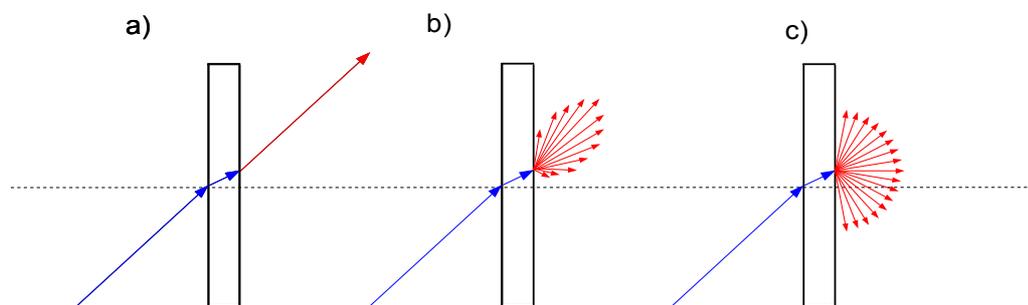
In einem optisch homogenen Medium (Brechungsindex und Absorption konstant) breitet sich Licht geradlinig aus (streng genommen gilt dies nur für das Vakuum). Werden die Schwingungseigenschaften eines Strahlers durch ein Hindernis wie z.B. ein Atom oder ein Molekül verändert, wird der Lichtstrahl aufgrund seiner Wellennatur von seiner Bahn abgelenkt (beziehungsweise gebeugt). Der Ablenkungswinkel ist vom Verhältnis aus Wellenlänge und Ausdehnung des Hindernisses abhängig.

Neben dem Prozess der Beugung, bedingt durch die Wellennatur des Lichtes, findet auch die induzierte Anregung der Strahlung statt. Die in dem Medium befindliche Atome werden durch eingestrahktes Licht angeregt. Dabei absorbieren Atome einzelne Photonen und gehen dadurch in einen angeregteren Zustand über. Die zusätzliche entstandene Energie wird dann in Form von Wärme abgegeben oder direkt abgestrahlt. Je nach Art der Beschaffenheit des Partikels wird das Licht gemäß den Gesetzen der Lichtbrechung, der Reflexion oder der Dipolstrahlung in verschiedenen Richtungen emittiert. Die Reflexion von Licht an einem dielektrischen Spiegel ist ein Spezialfall hiervon.

Energetisch betrachtet ist die Lichtstreuung die Energieentnahme von einer einfallenden Welle und die nachfolgende Wiederausstrahlung eines Teils der Energie. Somit ist der Prozess der Streuung der eigentliche entscheidende, physikalische Mechanismus für die Reflexion, Brechung und Beugung.

Die Streuung an den Molekülen ist ein ständig stattfindender physikalischer Prozess, der extrem klein ist und nicht vernachlässigt werden soll. Aus diesem Phänomen resultiert die Oberflächen- und Volumenstreuung von Materialien.

In der nachfolgender Abbildung sind zum Vergleich gerichtete, gestreute und vollkommen gestreute Transmission dargestellt. Hier ist der Unterschied zwischen gerichteter und ungerichteter Strahlableitung sichtbar. [5]



Henschel, H.-J.: "Licht und Beleuchtung/Theorie und Praxis der Lichttechnik", 3. Auflage, S.49

Abbildung 5: Transmissionstypen

a)gerichtete Transmission b)gestreute Transmission c)vollkommen gestreute Transmission

3.2.1.2.c Störlicht

Als Störlicht bezeichnet man sämtliches auf die Bildfläche auffallendes, aber nicht durch das optische System verlaufendes Licht.

Dazu zählt zum Beispiel einfallendes Licht durch den Sucher.

Bei SLR-Kameras sitzt vor dem Sensor ein Spiegel, der das Licht vom Objektiv nach oben in den Sucher ablenkt. Zunächst bildet also das Objektiv das Motiv über den Spiegel und einem Pentaprisma, welches das über den Spiegel seitenverkehrte Bild dreht, in den Sucher ab. Erst beim Auslösen klappt der Spiegel hoch, gibt den Strahlengang frei, und das Licht fällt vom Motiv durchs Objektiv auf den CCD- oder CMOS-Sensor. So wie Licht durch den Strahlengang zum Sucher gelangt, kann in umgekehrter Richtung Licht während der Belichtung vom Sucher in den Sensor gelangen.

Problematisch ist dies vor allem bei direkt einfallendem Licht auf den Kamerasucher und bei Langzeitbelichtungen.

Die in Kapitel 8.2 beschriebenen Versuchsverfahren schließen jedoch Störlicht durch den Sucher aus, da bei den Tests nur aus Objekttrichtung Licht durchs Objektiv gelangen kann. Die Testaufnahmen werden in einem abgedunkelten Raum gemacht, so das Störlicht durch den Sucher erst gar nicht auftreten kann.

3.2.2 Falschlichtentstehung im optischen System

Die auch für die späteren Messungen ausschlaggebenden Falschlichtarten sind die Reflexion an brechenden Flächen, Blendenreflexionen, Empfängerlicht, Streulicht und das Fassungslicht.

In Abbildung 6-9 ist ein unerwünscht einfallender Strahlverlauf innerhalb eines optischen Systems dargestellt.

Hier sind die verschiedenen Falschlichtarten wie Nebenlicht, Objektlicht, Blendenlicht, Fassungslicht, Reflexlicht und Streulicht und deren Entstehungsweise zu sehen. Je nach ihrer Größe, ihrer Richtung und ihrer Intensität gelangen Strahlen zum Bildpunkt und erreichen je nach Falschlichtart andere Positionen in der Bildebene.

a) Nebenlicht

Der Einfluss von Nebenlicht spielt nur bei kurzen Aufnahmeentfernungen, z.B. bei Makroaufnahmen eine Rolle. Vom Objekt kommende gerichtetes Licht wird an der Kameralinse reflektiert und trägt zur Aufhellung des Motivs bei.

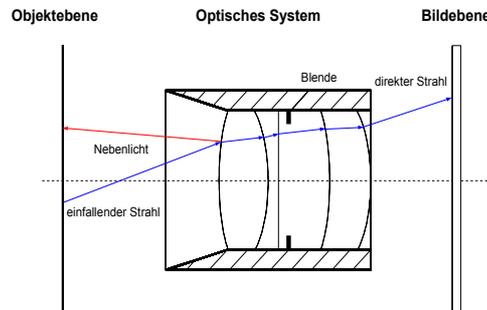


Abbildung 6: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Nebenlicht

b) Objektlicht

Das durch Nebenlicht an einem stark reflektierenden Objekt zurückgestrahlte Objektlicht, ist ebenfalls eine Erscheinung bei nur kurzen Aufnahmeentfernungen.

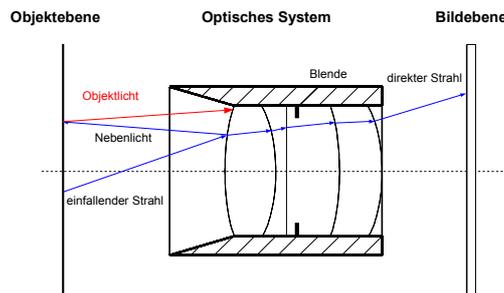


Abbildung 7: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Objektlicht

c) Blendenlicht

Das Blendenlicht entsteht durch Reflexe an den Blendenlamellen und ändert sich in Abhängigkeit der Blendenöffnung, Blendenstärke und Oberflächenbeschaffenheit. Treffen Lichtstrahlen auf den Innenrand der Blenden, werden diese dort reflektiert und ändern ihre ursprünglichen Richtung. Diese können in den folgenden Linsenglieder zu Streulicht führen, das dann auf den Sensor fällt.

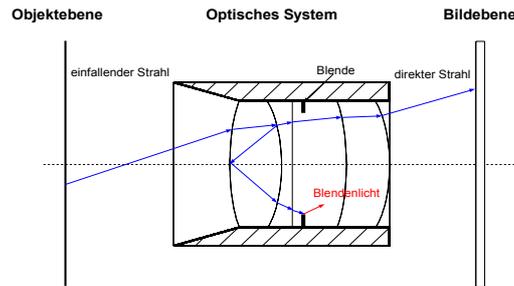


Abbildung 8:Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Blendenlicht

d) Fassungslicht

Bei Gegenlichtbedingungen, können Randstrahlen die Linsenfassungen treffen und konkret oder nicht definierbare Reflexe erzeugen. Die Einfallswinkel, unter denen die Randstrahlen auf die Fassungssteile treffen, sind in diesem Fall sehr groß. Wegen diesen „streifenden Licht-

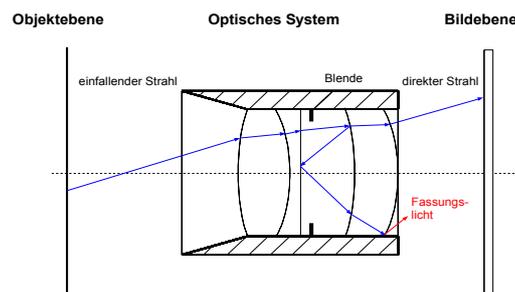


Abbildung 9:Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Fassungslicht

einfallt“ nimmt der Reflexionsgrad stark zu. Trotz matter Schwärzung der betroffenen Flächen können diese auch erstaunlich viel Licht reflektieren, während bei senkrechtem Einfall der Anteil der gerichteten Reflexion gering ist und die Fläche stark absorbieren.

e) Reflexlicht

Die Hauptursache von Falschlicht innerhalb eines Objektivs, das in der Bildebene unerwünscht ist, liegt im Reflexionsverhalten der Linsenflächen. Die Ursache des Reflexionsverhalten von optischen Funktionsflächen ist im Sprung des Brechungsindex von Luft und Glas an der Funktionsfläche zu suchen. Der Grad der Reflexion hängt dabei von der Brechzahl der angrenzenden Fläche, vom Einfallswinkel und von der Polarisierung ab. Verallgemeinernd kann man einen mittleren Reflexionsgrad von 4% pro Fläche bei Glas/Luft-Übergänge ange-

ben, der sich aus den Fresnelschen Reflexionsformeln ergibt. Bei guten vergüteten Flächen fällt der Reflexionsgrad um den Faktor 10, also mit 0,4% wesentlich geringer aus.

Sobald Licht auf eine Grenzfläche auftritt, kann jeweils nicht der gesamte Anteil in das Medium übertragen werden, denn ein geringer Teil des auffallenden Lichtes wird gesetzmäßig reflektiert. Der Lichtverlust ist abhängig vom Einfallswinkel, von der Differenz der Brechungsindexes beider Medien (dem Brechungsverhältnis) und natürlich auch von der Länge des Lichtweges in einem bestimmten Medium.

Weil diese Art nur einen bestimmten Anteil des Lichtes betrifft, spricht man von Teilreflexion. Bei einem senkrechten Lichteinfall lässt sich die Teilreflexion nach der Fresnelschen Reflexionsformel berechnen:

$$R = \left(\frac{(n_A - n_B)}{(n_A + n_B)} \right)^2$$

n_A ist dabei der mittlere Brechungsindex des ersten brechenden Mediums, n_B derjenige des zweiten brechenden Mediums.

Die Transparenz T eines Systems mit mehreren Luft-Glas-Übergänge berechnen sich nach folgender Formel:

$$T = (1 - R)^a \quad \text{mit } a = \text{Anzahl der } n_A/n_B\text{-Übergänge}$$

Am Beispiel eines breitbandentspiegelten Objektivs mit 8 Linsen ($a = 16$) und einem Reflexionsgrad von $R = 0,004$ entsteht dann schon nach Durchgang der 16 Luft-Glas-Übergänge ein Transmissionsverlust von 6,2%.

Störend wirkt sich nicht nur die Verringerung des Transmissionsgrades aus, sondern auch das durch Mehrfachreflexionen auftreffende Falschlicht innerhalb eines Linsensystems, welches den Kontrast in der Bildebene mindert.

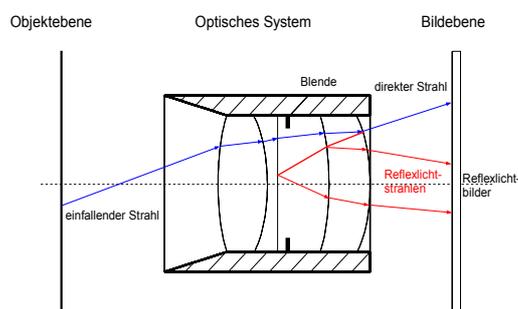


Abbildung 10: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Reflexlicht

f) Empfängerlicht

Um die Lichtausbeute vom Sensoren zu verbessern, werden Mikrolinsen über dem Pixel angebracht um den Füllfaktor auf optischen Weg zu vergrößern, damit so wenig Intensität auf die lichtempfindliche Fläche des Sensors verloren geht.

Die dazu verwendeten Linsen sind qualitativ sehr hochwertig und besitzen eine Quarzoberfläche. Der Durchmesser hängt vom Durchmesser der Pixelgröße ab. Dieses Prinzip findet in der CCD- und der CMOS-Technik Anwendung. Für die Falschlichtproblematik heißt das, dass ein Teil des reflektierenden Lichts auf den Mikrolinsen, auch diese besitzen eine Reflektivität, und der letzten Linsenfläche zurück auf den Sensor fällt.

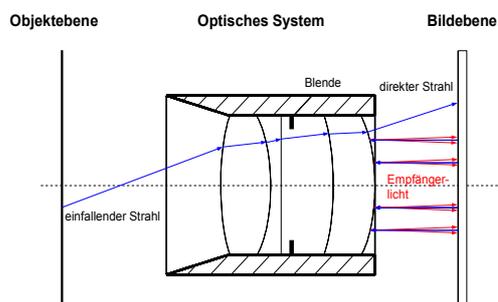


Abbildung 11: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Empfängerlicht

g) Streulicht

Das Streulichtverhalten von Linsenoberflächen ist auf die Mikrogestalt (oder Mikrorauigkeit) zurückzuführen. Das durch die an Oberflächen ungewollt entstandene Licht wird diffus in den Raum gestreut, gelangt auf nicht gewolltem Wege in die Bildebene und reduziert mit einem kontrastmindernden Schleier den Bildkontrast des optischen Systems. Der gestreute Lichtanteil trägt nicht zur Bildentstehung bei und vermindert so den Kontrast des Bildes.

Jedoch ist dieser Effekt vernachlässigbar gering.

Die verschiedenen Anwendungsbereiche der Objektive sind ebenso ein Grund für die unterschiedlich großen Anteile des Streulichtes in der Bildebene des optischen System.

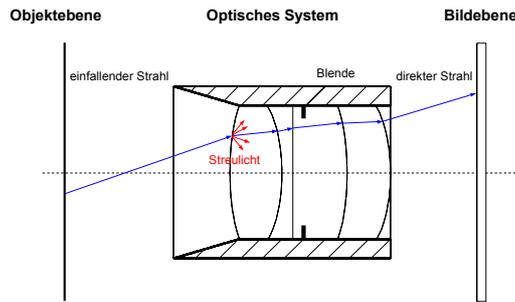


Abbildung 12: Falschlichtentstehung in einem optischen System durch Streulicht

3.2.2.1 Optische Funktionselemente

Betrachtet man ein optisches System, sind je nach Vergrößerung und numerischer Apertur eine unterschiedliche Anzahl an Funktionsflächen nötig, um eine hinreichende gute Abbildung zu erreichen, d.h. einen optimalen Bildkontrast bei maximalen Auflösungsvermögen. Dabei wird versucht, die Abbildungsfehler wie sphärische Aberration, Bildfeldwölbung, Astigmatismus, Koma, und Farbfehler so gering wie möglich zu halten. Durch die ansteigenden Anforderungen in Bezug auf hochwertigen Abbildungsqualität erweist sich die Reduzierung der Abbildungsfehler der Fotoobjektive, sowie die des Falschlichtes, als entscheidend. Der Einfluss der tatsächlichen Oberflächeneigenschaften der optischen Funktionsflächen nimmt daher relativ zu dem Einfluss der Abbildungsfehler. Dieser ist so gering wie möglich zu halten.[6 S.58]

3.2.2.2 Optische Kitten

Bei der Verbindung von Einzellinsen zu Kittgliedern werden optische Kitten eingesetzt, wobei an der Grenzfläche zwischen Kitt und Glas Reflexe auftreten können. Die Brechzahl optischer Kitten liegt in der Regel dicht bei denen der Gläser. Der Brechzahlssprung an der Grenzfläche zwischen den einzelnen Schichten ist aus diesen Gründen auch wesentlich geringer als der Brechzahlunterschied zwischen Glasflächen und Luft. Solange der Kitt Fehlstellen, Unebenheiten oder Formungsungenauigkeiten ausgleichen kann, ist eine mögliche Reflexion an den Kittflächen sehr gering. Nur bei Gläsern sehr hoher Brechzahl oder bei unzureichender Verbindungseigenschaft können die optische Kitten spürbare Reflexe verursachen.[2FS.81]

3.2.2.3 Randflächen optischer Linsen

Ein weiteres Problem in der Herstellung der Objektive liegt in der Randbearbeitung der einzelnen Linsen. Da das Schleifen und Polieren der Randflächen (siehe Abbildung) ein sehr aufwendiger und zeitintensiver Prozess ist, wird auch aus wirtschaftlichen Gründen darauf verzichtet. Dies ist solange kein Problem, wie der abbildende Strahlengang innerhalb des so genannten freien Durchmessers verläuft (das heißt, der Strahlengang wird so berechnet, dass noch ein gewisser Abstand vom Randstrahl zum Außenradius besteht). Trifft aber ein Lichtstrahl diese feinst geschliffenen Flächen, können starke Reflexe auftreten, die in der Bildebene wiederum zu einer Aufhellung führen kann.[7]

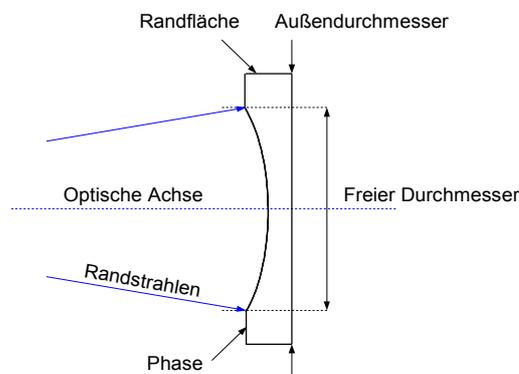


Abbildung 13: Randflächen, Phase und freier Durchmesser einer optischen Linse

4 Allgemeine Kameratechnik

4.1 CCD-Sensor

Ein CCD-Sensor (Charge Coupled Device) besteht aus einer Matrix lichtempfindlicher Zellen (Pixel). Die Zellen können entsprechend zur Helligkeit des auffallenden Lichtes, Elektronen erzeugen. Dies geschieht durch Interaktion des auffallenden Lichtes mit den Siliziumatomen, auch innerer Photoeffekt genannt. Die erzeugten Elektronen werden in einem Potentialkopf gesammelt. Jedes so gesammelte Ladungspaket wird mit Hilfe von Schieberegistern über den Chip zum Ausgang transportiert und verstärkt.[8]

4.2 CMOS-Sensor

Genau wie die CCD-Sensoren einer Digitalkamera wandeln sie die eintreffenden Lichtpartikel (Photonen) in elektrische Spannung um. Der Unterschied zu CCD ist die Art der Weiterleitung dieser Information.

Die bekanntesten CMOS-(Complementary Metal Oxide Semiconductor) Architekturen basieren auf „aktiven Pixel Sensoren“ (APS), bei denen sowohl die Photodiode als auch die Ausleseelektronik für jedes Pixel kombiniert vorkommen.[8]

Dies erlaubt, das Ladungspaket, das auf der Photodiode gesammelt wird, noch im Pixel zu verstärken, auszuwerten und in eine Spannung umzuwandeln, um sie dann in fortlaufenden Spalten und Zeilen zum Analogsignalprozessor des Chips weiter zu leiten. Somit enthält jedes Pixel zusätzlich zur Photodiode noch weitere Transistoren. Da die Verstärkung und A/D-Wandlung auf dem Sensor integriert ist, kann jedes Pixel einzeln adressiert und ausgelesen werden.

5 Die Übertragungskette der digitalen Fotografie

Die Bildqualität wird von einer ganzen Reihe von Gliedern (Komponenten) des Aufnahmesystems (also Komponenten der digitalen Kamera) beeinflusst. Man spricht von der Übertragungskette mit den einzelnen Gliedern (Komponenten) die man folgendermaßen einteilen kann:

1. **Bilddaufnahme**

Objekt, Objektiv, Mosaikfilter, Bildwandler und Analogelektronik

2. **Signalverarbeitung**

analog/digital Wandler und digitale Bildverarbeitung

3. **Bilddaufnahme**

Bildspeicher/LCD

[9]

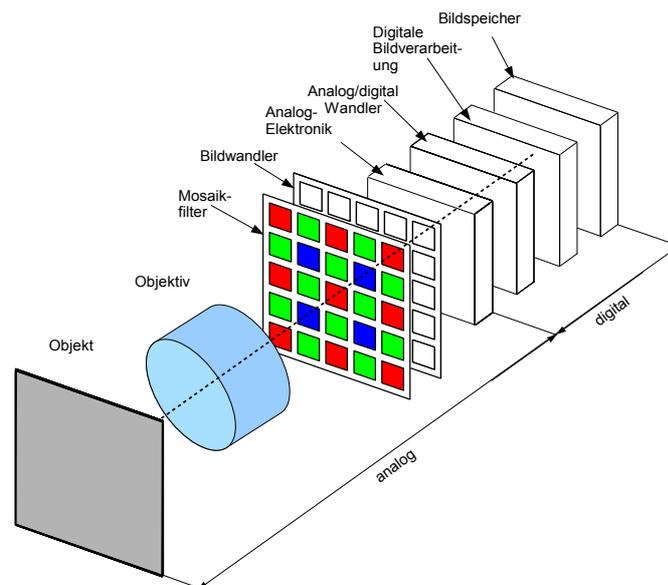


Abbildung 14: Übertragungskette in der digitalen Fotografie

5.1 Bilddaufnahme

Jedes Glied dieser Kette beeinflusst die Bildqualität in positiver oder negativer Weise.

Dies gilt insbesondere für das Objektiv, da es am Anfang dieser Kette steht. Was hier verloren geht kann nur schwer wiedergewonnen werden. Das Objektiv überträgt die visuelle Eigenschaften des abzubildenden Objektes in der Ebene des Bildsensors. Die verschiedenen Einfluss-

größen, welche die Bildqualität der Optik beeinflussen, sind unter den folgenden Gesichtspunkte charakterisiert:

- Bildschärfe und Kontrast
- Verzeichnung
- Vignettierung
- Transmission des Objektivs
- geringes Streulicht (Falschlicht)
- Chromatische Aberration

[9]

5.1.1 Mosaikfilter, Bildwandler und Analogelektronik

Der Bildsensor einer Digitalkamera nimmt nur Helligkeitsabstufungen wahr, aber keine Farben. Dafür sind Farbfilter zuständig, die vor jeder seiner lichtempfindlichen Dioden angebracht sind. Dabei werden unterschiedliche Verfahren angewandt. Häufig sind die Filter jedoch im so genannten Bayer-Muster (englisch „Bayer-Pattern“) angeordnet.

Das Bayer-Pattern besteht aus einem Quadrat, dessen obere Reihe abwechselnd aus grünen und roten Filtern besteht und die untere Reihe aus blauen und grünen Filtern. Aus diesen drei Grundfarben sind sämtliche Schattierungen eines Motivs gemischt. Die doppelte Anzahl von grünen Filtern ist der erhöhten Empfindlichkeit des Auges für dieses Spektrum angepasst.

Die Farbnuance eines Bildpunktes wird berechnet, indem die Farbinformation seiner Nachbarpixel herangezogen werden. Diesen Prozess nennt man Farbinterpolation. [9]

5.1.2 Signalverarbeitung

5.1.2.1 analog/digital Wandler

Nachdem das Motiv durch das Objektiv auf den Sensor abgebildet wurde, werden die erzeugte Ladungen ausgelesen und verstärkt. Nach der Verstärkung , werden die Ladungen mit dem Analog/Digital-Wandler in binärer Werte aus 0 und 1 konvertiert. Dieser kann der Computer dann wieder verarbeiten.

Der A/D-Wandler führt eine Bildwandlung durch, die aus den Schritten Diskretisierung und Quantisierung besteht.

Da jedes Pixel eine etwas andere Empfindlichkeit besitzt („fixed pattern noise“) wird zum Ausgleich ein sog. Calibrationsfile in den Hauptspeicher der Kamera geladen, um durch einzelne Faktoren die unterschiedlichen Empfindlichkeiten der Pixel anzugleichen. Die Aufnahme liegt dann als Digitalbild aus Helligkeitswerten für die Farben RGB vor, die aus der Bayer-Filter-Anordnung gewonnen werden.

5.1.2.2 Kamerainterne Bildverarbeitung

Die internen Bildverarbeitungsprozesse vor der eigentlichen Bildausgabe können mögliche Schwächen von Objektiv und Sensor kompensieren.

Die Daten bleiben im Zwischenspeicher und werden korrigiert.

Zuerst wird eine Tonwertkorrektur vorgenommen. Dabei werden oben und unten Bereich der Tonwerte ein halbes oder mehr Prozent abgezogen, damit die Berechnung nicht auf Spitzlichtern oder winzigen Schwarzpunkten basiert.

Anhand der Farbwerte des hellsten und dunkelsten Punktes (Reinheit) wird der Weißabgleich vorgenommen. Die Tonwerte für Rot, Grün und Blau werden dabei so korrigiert, das Schwarz und Weiß aus gleichen Farbanteilen bestehen.

Welche Schritte dann noch im folgenden ausgeführt werden, lässt sich nur sehr schwer ermitteln. Man kann davon ausgehen, dass Im Prinzip alles angewendet wird, was der Bildverarbeitung zur Verfügung steht: Verstärkung des Kontrastes (Gamma), Änderung der Helligkeit , Anhebung der Sättigung, Filterung wie unscharfes Maskieren, Filterung zur Rauschunterdrückung, Korrekturen zur Vignettierung und Verzeichnungen.[9]

Bei machen Kameras findet auch noch ein Schwarzabgleich statt, um den Dunkelstrom und die Fehlerpixel auszufiltern. Dies beeinflusst die spätere Dunkelstrommessung, kann aber nicht verhindert werden.

Ebenso müssen mögliche Tonwertkorrektur bei den JPEG- und TIFF-Formaten akzeptiert werden.

Erst dann wird das Ergebniss komprimiert und als Datei auf die Speicherkarte geschrieben.

5.1.3 Bildausgabe

Je nachdem, welches Bildformat zur Speicherung an der Kamera eingestellt ist (JPEG, TIFF, RAW), wird das Bild entsprechend kodiert. Zusätzlich werden Daten wie Belichtungszeit, Blende, ISO-Einstellung, Aufnahmedatum, Auflösung etc. in den Datei-Header eingeschrieben. Zum Schluss wird das Bild aus dem internen Kameraspeicher auf eine neue Speicherkarte (SD, CF, etc.) geschrieben und der interne Speicher für weitere Aufnahmen freigegeben.

6 Dateiformate

6.1 JPEG

Das **JPEG** (Joint Photographic Expert Group) gehört zu den am weitesten verbreiteten Formaten. Es erlaubt, das Bild komprimiert, also Platz sparend abzuspeichern, wobei die Stärke der Kompression vom Anwender gesteuert werden kann.

Doch hohe Komprimierung führt zu sichtbaren Qualitätsverlusten des Bildes, während eine mäßige Kompressionsstufe die Qualität nicht nachhaltig negativ beeinflusst.

Die Komprimierungsalgorithmen beruhen auf einer Kosinusfunktion und berücksichtigen die Besonderheiten der menschlichen Farbwahrnehmung. Da das menschliche Auge für langwelliges Licht empfindlicher ist als für kurzwelliges, behalten die JPEG Algorithmen in Farbbereichen, die durch langwelliges Licht erzeugt werden, eine ausreichende Differenzierung bei, vereinfachen die Bildstrukturen jedoch in Farbbereichen, die durch kurzwelliges Licht erzeugt werden. Aufgrund der speziellen Komprimierung ist das JPEG-Format mit einem Verlust an Farbinformationen verbunden, es gibt jedoch auch Programme, die Bilder mit einem verlustfreien JPEG-Algorithmus komprimieren.

JPEG kann nur Daten bis zu einer Farbtiefe von 8 Bit pro Kanal abspeichern.[11]

6.2 TIFF

Das **TIFF** (Tagged Image File Format) ist das wohl älteste Betriebssystem übergreifende Dateiformat. Es zeichnet sich dadurch aus, dass es Daten nicht nur unkomprimiert und somit in sehr hoher Qualität (allerdings mit großem Platzbedarf) abspeichert, sondern auch (ebenso wie das JPEG) zusätzliche Informationen speichern kann.

TIFF ist ein gebräuchliches Dateiformat für Farb- und Graustufenbilder.

Das TIFF wurde ursprünglich speziell für die Anwendung im Druckbereich entwickelt. Das heißt, es ist fähig, Rasterbilder, aber auch Zusatzinformationen zu Farbdaten, Farbumfang und viele weitere druckrelevante Informationen bis zu einer Farbtiefe von 16 Bit pro Kanal abzuspeichern.

Es hat zu einem allgemeinen Bildformat weiter entwickelt, da es sich hervorragend für den Transport und die Speicherung hochqualitativer und sensibler Bilddaten eignet und zugleich die Möglichkeit bietet, Zusatzinformationen zu den einzelnen Bildern zu speichern. Das TIFF

unterstützt verschiedenste Farbmodelle wie z.B. RGB, CMYK.

Das Standard RGB-TIFF wird in Digitalkameras und Bildbearbeitungssoftware auf dem Computer eingesetzt, da diese Geräte selbst auch im RGB-Modus arbeiten. Das Bild wird mit Hilfe der drei Farbkanäle Rot, Grün und Blau beschrieben und dargestellt.[11]

6.3 RAW

Rohdaten sind im wahrsten Sinne des Wortes roh, also unbehandelt. Sie nehmen zwar nur etwa ein Drittel des Platzbedarfs eines TIFF's ein, ermöglichen jedoch, die maximale Qualität aus einer hochwertigen Digitalkamera, z.B. die maximal mögliche Farbtiefe. Rohdaten können mit geeigneter Software verlustfrei editiert, also nachbearbeitet werden.

Rohdaten liegen in keinem einheitlichen Format vor, vielmehr hat jeder Hersteller sein eigenes Format, da es so optimal auf die Eigenschaften der jeweiligen Kamera abgestimmt ist.

Rohdaten sind unbehandelte Daten, die noch keinen Kompressions- oder Bildformatalgorithmus, wie z.B. TIFF, durchlaufen haben und direkt aus dem Sensor der Kamera kommen. Auf diese Weise garantieren Rohdaten die höchstmögliche, unverfälschte Information, d.h. ohne kamerainterne Bildverarbeitung.[11]

Die wesentlichen kameraseitigen Gestaltungsparameter bei der Verwendung von RAW sind Belichtungszeit und Blende sowie ISO.

Alle anderen Parameter wie Weißabgleich, Farbsättigung, Kontrast, Schärfung usw. fallen bei RAW weg, weil diese Einstellungen erst später bei der Konvertierung vorgenommen werden.

Dadurch, dass die RAW-Bilder ohne jede Korrektur oder Anpassung für die Auswertung zur Verfügung stehen, sind diese am besten für die Falschlichtmessung geeignet.

7 Die getestete Kameras

Getestet werden sollen verschiedene Kameratypen.

Von qualitativ hochwertige Spiegelreflexkameras (Nikon D2x), ohne jegliche Einstellungseinschränkung bezüglich manuellen Belichtungseinstellung und -messung, Empfindlichkeit, Weißabgleich und Dateiformate, sowie Kompaktkameras (Nikon Coolpix 8400).

Weiter sollen integrierte Digitalkameras in Handys (Nokia) geprüft werden.

Bei den Dateiformaten (JPEG, TIFF und RAW) wird die jeweils die höchste Qualitätseinstellung der Kamera verwendet.

Weiter wird der automatische Weißabgleich benutzt, sofern dieser einzustellen ist.

Die Scharfeinstellung wurde manuelle getätigt, da eine automatische Fokussierung Schwierigkeiten hat, das Testchart zu erfassen.

Die Tests werden mit der Empfindlichkeit von 100 ASA durchgeführt.

Die Nikon besitzt eine effektive Auflösung von 12.4 Millionen Pixel und einem CMOS-Bildsensor im DX-Format(23.7mm x 15.7mm).

Die Nikon Coolpix 8400 verfügt eine Auflösung von 8 Millionen Pixel und einem CCD-Bildsensor der Größe von 8.8mm x 6.6mm.

8 Versuchsaufbau

8.1 Kurzbeschreibung der Verfahren nach DIN 58 186:

Qualitätsbewertung optischer Systeme - Bestimmung des Falschlichts

Um das Falschlicht zu messen, bzw. nach Größe und Verteilung in der Bildebene zu beurteilen, gibt es zwei verschiedene Verfahren:

das integrale und das differentielle.

8.1.1 Das integrale Verfahren

Beim integralen Verfahren wird ein Messobjekt, bestehend aus einer kleinen schwarzen Fläche und umgeben von einer größeren, gleichmäßig strahlenden weißen Fläche, aus dem Objektraum beleuchtet und das Falschlicht in der Bildebene gemessen.

Der Falschlichtindex (VGI; engl.: "Veiling Glare Index") ist das Maß für das Falschlicht von optischen Systemen. Er ist definiert als das Verhältnis der Bestrahlungsstärke im Bild von einer kleinen, kreisförmigen, perfekt schwarzen Fläche zu einem ausgedehnten Feld einheitlicher Bestrahlungsstärke am gleichen Bildpunkt, wenn die schwarze Fläche entfernt wurde. Der VGI wird in Prozent angegeben falls nicht anders festgelegt.

Es müssen die Größe der schwarzen Fläche und die des umgebenden Feldes sowie der Anteil der zur Messung benutzten schwarzen Fläche angegeben werden. [12]

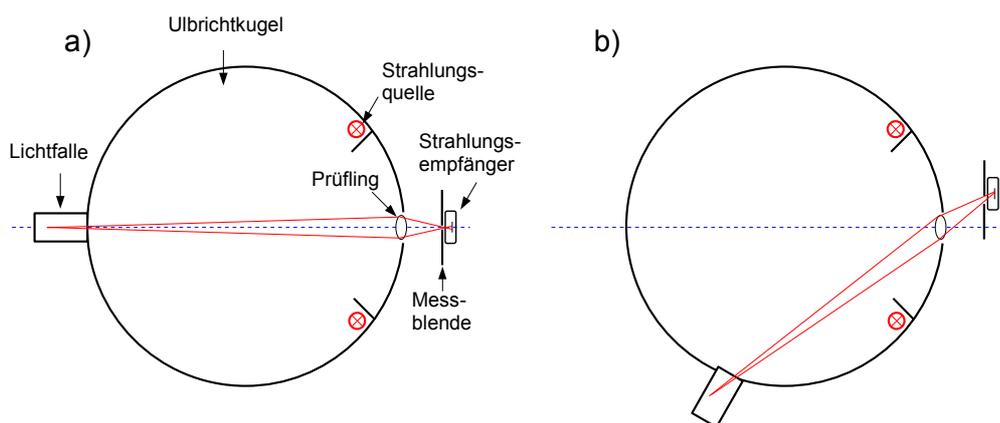


Abbildung 15: Messaufbau des integralen Verfahrens nach DIN 5886

a) Zeigt eine Messung mit Feldwinkel $\omega = 0$. Für jede Messung wird der Lichtfang im Objektraum ein- und ausgeblendet.

b) Zeigt eine Messung mit Feldwinkel $\omega > 0$.

8.1.2 Das differentielle Verfahren

Beim differentiellen Verfahren besteht das Messobjekt aus einer einzigen punktförmigen Strahlungsquelle aus dem Objektraum die unter einem bestimmten Winkel in das zu prüfende optische System einstrahlt.

Das differentielle Verfahren will die Verteilung des Falschlichts in der Bildebene beurteilen und die mögliche Falschlichtursachen feststellen.

Die Falschlichtverteilerfunktion (GSF; engl.:“Glare Spread Function“) gilt als Maß für die Falschlichtcharakterisierung von optischen Systemen zur Beurteilung der Verteilung in der Bildebene. Sie ist definiert als Bestrahlungsverteilung in der Bildebene, die durch eine kleine Objektquelle erzeugt wird, normiert auf den totalen Strahlstrom im axialen Bild der kleinen Objektquelle.

Die GSF wird in reziproken Quadratmetern (m^{-2}) angegeben. Sie hat nur Bedeutung außerhalb des primären Bildes der Lichtquelle.

Dieses differentielle Verfahren hat im wesentlichen die Aufgabe, qualitative Aussagen über die Verteilung und über die Ursache von Falschlicht zu ermöglichen.

Hierzu bringt man in den Objektraum des Prüflings nacheinander an verschiedenen Stellen auch außerhalb des genutzten Bildwinkels eine punktförmige Strahlungsquelle hoher Strahlungsdichte. Sie sollte an jeder Position innerhalb der Objektebene beweglich sein. Diese Lichtquelle muss die ganze Eintrittsöffnung des Prüflings gleichmäßig bestrahlen, so dass eine gleichmäßige Leuchdichteverteilung im Lichtquellenbild vorliegt. In der Bildebene kann dann mit einer entsprechenden Detektoreinheit die Strahlungsverteilung auf photoelektrischen Wege aufgenommen werden. Die Messeinrichtung besteht gewöhnlich aus einer Sensorfläche mit vorgeschalteter Lochblende, sowie Filter zur Anpassung an die spektrale Verteilung der Lichtquelle. Für die variable Positionierung in der Bildebene sollte der Detektor entsprechend über das Bildfeld bewegt werden können. Ist die Empfängeröffnung kleiner als das Lichtquellenbild, so ergibt sich aus dem Produkt der mittleren Bestrahlungsstärke über das Lichtquellenbild und der Fläche des Lichtquellenbildes der totale Strahlungsstrom. Bei konstanter Bestrahlungsstärke der Lichtquelle ist dies leicht praktikabel.

Ist die Empfängeröffnung dagegen größer als das Lichtquellenbild, ist das erhaltene Empfängersignal ein direktes Maß für den Lichtstrom. Dies gilt auch nur dann, wenn das Lichtquel-

lenbild bezüglich der Empfängeröffnung zentriert ist. In diesem Fall ist eine gleichmäßige Bestrahlungsstärkeverteilung im Lichtquellenbild nicht erforderlich.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass sich der sehr hohe Dynamikumfang der Bestrahlungsstärke und somit auch der notwendige große Dynamikumfang des Detektorsystems bei dem differentiellen Verfahren als problematisch erweist. Zur Reduzierung des Dynamikumfangs kann an geeigneter Stelle (z.B. vor der Lichtquelle) ein kalibrierter Graukeil eingesetzt werden. Typische Dynamikbereiche für die Falschlichtmessung liegen zwischen 10^4 und 10^6 der Bestrahlungsstärke oder auch mehr.

Je nach Art der vorhandenen Objektszene haben das integrale sowie das differentielle Verfahren sinnvolle Anwendungen zur Messung des Falschlichtes. Im allgemeinen ist das integrale Verfahren bei Systemen sinnvoll, bei denen die Objektszenen eine nahezu gleichmäßige Strahldichte haben. Dagegen ist das differentielle bei isoliert und intensiv abstrahlenden Lichtquellen anwendbar.

Um Aussagen über die Herkunft des Falschlichtes treffen zu können, kann die Pupille des Prüflings und ihre Umgebung von der Bildebene aus beobachtet werden.

Der Vorteil des differentiellen Verfahrens besteht darin, dass aus diesem prinzipiell die Falschlichtsituation in einer speziellen Konstellation berechnet werden kann. In der Tat kann aus der Falschlichtverteilerfunktion (GSF) der Falschlichtindex (VGI) abgeleitet werden ,während die Ableitung der GSF aus dem VGI nicht möglich ist.[12]

Anmerkung: Durch Beobachten und Fotografieren der Pupille des Prüflings und ihrer Umgebung von der Bildebene aus kann eine Aussage über die Herkunft des Falschlichtes getroffen werden.

8.2 Die zwei Messverfahren

Es wurden zwei Testverfahren entwickelt, einmal das Testverfahren im Auflicht (Siehe Kapitel 8.2.1 Auflichtverfahren) und zweitens das Testverfahren im Durchlicht (Siehe Kapitel 8.2.2 Durchlichtverfahren). Beide Verfahren orientieren sich nach dem integralen Verfahren, das in der DIN 58 186 beschrieben ist. Einzige Unterschiede hierzu sind, die Messobjekte sind fest im Testchart integriert und können nicht verschoben werden und gemessen wird nicht die Bestrahlungsstärke (in der Lichttechnik ist das die Beleuchtungsstärke) mit einem

photoelektrischen Empfänger in der Bildebene, sondern digitalisierte Helligkeitswerte der Pixel im Bild.

Der Ansatz zur Entwicklung beider Testverfahren ist es, eine vergleichbare Prüfung für Digitalkameras. Zudem können so Vor- und Nachteile des jeweiligen Verfahren erkannt und eventuell verbessert werden.

Ergänzend zum Auflichtverfahren (Siehe Kapitel 8.2.1.3 Ergänzender Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle) wird noch eine weitere Variante untersucht, die dem differenziellen Verfahren nach DIN 58 186 angelehnt ist. Dort soll getestet werden, wie das Falschlicht sich bei zusätzlicher schräg einfallender Gegenlichtquelle verhält.

8.2.1 Auflichtverfahren

Im folgenden soll nun der Aufbau beschrieben werden.

8.2.1.1 Aufbau

Die Reproausbeleuchtung im Auflichtstand besteht aus zwei Hedler-Halogen-Lampen (Lampenleistung je 1000 Watt), die im Winkel von ca. 45° und einer Lampenentfernung von 2,5m, je links und rechts vor dem Testchart aufgestellt werden.

Um die Halogenlampen auf Tageslicht D50 (entspricht eine Farbtemperatur von 5400 Kelvin) abzustimmen, wird eine Blaufolie mit entsprechenden Mired-Wert auf die Flächenleuchte aufgespannt. Weiter wird eine Diffusorfolie benutzt, um eine möglichst diffuse Beleuchtung auf dem Testchart zu erzeugen.

Tests zur Überprüfung der homogenen Beleuchtung ergaben, dass die Beleuchtung durch die Lampen bei 5-10 cm Höhe über der Testchartmitte am gleichmäßigsten ist.

Das Testchart selbst besteht aus einer homogenen, weißen Fläche in die 17 unbewegliche Lichtfanglöcher eingebaut sind. Der genaue Aufbau der Lichtfanglöcher ist in Abbildung 16 beschrieben. Die gleichmäßig diffus reflektierende Fläche des Testcharts gewährleistet somit eine gleichmäßige Belichtung auf dem CCD-Chip.

Bei der Kamerapositionierung wurde besonders Wert darauf gelegt, dass die optische Achse des Objektivs die Testchartmitte trifft und die Sensorfläche parallel zur Testchartwand steht, um reproduzierbare Prüfungsbedingung zu erhalten.

Dies betrifft vor allem für die Vertikaleinstellung, da für die Längseinstellung und die Horizontaleinstellung ein Rollstativ in einem Schienensystem geführt wird. Zur Justierung der

Höhe und Schräge wird eine Wasserwaage am Stativkopf benutzt.

Angaben der Testchartgrößenverhältnisse:

Größe der schwarzen Fläche: Durchmesser=30mm Fläche= $\pi \cdot (15\text{mm})^2=7,07\text{cm}^2$
Größe des umgebenden Feldes:
Bildverhältnis 4:3=110,66cm · 83cm=9184,78cm²
Bildverhältnis 3:2=124,5cm · 83cm=10333,5cm²
Anteil der zur Messung benutzten schwarzen Fläche:
Messhöhe: 2% der Bildhöhe= 2% von 83cm=1,66cm
Messfläche: 1,66cm · 1,66cm=2,75cm²
Verhältnis: Messfläche/schwarzen Fläche=2,75cm²/7,07cm²=38,9%
Abstandsfolge der schwarzen Lichtfanglöcher von der Mitte aus beim Bildseitenverhältnis 3:2:
 $Y'_0 = \text{Testchartmitte}$ $Y'_{max} = \text{Testchartdiagonale}/2=74,82\text{cm}$
 $Y'_1 = 0,21 * Y'_{max}$
 $Y'_2 = 0,43 * Y'_{max}$
 $Y'_3 = 0,64 * Y'_{max}$
 $Y'_4 = 0,86 * Y'_{max}$

Der Lichtfangkörper des Auflichtverfahrens ist ein mit schwarzen Filzstoff ausgestatteter Hohlraumkörper, der sämtliches einfallende Licht absorbiert und selbst keine Reflexionsfähigkeit besitzt.

Tests zur Tiefe der Lichtfanglöcher ergaben, dass die Tiefe von 78 mm ausreichend ist, um eine bestmögliche Schwärzung auf der Rückeninnenseite der Lichtfanglöcher zu erreichen. Tiefer gebaute Lichtfanglöcher ergaben keine bessere Abschattung.

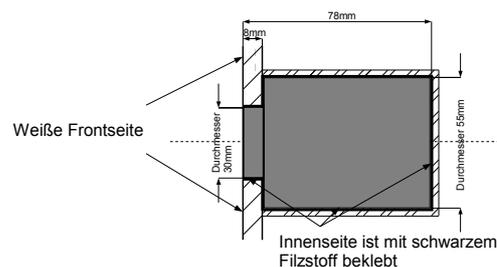


Abbildung 16: Querschnitt durch ein Lichtfang im Maßstab 1:2

Um weiteres Störlicht bei der Durchführung der Messungen zu vermeiden, ist es sinnvoll, den dafür genutzten Raum so dunkel wie möglich zu halten.

Auflicht-Testchart von vorne im Maßstab 1:10:

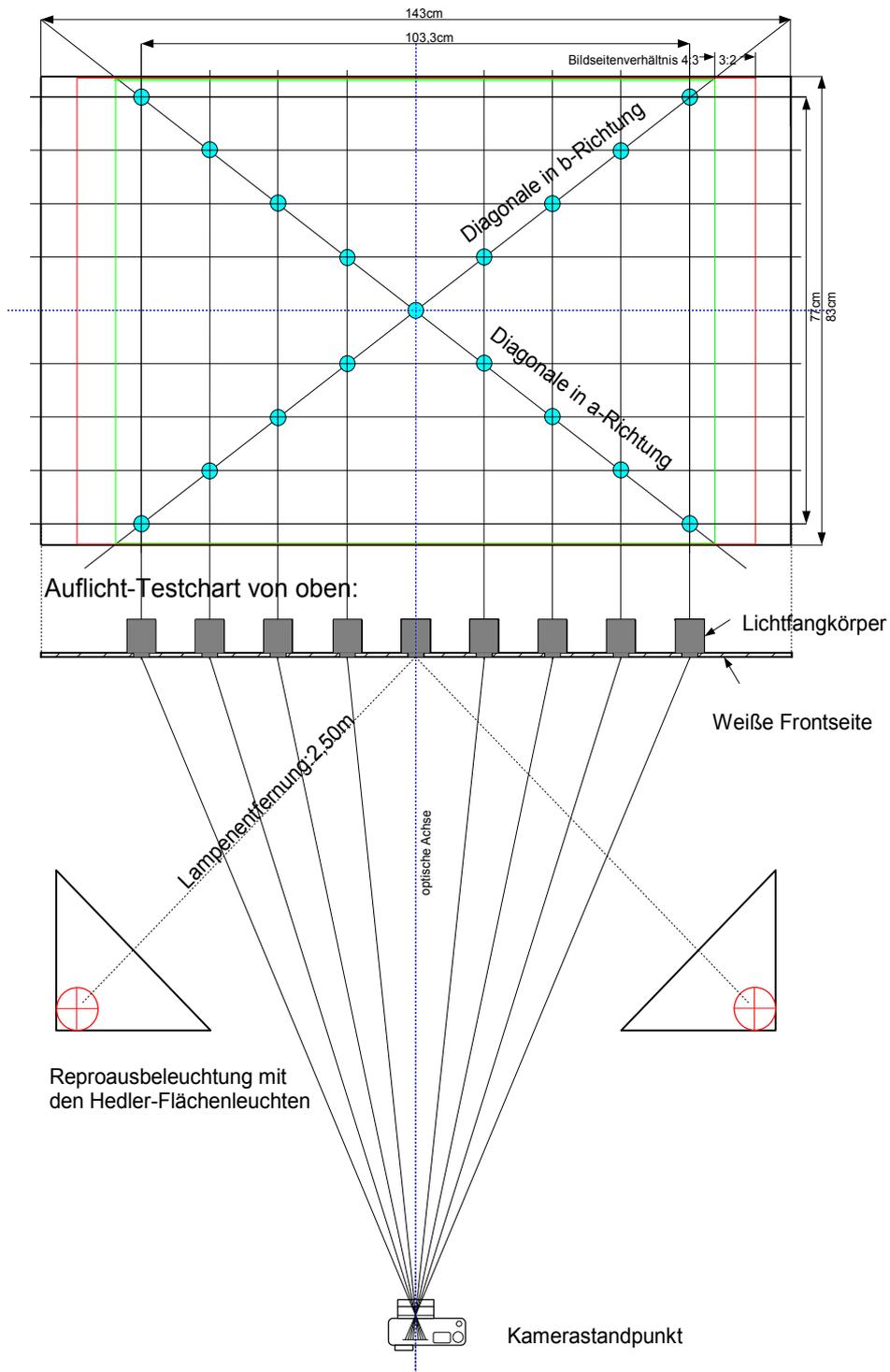


Abbildung 17: Testchart im Auflichtstand

8.2.1.2 Leuchtdichtemessung zur Überprüfung der homogen Ausbeleuchtung

Leuchtdichtemessungen mit einem Mavo-Spotmeter von Gossen (Technische Daten: Messwinkel=1°; Messbereich:0,01cd/m²-20000cd/m²) ergeben in den Lichtfanglöchern einen Wert von 0.1cd/m² und im weißen Umfeld in der Mitte 220cd/m², zum Rand der Testchartfläche 250cd/m². Daraus ergibt sich folge dessen einen Motivkontrast (= L_{max}/L_{min}) von min.2200:1, was in der Größenordnung des Dynamikbereichs von Digitalkameras liegt.

Das Problem bei der Leuchtdichtemessung mit dem Spotbelichtungsmesser ist, dass dieser selbst von einem gewissen Anteil von Streulicht beeinträchtigt ist und daher die minimal messbare Leuchtdichte 0,1cd/m² beträgt. Dieses Minimum wurde bei der Messung an den Lichfanglöchern erreicht.

Um diese Fehlerquelle möglichst gering zu halten, wird eine selbst angefertigte Gegenlichtblende vor dem Okular des Spotbelichtungsmessers angebracht, deren Öffnung dem Messwinkel des Spotbelichtungsmesser in etwa entspricht und eine Gegenlichtblendenlänge von 20cm aufweist.

8.2.1.3 Ergänzender Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle

Um den Einfluss zusätzlicher Gegenlichtquellen zu untersuchen, wurde weitere Lampen angebracht, die direkt auf das Kameraobjektiv einstrahlen. Die Lichtquelle, zwei aneinander gereihte Halogenlampen mit einer Lampenleistung von je 50 Watt, werden im Abstand von 30cm zum Testchartrand (entsprechend der Abbildung: Testchart im Auflichtstand und direkte Lichteinstrahlung) an den verschiedenen Positionen von 1. bis 9. platziert und jeweils einmal aufgenommen.

Die Halogenlampen werden so eingestellt, dass ihr erzeugter Lichtkegel die komplette Frontlinse des Objektivs bestrahlt. Damit kein Licht auf das Testchart selbst fällt und das Testchart überstrahlt, werden Abschatter zwischen Lampen und Chart aufgestellt.

Im Gegensatz zum Auflichtstand soll hier die Auswirkung von schräg einfallenden Licht untersucht werden.

Der Lampeneinfallswinkel α (Winkel zwischen Einstrahlrichtung der Lampen und optischer Achse) wird berechnet aus :

$$\alpha = \arctan \frac{\text{Abstand : Testchartmitte} - \text{Lampe}}{\text{Aufnahmeentfernung : Kamera} - \text{Testchart}}$$

Getestete wird ein Objektiv mit 28mm Brennweite und eine Aufnahmeentfernung Kamera-Testchart von 1,55m. Daraus ergibt sich nach der Berechnung der verschiedenen Lampenpositionen folgende Einfallswinkel:

Positionsnummer	Einfallswinkel α in $^\circ$
Nr. 1,3,7,9	35 $^\circ$
Nr. 2,8	28 $^\circ$
Nr. 4,6	30 $^\circ$
Nr. 5	24 $^\circ$

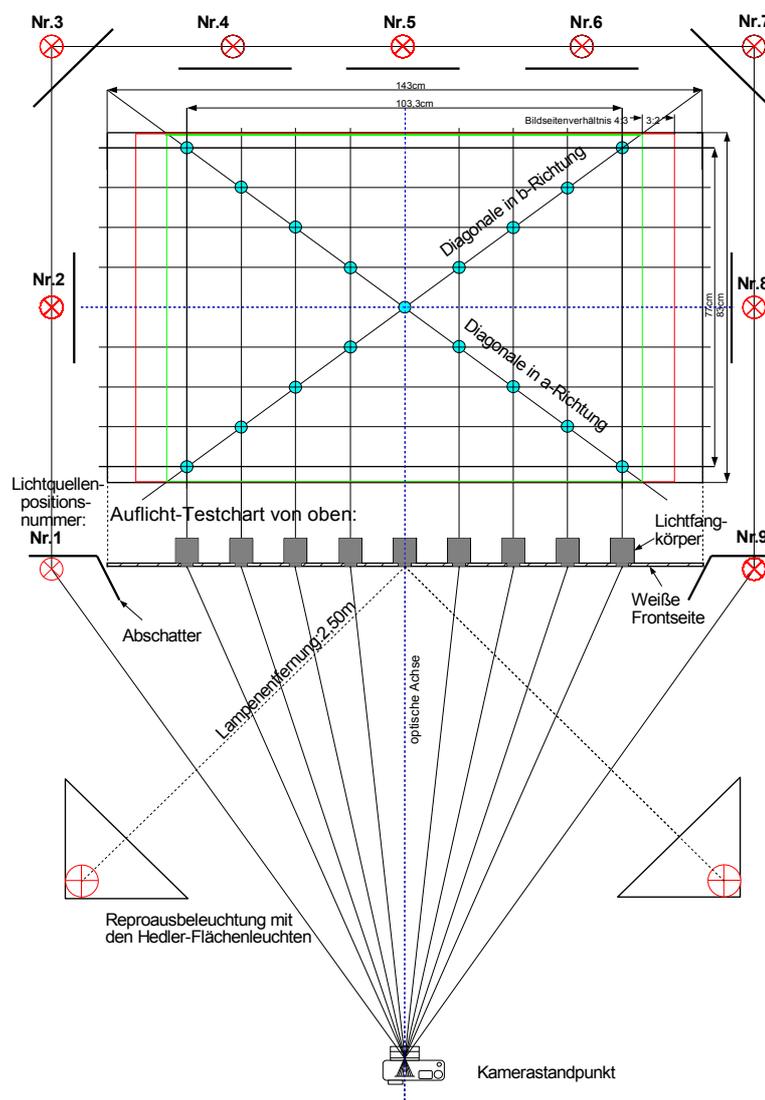


Abbildung 18: Testchart im Aufsichtstand und direkte Lichteinstrahlung mit dritter Lichtquelle

8.2.2 Durchlichtverfahren

8.2.2.1 Aufbau

Die Durchsichtaufnahmen werden alle am Messstand an einer Ulbrichtkugel vorgenommen. Sie dient zum Erzeugen diffuser Strahlung aus gerichteter Strahlung oder zur Integration des Lichtes stark divergenter Quellen.

Es handelt sich um eine innen weiß beschichtete Hohlkugel, in deren Oberfläche sich im rechten Winkel zur Lichteintrittsöffnung eine Austrittsöffnung befindet. Vor der Lichteintrittsöffnung befindet sich eine Lichtquelle. Vor der Lichtquelle befindet sich ein Shutter, damit kein direktes Licht auf die Austrittsöffnung fällt. Die Innenbeschichtung besteht aus hochreflektierende Materialien.

Der Durchmesser beider Öffnungen ist deutlich kleiner als der Innendurchmesser der Kugel, so dass nur Licht in die Austrittsebene gelangt, das zuvor vielfach an der inneren Oberfläche reflektiert worden ist. Das so erzeugte Licht erfüllt die Anforderungen an ideal diffuses Licht, das Lambertsche Gesetz (auch "Lambert-Verteilung" genannt), weitaus besser als durch opakes Material (Milchglas) erzeugtes diffuses Licht.

Als optische Bank dient ein Schienensystem mit Reiter, Säule und Stativkopf, bei dem längs, vertikal und horizontal Verschiebungen vorgenommen werden können. Dieser Bereich von Austrittsebene und optischen Bank befindet sich in einem Abdunklungszelt.

Angaben der Testchartgrößenverhältnisse:

Größe der schwarzen Fläche: Durchmesser=10mm Fläche= $\pi \cdot (5\text{mm})^2=0,78\text{cm}^2$
Größe des umgebenden Feldes:
Bildverhältnis 4:3=21,33cm · 16cm=341,28cm ²
Bildverhältnis 3:2=24cm · 16cm=384cm ²
Anteil der zur Messung benutzten schwarzen Fläche:
Messhöhe: 2% der Bildhöhe= 2% von 16cm=0,32cm
Messfläche: 0,32cm · 0,32cm=0,10cm ²
Verhältnis: Messfläche/schwarzen Fläche=0,10cm ² /0,78cm ² =12,8%
Abstandsfolge der schwarzen Lichtfangflächen von der Mitte aus beim Bildseitenverhältnis 3:2:
Y'_0 = Testchartmitte Y'_{max} = Testchartdiagonale/2=14,42cm
$Y'_1=0,21 * Y'_{max}$
$Y'_2=0,43 * Y'_{max}$
$Y'_3=0,64 * Y'_{max}$
$Y'_4=0,86 * Y'_{max}$

Der „Lichtfangkörper“ des Durchlichtverfahrens ist auf die Glasplatte mehrfach aufeinander geklebte schwarze Klebestreifen mit letzter Schicht aus dem gleichen schwarzen Filzstoff, wie der Lichtfangkörper des Auflichttestcharts (Siehe Abbildung 17: Testchart im Auflichtstand).

Nachteil dieser flachen Bauanordnung ist, das schon geringes Raumlicht im Dunkelzelt eine Aufhellung bewirkt, welches die Messung verfälscht.

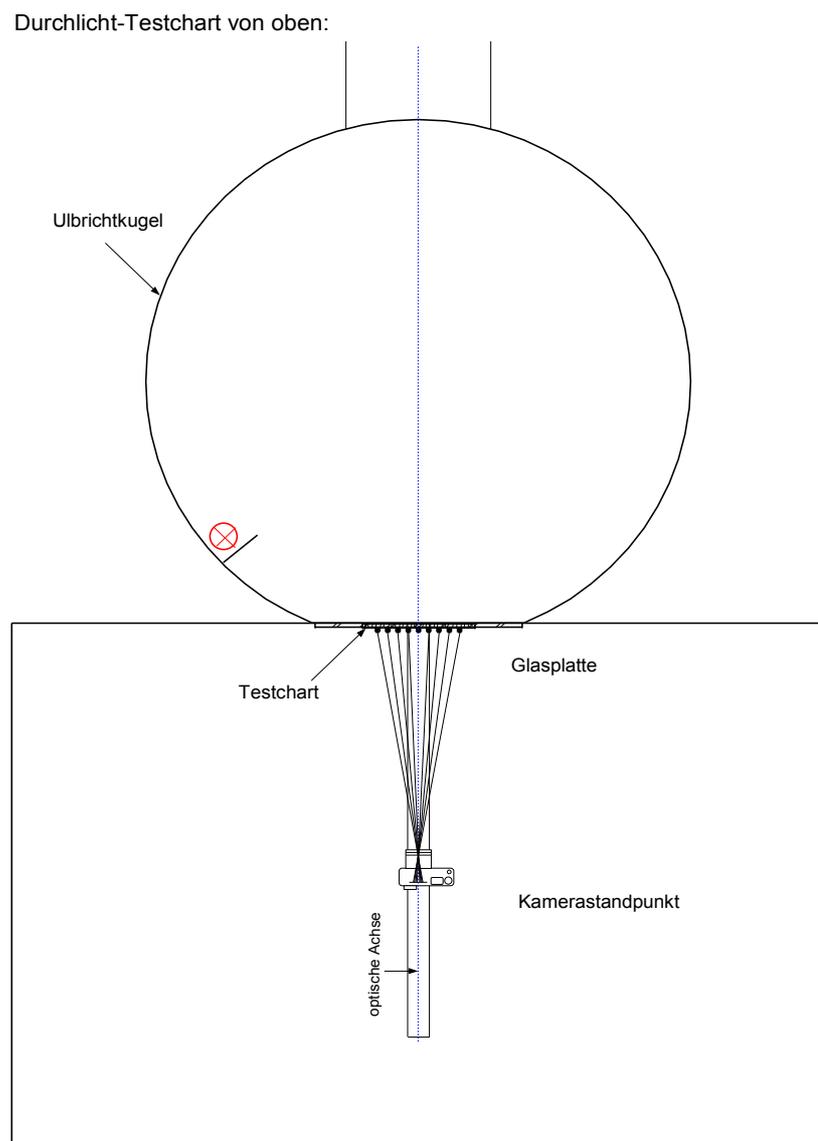


Abbildung 19: Testchart im Durchlichtstand mit Ulbrichtkugel

Durchlicht-Testchart von vorne im Maßstab 1:2.5:

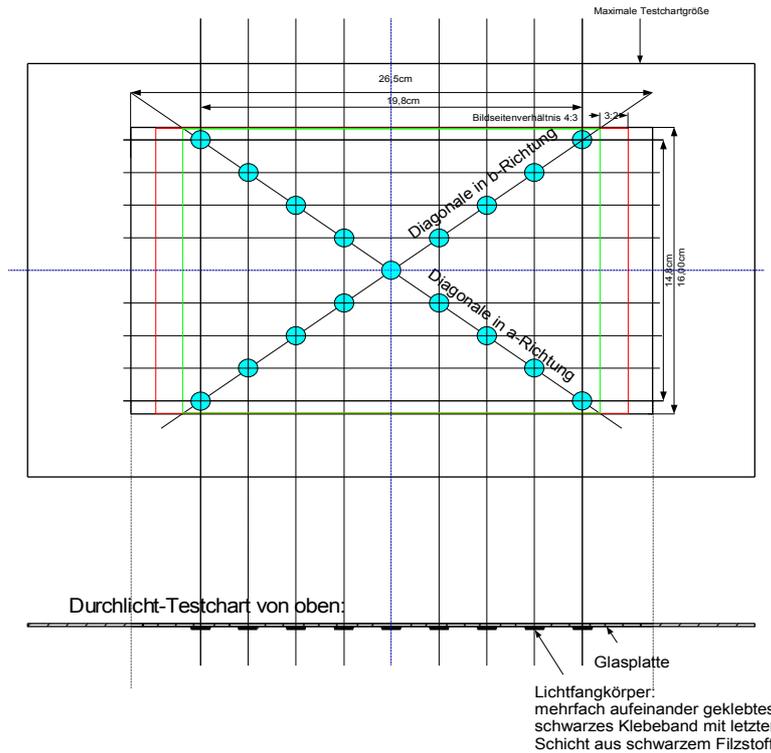


Abbildung 20: Durchlicht-Testchart

8.2.2.2 Leuchtdichtemessung zur Überprüfung der homogen Ausbeleuchtung

Um einen gleichen Motivkontrast der beiden Methoden zu erreichen, wurde zwischen dem Durchlichttestchart und einer zweiten Glasplatte ein Graufilter eingelegt.

Bei Leuchtdichtemessungen mit dem Spotmeter (Gossen) ergaben an den schwarzen Flächen einen Wert von 0.1 bis 0.01 cd/m². Das weiße Umfeld wurde homogen mit 300 cd/m² bis zum Rand der Testchartfläche ausgeleuchtet. Es wurden keine Abweichungen zwischen Testchartmitte und Testchartrand festgestellt, die im Gegensatz zum Auflichtstand gemessen wurden. Hier besteht einen Motivkontrast ($= L_{max}/L_{min}$) von min. 3000:1.

8.2.3 Auswahl der Bildhöhen

Die Anordnung der Löcher wurde so gewählt, dass eine Diagonale in einem Bildformatverhältnis von 4:3 neun Löcher von der oberen linken Ecke in die rechte untere Ecke ergeben. Die Lichtfanganordnung in einer diagonalen Linie wurde ausgewählt, weil sie den Bildkreis des Objektivs weitestgehend ausnutzt.

Daraus ergibt sich ein Lochabstand von 16,1 cm am Auflichttestchart und beim Durchlichttestchart 3,6 cm.

Positionsnummer 1. beginnt in der oberen linken Ecke, Positionsnummer 17. befindet sich in der rechten unteren Ecke.

8.2.4 Berechnung des Helligkeitswertes aus den drei Farbkanälen

Für die Berechnung des Falschlichts werden die Luminanzwerte (Helligkeitswert) in den Lichtfangkörper und deren direkten Umgebung ermittelt.

Die in der Auswertungssoftware Streu.exe verwendete Luminanzberechnung ist in der ISO TC 42N4866 (ISO/DIS 15739.2) vom 2002-04-01 wie folgt aus der Gewichtung der digitalen Ausgabewerte der drei Farbkanäle definiert:

$$Y = 0,2125 R + 0,7154 G + 0,0721 B$$

[15]

8.2.5 Hintergrund des Testcharts im Auflichtstand

Tests mit unterschiedlichem Hintergrund (die Fläche, hinter dem beschriebenen Testchart) ergaben, dass die Gestaltung des Hintergrund die Falschlichtmessung beeinflusst. Zuerst wurde ein fest installierter Teststandhintergrund benutzt, eine größtenteils graue Fläche. Bedenken kamen, dass die Lichtfanglöcher am Rand nicht den gleichen Anteil an Störlicht erhalten, wie die in der Mitte. Deshalb wurde dazu übergegangen, einen weißen Hintergrund zu verwenden. Zum Vergleich wurde weißer Hintergrundkarton benutzt, der in der Fläche des Testchart ausgeschnitten wurde.

Ergebnis des Vergleichs ist (siehe 17 Anhang: Diagramm und Tabellen/Hintergrund des Testcharts im Auflichtstand), beim weißen Hintergrundkarton nehmen die gemessenen Falschlichtwerte am Rand im Bezug zur Bildmitte nicht zu. Durch eine Vergrößerung mit einer wei-

Ben Hintergrundfläche wird eine einheitliche Falschlichterhöhung im Gesamtbild um den Faktor 1,2 bis 1,3 im JPEG- Format erreicht. Für weitere Tests im Aufrichtstand wird der weiße Hintergrundkarton beibehalten, da so insgesamt eine höhere Ausbeleuchtung des Testcharts erreicht wird.

8.3 Versuchsmethode

In Kapitel 8.1 Kurzbeschreibung des Verfahren nach DIN 58 186 wird der Falschlichtwert definiert als das Verhältnis der Bestrahlungsstärke (Beleuchtungsstärke) im Bild zu einer kleinen, kreisförmigen, perfekt schwarzen Fläche in einem ausgedehnten Feld einheitlicher Bestrahlungsstärke am gleichen Bildpunkt, wenn die schwarze Fläche entfernt wurde.

D.h. eigentlich müsste man nach der DIN-Bestimmung mit einem photoelektrischen Empfänger in der Bildebene die Beleuchtungsstärke messen. Das setzt aber voraus, dass man in die Sensorebene der Kamera gelangt. Dies ist technisch nur schwer oder gar nicht lösbar.

Zudem soll die Testmethode die Auswirkung von Falschlicht am Endresultat: Bild feststellen. So werden hier für die Messung, anstatt der Beleuchtungsstärke in der Bildebene, die Digitalwerte der Testaufnahmen verwendet.

1. Messung des Dunkelstroms:

Zuerst wird der Digitalwert des Dunkelstroms ermittelt. Dies geschieht, indem man bei offener Blende und eine Verschlusszeit von 4s eine Aufnahme mit der Kamera und abgedecktem Objektiv (Objektivdeckel darauf) in eine absolut abgedunkelten Raum macht. Es werden nicht die Verschlusszeiten der späteren Testaufnahmen übernommen, denn je länger die Belichtung dauert, desto genauer kann der Dunkelstrom ermittelt werden.

Das Dateiformat und die Empfindlichkeit der Dunkelstromaufnahme richtet sich nach den der Testaufnahmen zur Falschlichtermittlung.

In einem Vortest ergab sich, dass der Dunkelstrom nicht mit der Belichtungsdauer zunimmt und somit der Wert für 4s Belichtungszeit repräsentativ für alle Belichtungszeiten ist.

2. Belichtungsmessung:

Die Belichtungseinstellungen werden an einer neutral grauen Fläche bestimmt.

Dazu sollte die Kamera eine Spotmessung erlauben. Eine optimale Belichtung ist uner-

lässlich, um den maximale Dynamikumfang einer Kamera so weit wie möglich auszunutzen. Bei deren Beurteilung hilft, wenn vorhanden, die Histogrammfunktion der Kamera. Die Belichtung sollte so gewählt werden, dass sich die „Tiefen und Lichter“ möglichst links und rechts der Tonwertachse-Achse des Histogramms bilden. Unter Umständen ist durch Versuche (Testaufnahmen) die richtige Belichtungseinstellung ermittelt worden.

3. Einstellung des Aufnahmeformats:

Die Kamera wird so positioniert, dass das komplette Testchart mit den 17 Lichfanglöcher im Bild wiedergegeben werden. Anschließend wird fokussiert. Als Hilfe zur Formateinstellung dienen Randmarken, die auf dem Testchart aufgezeichnet sind.

Bei der Kamerapositionierung ist genau darauf zu achten, das die optische Achse des Objektivs die Mitte des Testcharts trifft. Dies betrifft vor allem die Vertikaleinstellung, da für die Horizontal- und Längseinstellung ein Rollstativ in einem Schienensystem geführt wird. Zur Justierung der Vertikal- und Horizontalachse wird die Wasserwaage am Stativkopf benutzt.

Die Displaywiedergabe der Testaufnahmen (evtl. ergänzt um ein Histogramm) hat auch hier den Vorteile, dass nach dem Auslösen das Bildkorrekturen zur Formateinstellung vorgenommen werden können. Allerdings zeigen viele Kameras leider nur einen Ausschnitt des tatsächlich aufgezeichneten Bildes auf dem Display, welches eine exakte Ausschnittseinstellung erschwert.

4. Belichtungsreihe:

Die bei der Belichtungsmessung ermittelte Blenden-Verschlusszeit-Kombination werden auf die größte Blendenöffnung übertragen, sowie für die Blendenzahlen 5.6, 8, 11 und 16.

Die Belichtung der Versuchsreihe bleibt konstant, indem die Verschlusszeiten den Blenden angepasst werden.

5. Brennweitenreihe:

Da sich unterschiedliche Falschlichtwerte bei verschiedenen Brennweiteneinstellungen von Zoomobjektiven zeigten , werden Messungen bei der kleinsten, mittleren und größten Brennweite durchgeführt. Unterscheiden sich Falschlichtwerte um 50 Prozent, so werden zusätzliche Brennweiten getestet.

6. Auswertung der Bilder mit der Software:

Durch die unterschiedliche Größe und Lage des Falschlichts im entstandenen Bild, entsteht eine unterschiedliche Aufhellung an den Lichtfanglöchern.

Die Auswertung der Digitalwerte an den verschiedenen und festgelegten Bildpositionen ergeben die Ausgangswerte zur Berechnung des Falschlichtes.

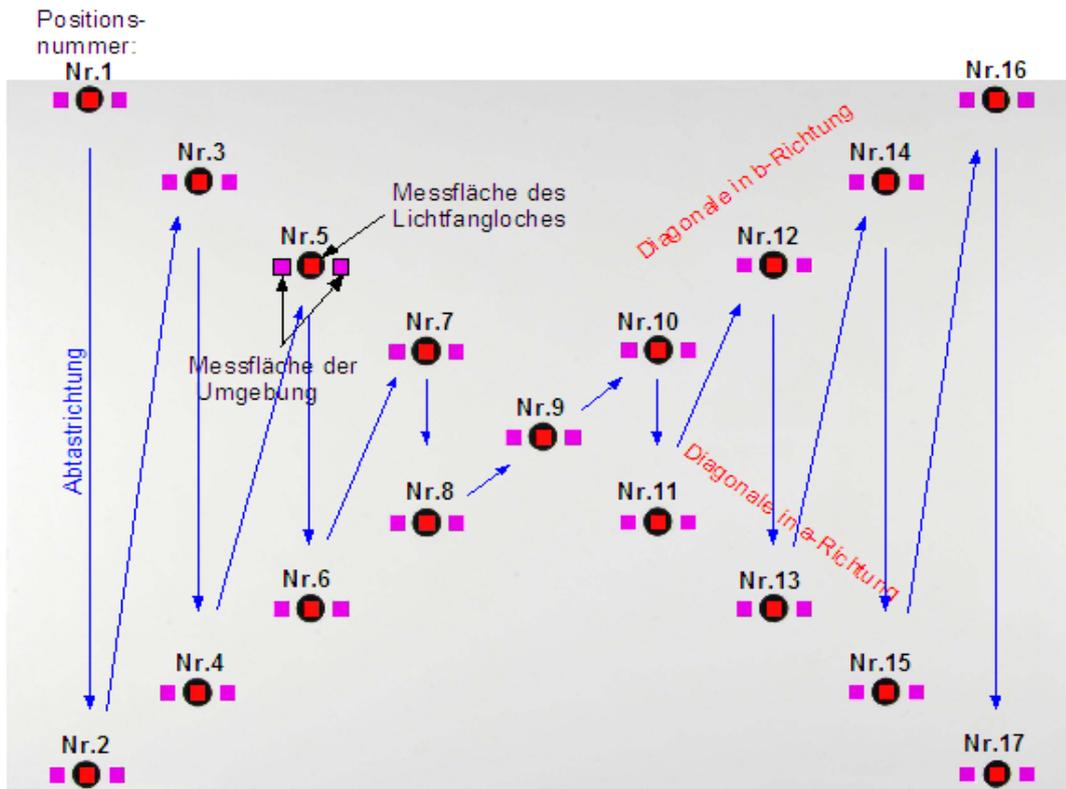


Abbildung 21: Auswertung des Testbild mit dem Auswertungsprogramm

Wie in Abbildung 21 gezeichnet, sucht das Programm im Bild, beginnend von links oben nach rechts unten, nach den Positionen der schwarzen Löcher, und setzt, nach dem es eines gefunden hat drei Messfelder. Eines direkt in die Mitte des Lochs (in der Grafik rot eingezeichnet) und zwei links und rechts davon in dessen weißen Umfeld (in der Grafik magenta eingezeichnet).

Im Messfeld des Loches wird der digitale Helligkeitswert ermittelt. Aus den linken und rechten Messfelder im weißen Umfeld wird ein Mittelwert der gemessenen Digitalwerte ermittelt, der somit den Wert, wäre kein Lichtfangkörper da, wiedergeben soll. Der wichtige Grund, für die doppelte Messfeldanordnung im weißen Umfeld ist, dass man so in etwa

den durch Vignettierung entstandenen radial nach außen verlaufenden Helligkeitsabfall für jede Bildposition berücksichtigt. Die Vignettierung ist vor allem bei hellen, gleichmäßigen Grundfläche der weißen Umgebung des Testchart sichtbar und lässt sich nur durch Abblenden reduzieren. Bei den meisten Objektiven ist ab Blende 5.6 oder 8 keine Helligkeitsabfall mehr sichtbar.

Die Größe der quadratischen Messfläche wurde so gewählt, dass genügend Abstand zum Lochrand besteht. Dies ist allem bei den Lichtfanglöcher zum Rand des Testchart hin wichtig, denn dort treten an der Lochkante bei manchen Aufnahmen Farbsäume auf, die durch chromatische Aberation verursacht werden.

Ein weiteres Kriterium nach dem die Messgröße eingestellt wird ist, dass der vordere Innenrand bei den Lichtfanglöchern zum Rand sichtbar ist und sich nicht im abgeschatteten Bereich befindet. Er wird von seitlichen Lichtstrahlen der Reprobeleuchtung aufgehellt. Es muss darauf geachtet werden, dass der aufgehellte Innenwrandring nicht in die Messung einbezogen wird.

Die Messfläche darf jedoch nicht zu klein sein, da eine repräsentative Anzahl von Pixeln gemessen werden soll. Die Kantenlänge bei den Versuchen lag zwischen 24 und 56 Pixel je nach Auflösung der Kamera. Als Kantenlänge der Messfläche wurde ein Wert von mindestens von 2% der Bildhöhe angestrebt.

In der Datei wurde für jedes Messfeld Mittelwert, Standardabweichungen sowie Position, Pixelhöhe und Pixelbreite gespeichert.

Diese werden automatisch vom MATLAB-Programm in ein Text-Datei ausgegeben, wo sie dann zur Tabellenauswertung und Berechnung übernommen werden.

1. Tabellenauswertung und Berechnung der Kenngröße Falschlicht

Die Tabellenauswertung, Berechnung und graphische Auswertung erfolgt in OpenOffice.org. Calc Tabellendokument. Die Digitalwerte der Lichtfangflächen, der weißen Umgebung und des Dunkelstroms sind den einzelnen Bildpositionen, Belichtungs- und Brennweitenreihen zugeordnet.

Die Berechnung des Falschlichts erfolgt letztendlich nach der Formel:

$$F(Y') \text{ in \%} = \frac{(\text{Digitalwert im Lichtfang} - \text{Digitalwert des Dunkelstrom})}{(\text{Digitalwert des weißen Umfeldes} - \text{Digitalwert des Dunkelstrom})} * 100 [\%]$$

)

$$Y' = \text{Abstand Bildmitte} - \text{Positionspunkt}$$

Zur graphischen Bewertung wird ein Diagramm erstellt, das die Beziehung zwischen der Falschlichtgröße (auf der y-Koordinate in %) und deren Position (auf der x-Koordinate) im Bild darstellt.

Aus diesen Falschlichtwerten ergeben sich für jede Belichtungseinstellung der charakteristischen Kurvenverlauf in den zwei Diagonalen (a- und b-Richtung).

(Siehe Kapitel 6:Versuchsauswertung)

8.4 Empfindlichkeitsreihe

Grund für eine Untersuchung mit veränderten Empfindlichkeiten ist, den möglichen Einfluss der Belichtungszeit zu bewerten. Deshalb wird bei gleich bleibende Blende die Verschlusszeit und Empfindlichkeitseinstellung zueinander kombiniert.

Die gewählte Einstellungen sind:

$t=1/15s$; $k=5.6$ 100ASA

$t=1/30s$; $k=5.6$ 200ASA

$t=1/60s$; $k=5.6$ 400ASA

8.5 Belichtungsreihe

Nach der gemessenen Belichtung für die kleinste Blendenzahl werden die Belichtungszeiten für die Blende 5.6, 8, 11 und 16 bestimmt. Größere Blendenzahleinstellungen machen keinen Sinn, da man sonst in den Bereich der Langzeitbelichtung gerät, die für die Untersuchung nicht von Interesse ist. Getestet werden sollen die Verschlusszeiten, die möglichst unter „normalen“ Abbildungsbedingungen benutzt werden.

Voraussetzung für die Belichtungsreihe ist, dass die Kamera manuelle Belichtung ermöglicht. Bei digitalen Spiegelreflexkameras ist dies gewährleistet, doch viele Kompaktkameras und Handykameras arbeiten ausschließlich mit automatischer Belichtungseinstellung, was zu Fehlbelichtung führen und dem entsprechend berücksichtigt werden müssen.

Bei der Belichtung wurde darauf geachtet, dass der Digitalwert im weißen Bereich von 240 nicht überschreitet, da man sonst in den Bereich der Sättigung gerät.

8.6 Brennweitenreihe

Ausgang der Testreihe mit unterschiedlichen Brennweiten ist die Beurteilung der Abbildungsleistung in Sachen Falschlicht bei den Bautypen: Weitwinkel-, Normal- und Tele- und Zoomobjektiven.

Bei Zoomobjektiven gilt es die mittlere Brennweite und jeweiligen Brennweitenmaximalwerten zu testen.

Bsp. Bei der Falschlichtmessung mit der Nikon D2x (Auflicht) werden die Brennweiten 18mm, 50 und 125mm getestet. Werden jedoch bei einer Brennweitenreihe (18mm) Falschlichtwerte die bis zu 50% auseinander liegen gemessen, erfolgt eine weitere Testreihe bei der nächst größeren Brennweite. In diesem Fall wurde bei Brennweite 24mm nochmals getestet.

8.7 Prüfbedingungen

Für die Eindeutigkeit der Messergebnisse muss der Messaufbau vollständig spezifiziert werden.

Wichtige Punkte sind hierfür bei der Versuchsdurchführung besonders zu beachten:

- Die Arbeitstemperatur muss unterhalb von 25°C bleiben, da eine Temperaturveränderung um 7°C den Dunkelstrom verdoppelt
- Vermeidung von Störlicht im Versuchsraum von außerhalb, wie Sonnenlicht, reflektierende Laborwände, etc.
- Schmutz und Staub auf den optischen Flächen der Prüflinge wird vor dem Messvorgang entfernen

Folgende Angaben werden in den Messergebnissen angeführt:

- Beschreibung des geprüften Systems einschließlich Hersteller, Name, Typ, und Seriennummer
- Feldposition bei der Messung
- Beleuchtungsart
- Spektrale Eigenschaften der Lichtquelle

9 Versuchsauswertung

9.1 Darstellung des Falschlichtanteils nach DIN 4522 Teil7: Aufnahmeobjektive, Kennzeichnung der Abbildungseigenschaften photographischer Objektive

In dieser sind folgende Punkte festgelegt:

1. Der Falschlichtanteil wird dargestellt als prozentualer Lichtstromanteil im Bild eines schwarzen Objektpunktes in Abhängigkeit von der Bildhöhe über der optischen Achse: $I=I(y')$ für die in Abschnitt 8.5 festgelegten Blendenkurven. Die Kurven können durch Angaben des Mittelwertes innerhalb des genutzten Bildfeldes approximiert werden.
2. Tritt bei Objektiven mit starker Auszugsverlängerung oder verschiebarer Innenlinsen eine Veränderung des Falschlichtsanteils um mehr als 50% des jeweiligen Messwertes auf, so ist eine zusätzliche Kurve bzw. Zahlenangabe für die ungünstigste Entfernung- und Brennweiteinstellung erforderlich.
Die Messung ist entsprechend DIN 58 186 durchzuführen.
3. Die Unsicherheit der Messung soll +/- 0,5% nicht überschreiten.

[16]

9.1.1 Das Auswertungsprogramm

Das Auswertungsprogramm **Streu.exe** zur Falschlichtbestimmung wurde in MATLAB 7.2. erstellt. MATLAB ist eine auf mathematisch/numerischen Methoden beruhendes Problemlösungsprogramm, das über vorhandene Benutzeroberflächen bedient werden kann, aber auch die individuelle Programmierung gestattet. MATLAB hat sich durch seine Erweiterungsmöglichkeit in Form von „Toolboxen“ zu einem universell einsetzbaren Werkzeug auf den verschiedensten Gebieten (Simulation, Signalverarbeitung, Regeltechnik, etc.) entwickelt und wird in vielen verschiedenen technischen Bereichen verwendet.

Aufgrund anderer verwendeter Auswertungsprogramme (Bsp. OECF-Auswertungsprogramm: Analyser 2.0.0.v) der Firma Image Engineering , fiel die Wahl auf dieses Programm.

Die verwendete Befehle und Funktionen entstammen alle den Basisfunktionen.

MATLAB besteht aus dem Kommandofenster , in dem die wichtigsten Parameter eingegeben werden können.

Dank PlugIns, die von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden, können zwar RAW-Daten auch in Programmen wie Adobe Photoshop geöffnet und bearbeitet werden, liegen dort jedoch als TIFF-Format vor, weswegen eine Weiterverarbeitung verlustbehaftet ist und qualitätsmindernd wirken kann.

Deshalb wird für die Konvertierung der RAW-Bilder im Auswertungsprogramm eine von ddraw compilierte Version verwendet.

Das Programm ist somit in der Lage 16-Bit Bilder zu verarbeiten.

Zur Überprüfung der Messfelder und richtigen Erfassung der Messpositionen wird am Programmende ein Kontrollbild mit Dateiname des Bildes (mit der Endung: `_check.`) und deren Dateiformat angezeigt.

Erfasst das Auswertungsprogramm nicht die 17 schwarzen Messfelder, erscheint eine Fehlermeldung. Das eingeblendete Kontrollbild zeigt dann an, welche Messfeldpositionen bei der Lokalisierung nicht erkannt worden sind.

Zudem dient das Kontrollbild zur Beurteilung der richtigen Messfeldgröße und Abstandseinstellung der weißen Umgebungsmessfelder.

Das Auswertungsprogramm kann dann erneut mit veränderten Einstellparametern gestartet werden.

I.Streu.exe

Aufgerufene Einstellparameter (Settings):

RAW(0) or ImageFile(1):

Hier erfolgt die Angabe, um welches Dateiformat (RAW, TIFF oder JPEG) es sich bei dem auszuwertenden Bild handelt.

DistanceFactor:

Ist der Abstand der Umgebungsfelder zum Lichtfangmessfeld bezogen auf die Kantenlänge.

Bei der Messung ist es notwendig, dass der Abstand der Messfelder im weißen Umfeld möglichst mit geringen Abstand zueinander eingestellt wird, da der Helligkeitsabfall zum Rand hin (Vignettierung) bei der Auswertung möglichst genau berücksichtigt werden muss.

Der Abstand darf jedoch nicht zu gering ausfallen, da man sonst an den Randbereich der Lochkante Messgenauigkeit ermitteln würde. So könnten Farbfehler verursacht von chromatische Aberration die Messergebnisse verfälschen.

Samplesize(%):

Die einzustellende Messflächehöhe bezieht sich auf die Bildhöhe in Prozent. 2% der Bildhöhe als Messhöhe und Messbreite werden angestrebt. Dies gilt für das Auflicht- und das Durchlichtverfahren.

Threshold:

Threshold gibt den digitale Schwellenwert für die schwarzen Messobjekt für die exakten Lokalisierung ihrer Positionen im Bild an. Der verwendete Schwellenwert liegt bei 40, das heißt alle Digitalwerte unterhalb 40 werden als Teil eines schwarzes Loch erkannt. Die .

Filtersize:

Zur besseren Erfassung der schwarzen Messobjekte von eventuelle anderer dunkle Stellen im Bild (so werden zum Beispiel Klebestreifen zur Befestigung des weißen Hintergrundkartons benutzt) wird das ganze Bild mit einem Tiefpassfilter geglättet. Die Tiefpassfilterung findet lediglich zur Lokalisierung der Löcher statt, ausgewertet wird das ungefilterte Bild.

Die Ergebnisse werden über ein Textdodument ausgegeben , und werden dann für die tabellarische Auswertung in OpenOffice.org Calc weiterverwendet. Das Textdokument beinhaltet Angaben zum Mittelwert der gemessenen Helligkeitswerte an den jeweiligen Messflächen, sowie ihre Standardabweichung, die x-,y-Position der der schwarzen Messfeldmitte bzgl. der rechten oberen Bildecke und die Samplesize (Messflächengröße) in Pixel .

II. Auswertung der Dunkelstromaufnahmen mit Analyser 2.0.0.v für das RAW-,JPEG- und TIFF-Format:

Analyser 2.0.0.v dient hier als Hilfsprogramm zur Auswertung der Dunkelstromaufnahmen in allen benutzten Dateiformaten.

Die mit den Kameras angefertigten Dunkelstromaufnahmen werden mit der Menüfunktion „Histogramm“ und mit Hilfe des Auswahlwerkzeuges, mit dem der Bildausschnitt gewählt wird, vermessen.

Bei der Unterteilung in einzelnen kleinere Messbereiche zur Ermittlung der Dunkelstromaufnahmen, wurden keine nennenswerte Schwankungen festgestellt. Daher wird bei der Bestimmung des Helligkeitswerts ein Mittelwert bzgl. der Gesamtbildfläche verwendet.

9.1.1.1 Das Falschlichtmessungsdiagramm

Die Titelbenennung:

Im Diagrammhaupttitel steht in der Klammer das Messverfahren (Auflicht oder Durchlicht) und das jeweilig benutzte Dateiformat (JPEG, TIFF oder JPEG). Anschließend folgt die Benennung der Testreihe: mit unters. Empfindlichkeit oder mit unters. Brennweiten.

Nach dem Doppelpunkt steht die eingestellte Brennweite in mm.

In der zweiten Zeile wird die verwendete Kamera benannt und das benutzte Objektiv.

Bsp. Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit unters. Brennweiten: 125mm

Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

Die x- und y-Achsen des Diagramms:

Auf der x-Achse werden die einzelne Bildpositionsnummer angegeben von 1. bis 17, wobei eine Spalte im Diagramm zwei Nummern abdeckt. Eine Position der Diagonalen-a und eine für die Diagonale-b auf derselben Bildbreite. Die Bildpositionsnummer 9. ist die Bildmitte.

Auf der y-Achse wird das Falschlicht in % aufgetragen.

Die Legende:

In der ersten Zeile der Legende wird der Kurvenverlauf der Diagonalen-a mit einem Symbolzeichen bestimmt, anschließend wird die Belichtungseinstellung (t für Verschlusszeit und k für die Blendenzahl) angegeben. Wenn die Empfindlichkeit verändert wird, steht diese dann anschließend als ASA-Zahl da.

In der zweiten Zeile folgt die Diagonale-b mit den wie oben beschriebenen Angaben.

9.1.1.2 Das Querschnittsdiagramm eines Messobjektes (Lichtfangloch)

Im Querschnittsdiagramm eines Messobjektes wird der Digitalwertverlauf einer Pixellreihe von der weißen Umgebung durch einen Lichtfang dargestellt. Auf der y-Achse befindet sich der Digitalwert des gemessenen Pixels und auf der x-Achse, die in einer Zeile befindlichen Pixelzahl.

Das Querschnittsdiagramm dient zur graphische Beurteilung der Verlaufslinien vom:

- Dunkelstrom

- minimal, maximal und dem mittleren (berechneten) digital Schwarzton
- Digitalwert der Pixelreihe
- minimal, maximal und der berechneter mittlerer Weißton
- Länge der Messfläche in Pixel

10 Ergebnisse

10.1 Auflichtverfahren

Vergleicht man die Messergebnisse aus beiden Verfahren, so zeigen sich beim Durchlichtverfahren ähnliche Falschlichtwerte und Kurvenverläufe bzgl. der Brennweiten und Belichtungsreihen. Die ermittelten Falschlichtwerte im Durchlicht fallen insgesamt etwas geringer aus.

Der Grund dafür ist die homogenere und höhere Testchartbeleuchtung von der Ulbrichtkugel und somit im Durchlicht höher erreichten Kontrast.

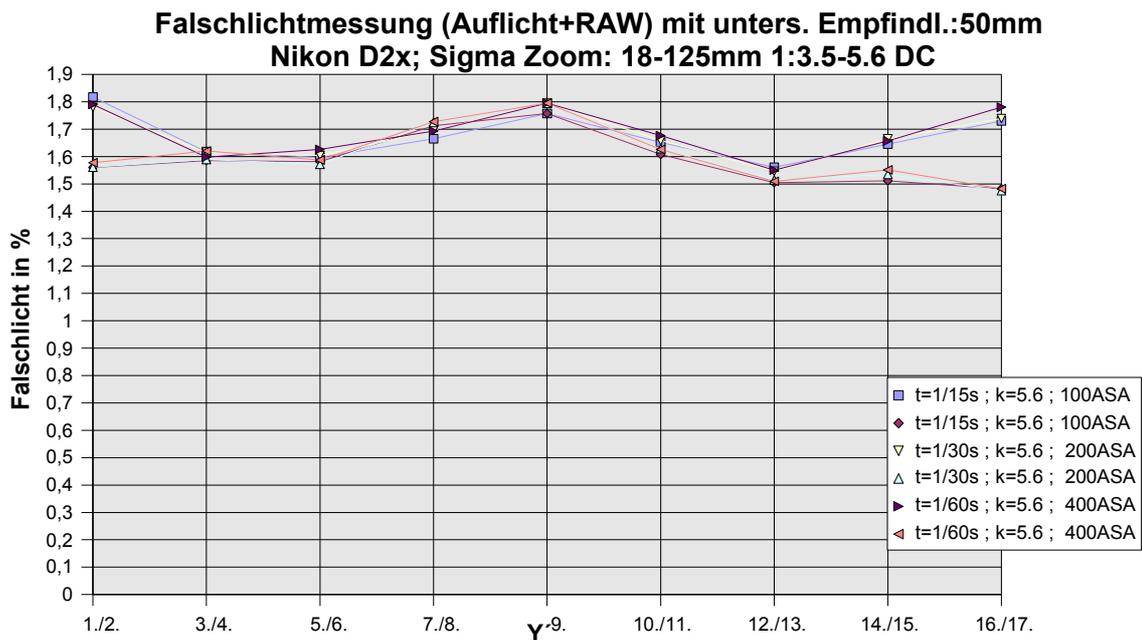
Als vorteilhaft erwies sich im Auflichtstand, dass die Lichfanglöcher durch die vertiefte Bauart besser vor äußeren Störlicht des Testraums geschützt sind.

Das längere Stativschienensystem beim Auflichtverfahren ermöglicht Tests mit Brennweiten bis zu 200-300mm, zudem müssen keine Einschränkung bei formatfüllenden Einstellungen im Weitwinkelbereich hingenommen werden .

Als Nachteil zeigt sich die feste und zu geringe Lampenleistung. Besser wäre, wenn die Lampenleistung variable wäre – so könnte man Belichtungseinstellungen prüfen, die den Verschlusszeitenbereich von $t=1/250s$ bis $1/60s$ und Blende $k=5.6$ bis 11 abdecken.

Außerdem ergab die Leuchtdichtemessung, dass durch die Reprobeleuchtung keine homogene Beleuchtung des Testchart erreicht wird.

10.1.1 Auflichtverfahren mit Empfindlichkeitreihe



Die Veränderung der Lichtempfindlichkeit von 100, 200 und 400 ASA und die darauf angepassten Verschlusszeiteneinstellungen von 1/15s, 1/30s und 1/60s erbrachten keine erkennbare Unterschiede bzgl. des prozentualen Falschlichtwerts.

Auf diese Weise wird ausgeschlossen, dass der Falschlichteffekt von der Empfindlichkeitseinstellung oder der Verschlusszeit beeinflusst wird.

Die Belichtung mit 100 ASA nimmt einen fast identischen Verlauf der beiden Diagonal-Linien, bei 200 und 400 ASA nimmt eine geringfügige Spreizung in Abhängigkeit der Empfindlichkeit zu.

Die Spreizung liegt darin begründet, dass bei höheren Empfindlichkeit das Rauschen zunimmt, welches für die geringe Aufhellung verantwortlich ist. Die „lokalen Falschlichtausreißer“ links und rechts am Rand sind vermutlich durch Blenden- oder Fassungsreflexionen verursacht worden, da sie immer an den gleichen Bildstellen erscheinen.

10.2 Durchlichtverfahren

Der wichtigste Vorteil im Durchlichtverfahren ist, dass eine konstant hohe homogene Umgebungsausbeleuchtung gewährleistet wird.

Die Lichtfangflächen sind eben und nicht vor Störlicht aus dem Kameraraum geschützt. Sie sind deshalb anfälliger für mögliche Aufhellungen.

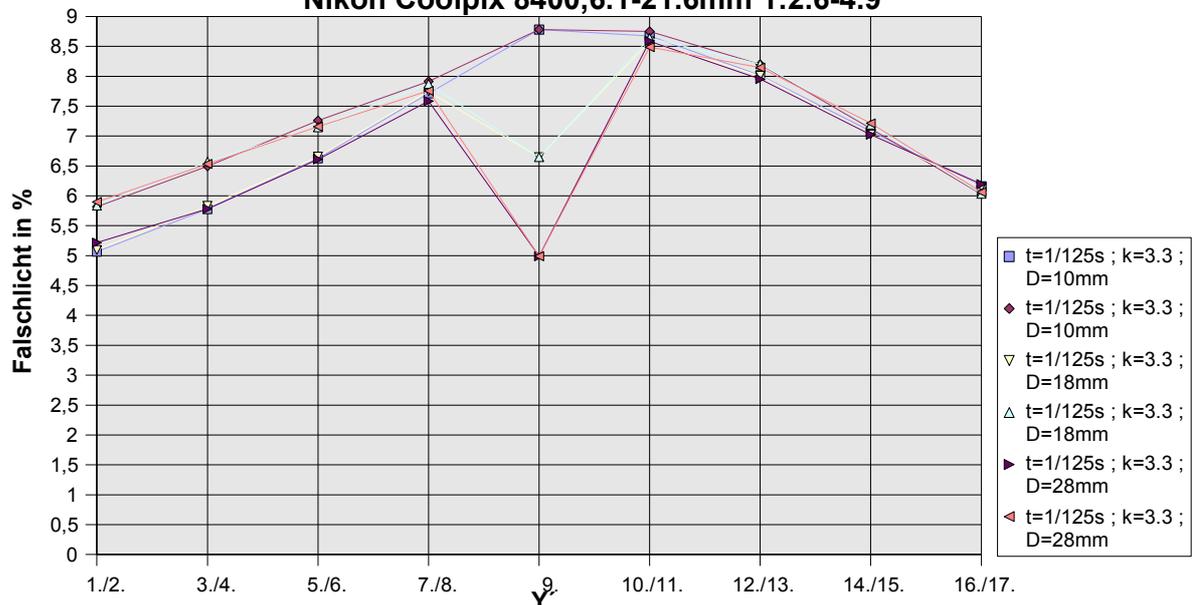
Die Länge der optischen Bank ist auf 2,5m eingeschränkt, d.h. Objektive mit langer Brennweite können nicht getestet werden. Die kurzbrennweitige Optiken mit denen man sehr nah an das Testchart kommt, können die Testflächen durch Reflexionen an der Kamera aufhellen. Eine Abhilfe schafft man, indem man die Kamera mit schwarzen Tüchern abdeckt. Mögliche Linsenreflexionen auf das Testchart können aber nicht vermieden werden, da sie ja direkt vom Durchlicht beleuchtet werden.

Testaufnahmen im Weitwinkelbereich können zum Teil nicht scharf gestellt werden, wenn die Aufnahme formatfüllend aufgenommen werden soll. Der Abstand des minimal einstellbaren Nahbereich bei einer formatfüllende Einstellung ist kleiner, als die kürzeste Scharfeinstellung. Das Testchart müsste also größer sein, was allerdings auch eine größere Ulbrichkugel erfordert. Zur Falschlichtberechnung müssen hier unscharfe Aufnahmen ausgewertet werden.

Zudem ist bei den Testchartaufnahme im Weitwinkelbereich eine Schattenkante im Innern der aneinander gefügten Ulbrichthalbkugeln abgebildet. Bei der Auswertung wurde darauf geachtet, dass die Messfelder durch entsprechende Abstandskorrektur nicht in diese Schattenbereiche fallen.

10.2.1 Durchlichtverfahren mit veränderten Testfeldflächen

Falschlichtmessung (Durchlicht) mit veränderten Testflächen in der Mitte (Nr.9):
Nikon Coolpix 8400, 6.1-21.6mm 1:2.6-4.9



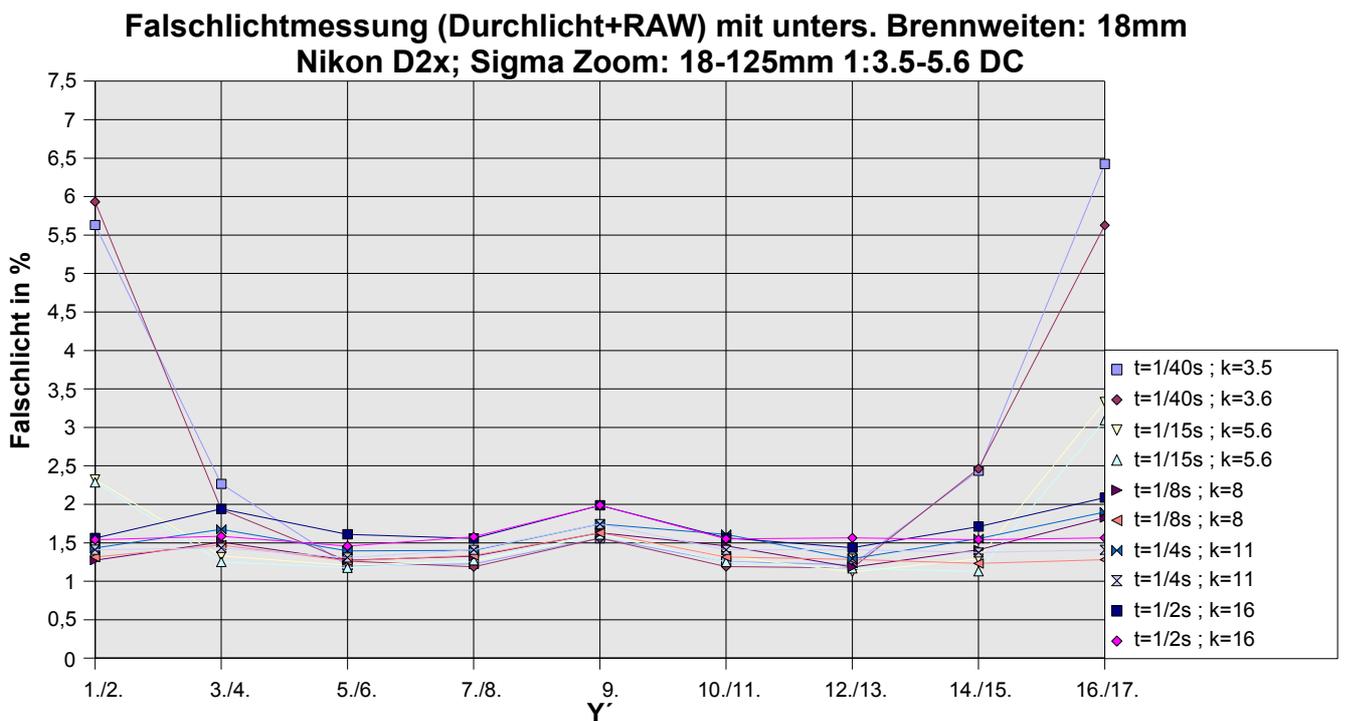
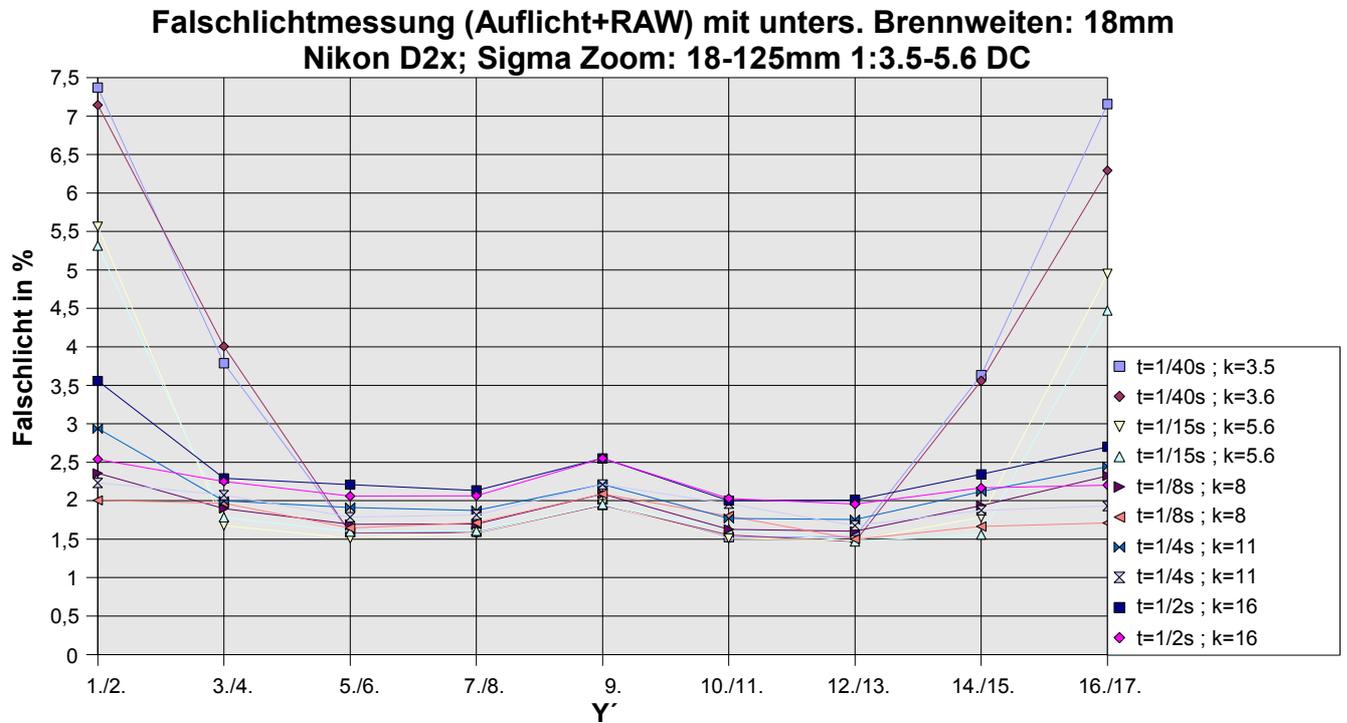
Durch verändern der „Lichtfangflächen“ im Durchlichttestchart soll eine mögliche Verschwärzlicheung der Messflächen in Abhängigkeit der Fläche geprüft werden. Dabei werden die Durchmesser von 10mm, 18mm und 26mm getestet, was auf die Fläche hin eine jeweilige Verdoppelung bedeutet. Angebracht werden die Testflächen abwechselnd in der Testchartmitte, dh. bei Bildposition 9., von der dann bei gleich bleibender Belichtung eine Aufnahme gemacht wird. Anschließend wird der Falschlichtwert nach bekannten Verfahren ausgewertet.

Das Ergebnis des Tests ist, das eine Vergrößerung der dunklen Testfläche von Durchmesser 10mm auf 18mm eine Falschlichtanteilverbesserung um 2%, von 18mm auf 26mm eine Verbesserung von 1,6% erreicht wird.

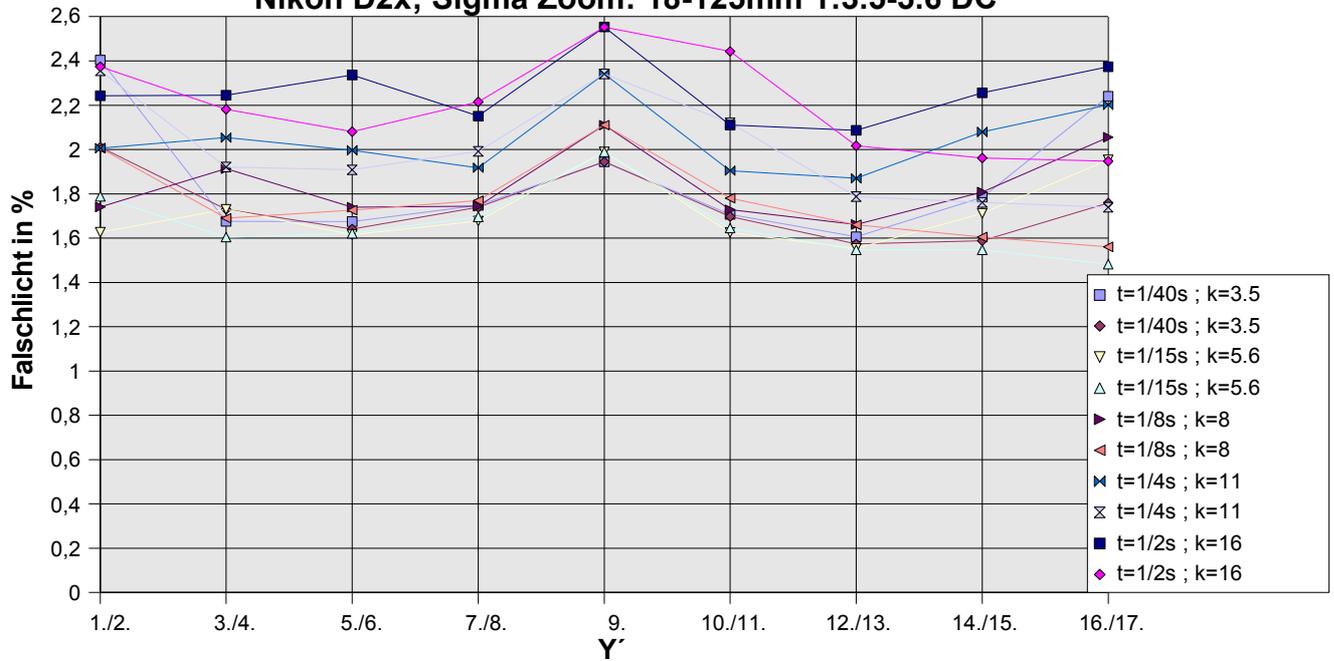
Es ist jedoch nicht bewiesen, dass die Vergrößerung der „Lichtfangflächen“ somit genauere Ausgangswerte zur Berechnung des Falschlichtsanteils erzielt werden können, denn die Vergrößerung wirkt sich als Abschattung der Linsenmitte der von der Ulbrichtkugel kommenden Ausbeleuchtung aus.

Die „Lichtfangflächen“ und die Anordnung des Durchlichttestcharts richtet sich nach der des Auflichttestchart, um vergleichbare Bedingungen zu haben. Daher wird keine Veränderung der Flächengrößen vorgenommen.

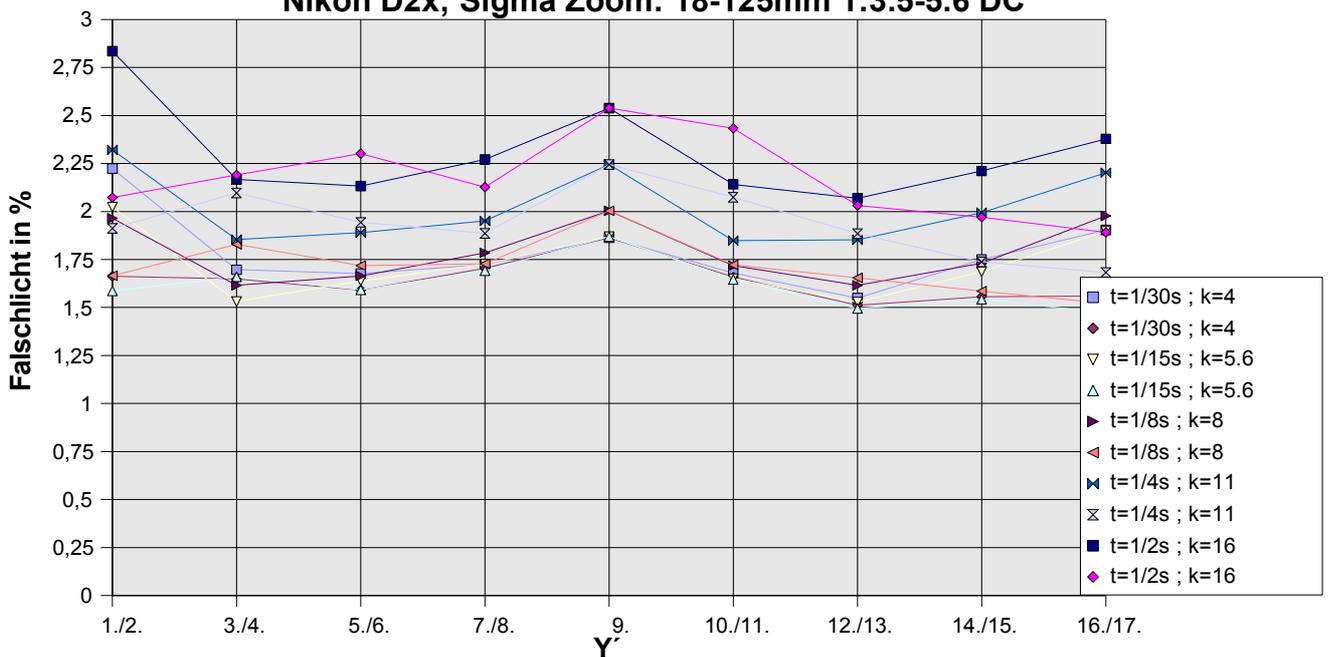
10.3 Vergleich der Ergebnisse vom Auflicht- und Durchlichtverfahren



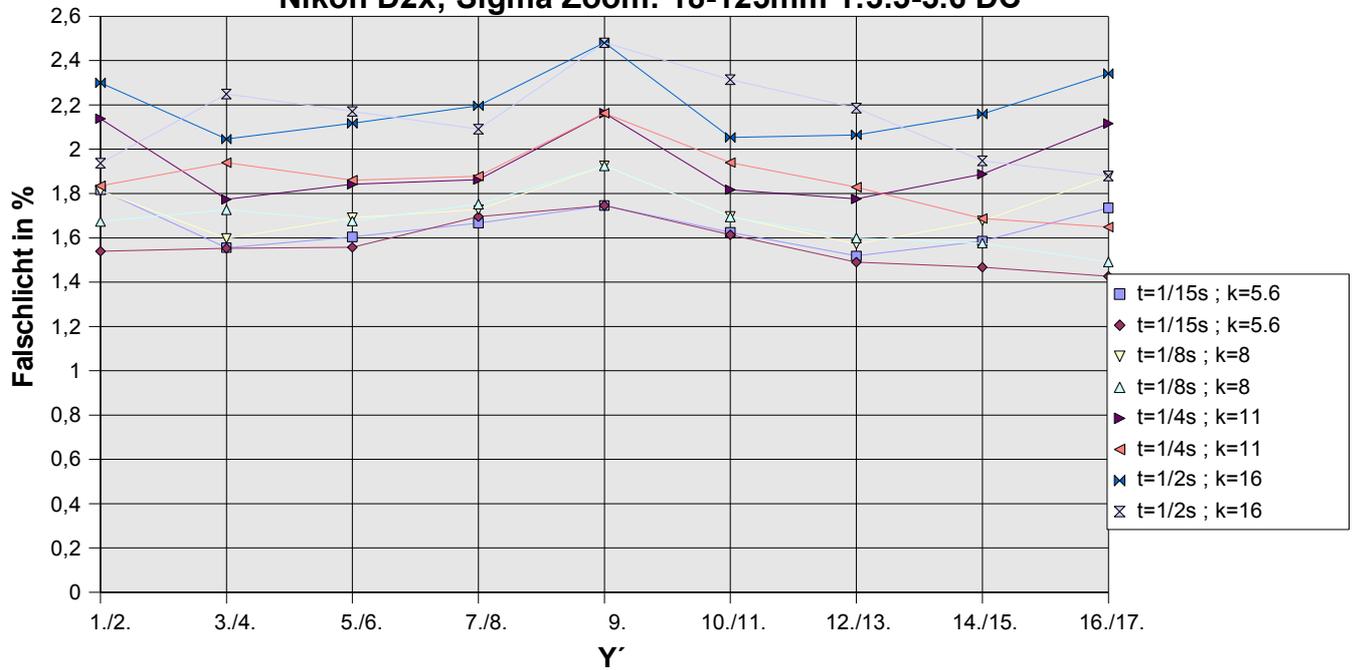
**Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 24mm
Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC**



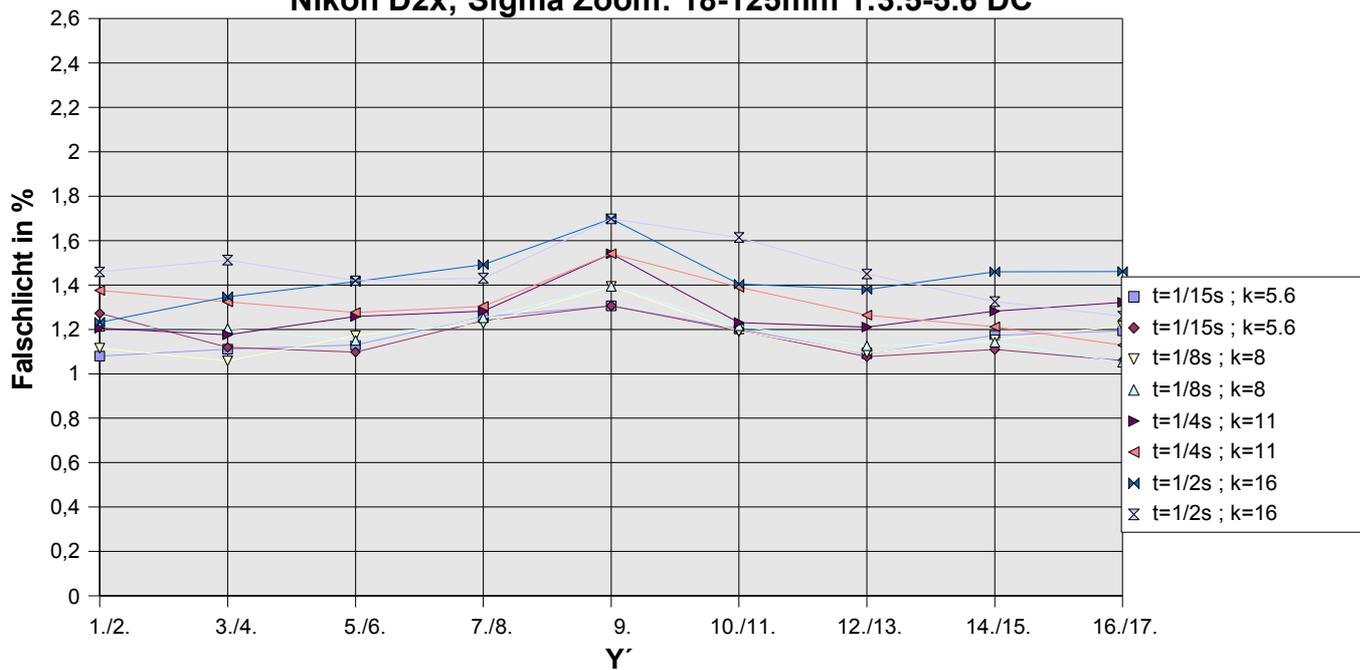
**Falschlichtmessung (Durchlicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 24mm
Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC**



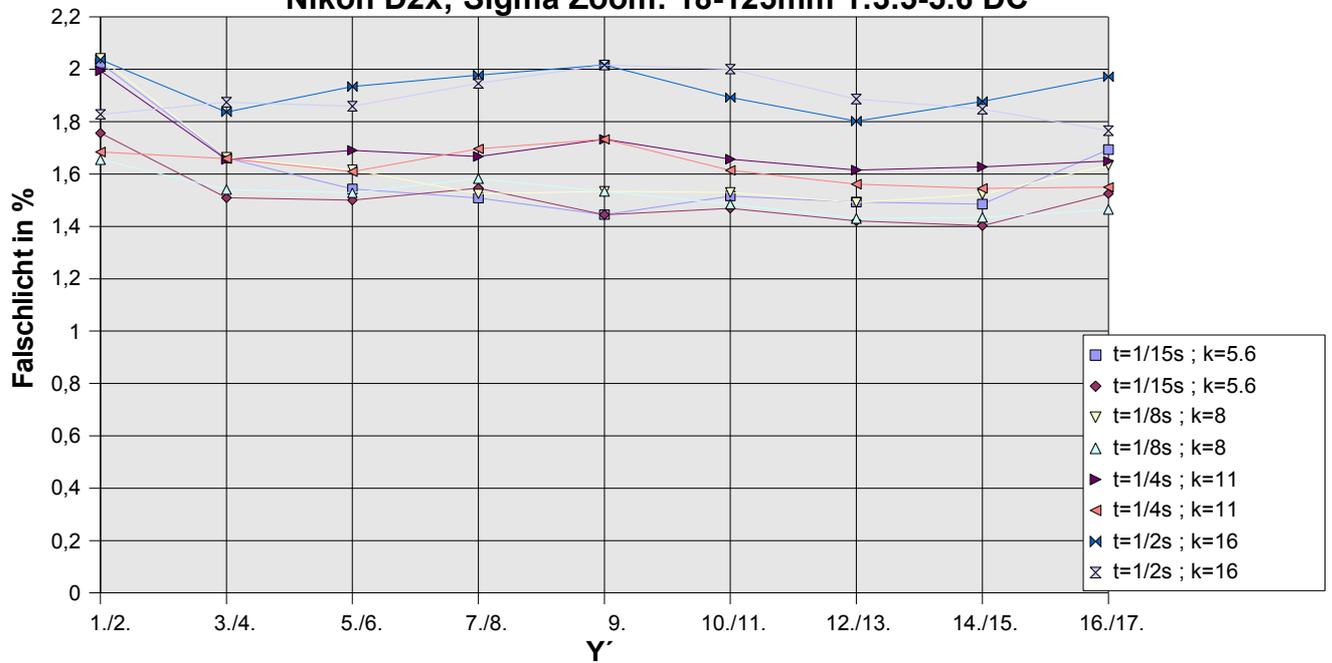
**Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 50mm
Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC**



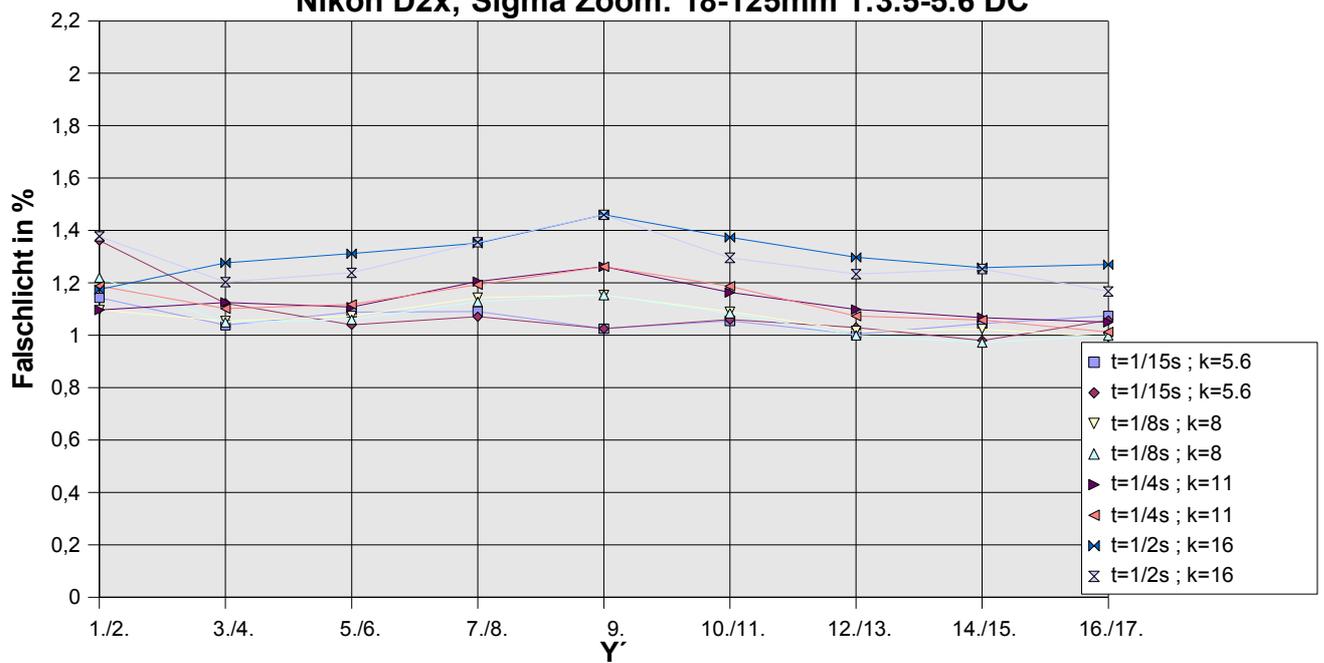
**Falschlichtmessung (Durchlicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 50mm
Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC**



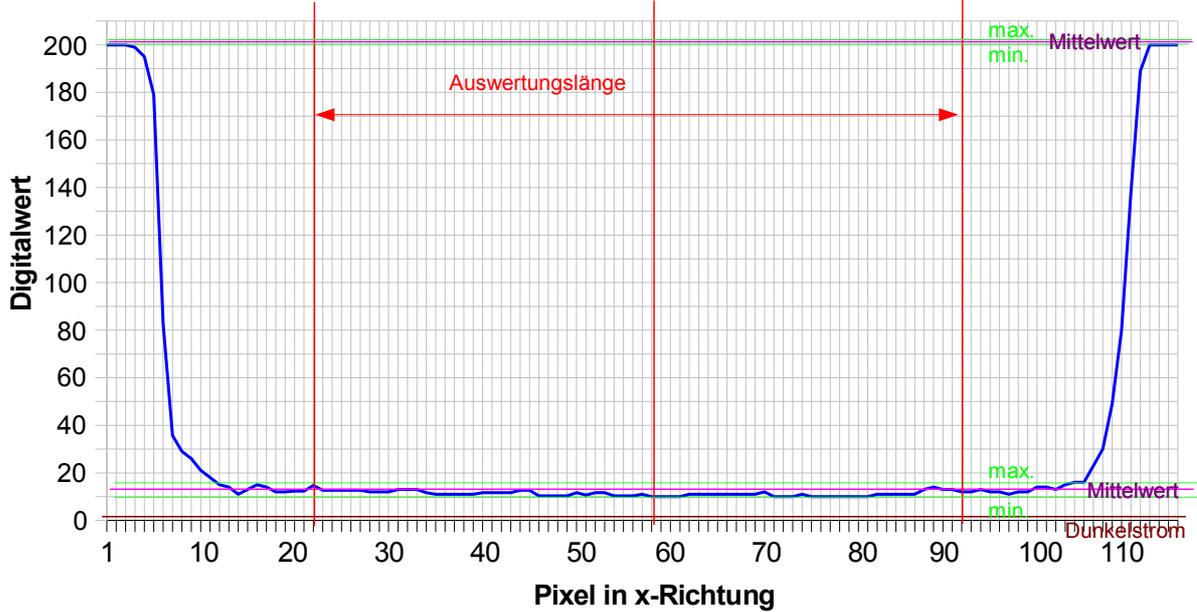
**Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit untern. Brennweiten: 125mm
Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC**



**Falschlichtmessung (Durchlicht+RAW) mit untern. Brennweiten: 125mm
Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC**



Querschnitt: Nikon D2x (Auflicht+JPEG)



Digitaler Dunkelstrom: 0,47	
min. Digitalwert Schatten: 10	min. Digitalwert Lichter: 200
max. Digitalwert Schatten: 14	max. Digitalwert Lichter: 202
Digitaler Mittelwert Schatten: 11,04	Digitaler Mittelwert Lichter: 201,8

Das Querschnittsdiagramm der D2x zeigt, dass die gemessenen Pixel im ebenen Bereich des Lichtfangs liegen. Somit ist für die Auswertung der dunkelsten Digitalwerten eine exakte Erfassung gewährleistet.

10.4 Mögliche Ursachen für die Ergebnisse

Größter Falschlichtanteil in der Bildmitte:

Gut bearbeitete Fassungen, d.h. mit schwarz matter Lackierung und gerillten Fassungsändern haben für die schräg auftreffenden Randstrahlen eine absorbierende Wirkung. Die durch Streuung, Brechung und Reflexionen entstandene Falschlichtverteilung sammelt sich somit verstärkt im achsnahen Bereich des Linsensystems.

Es zeigt sich auch, dass die Reflexe zentral um die optische Achse am stärksten abgebildet werden.

Zunahme des Falschlichtanteils beim Abblenden:

Der ermittelte Falschlichtwert ist kein absoluter, sondern ein relativer Wert. Er bezieht sich auf das Verhältnis der durch Falschlicht verursachten Aufhellung in einer schwarzen Fläche zum maximal genutzten Signal abzüglich des Dunkelstroms.

Wie in Punkt 1. allgemein festgestellt wird (mit Ausnahme bei Weitwinkelobjektive), befindet sich der größte Falschlichtanteil in der Bildmitte.

Eine Abblendung bewirkt also nichts anderes, wie das man in den prozentual höher ausfallenden Falschlichtlinsenmittebereich gelangt und der geringer ausfallende Randbereich wegfällt.

Der zunehmende Einfluss des Linsenmittebereichs bewirkt somit eine Erhöhung der prozentualen Falschlichtverteilung.

Zweitens können bei sehr kleinen Blendenöffnungen Bildbeeinträchtigungen durch Beugungseffekte an den Blendenkanten auftreten, die mit wellentheoretischen Modell der Lichtausbreitung erklärt werden.

Als Beugung bezeichnet man jede nicht durch Brechung oder Reflexion, aber auch nicht als Streuung bedingte Abweichung von der geradlinigen Ausbreitung einer Wellenbewegung. Infolge der Beugung an der Blendenumrandung entsteht kein ideales punktförmiges Bild, sondern eins von der Mitte zum Rand in seiner Intensität abnehmendes „Bildcheibchen“, das von dunklen und hellen Ringen umgeben ist. Der Durchmesser des Beugungsscheibchen ist um so größer, je kleiner die Blendenöffnung und je größer die Wellenlänge der zur benutzten Strahlung ist.

Randprobleme im Weitwinkelbereich:

Die im Weitwinkelbereich konstruierte Objektive sollen einen größeren Feldwinkel um 55° erfassen. Dies hat zur Folge, dass mehr Abbildungsstrahlen im Randbereich weit außerhalb der optischen Achse das Linsensystem durchschreiten und zur Falschlichtbildung im Bildrandbereich beitragen. Offene Blenden begünstigen diesen Effekt vor allem bei immer kürzeren Brennweiten.

Weitwinkelobjektive besitzen auch von ihrer Bauart, weil sie größere Bildwinkel erfassen müssen, größere Linsenflächen. Sie begünstigen den Anstieg von Falschlicht dadurch, dass der Anteil von schrägen fallendes Licht zunimmt, welches stärker an den Linsenflächen reflektiert wird.

Zudem wird bei der Messung des weißen Umfeldes zwar die Vignettierung berücksichtigt, sie wird aber nicht korrigiert. Deshalb wird im Bildmittebereich hellere Umgebungswerte gemessen und ausgewertet, als am Rand. Der berechnete Falschlichtwert kann aufgrund starker Vignettierung deshalb zum Rand hin ansteigen und bei ungleichmäßigen Helligkeitsabfall an den Bildrändern lokales Falschlicht verursachen.

Beurteilung des Telebereichs:

Bei Zoomobjektiv wurde festgestellt das die mittlere und vor allem die größte Brennweiteinstellung tendenziell die niedrigsten Falschlichtwerte gemessen werden, zum Vergleich zu den minimalen Brennweiten.

Beurteilung der Ablendung einer Belichtungsreihe:

Die Messergebnisse belegen eindeutig eine Zunahme des Falschlichtanteils beim Abblenden. Eine Abblendung bewirkt eine Falschlichterhöhung pro Blendenstufenverstellung von einem Faktor 1,1 im Auflichtverfahren als auch im Durchlichtverfahren, sowie in den verschiedenen anderen Dateiformaten.

10.4.1 Datei-Formate-Vergleich

RAW-Format:

Beim RAW-Format werden lediglich die Rohdaten aus dem Bildsensor gespeichert.

Die Vorteile des RAW-Formates sind darin zu sehen, dass die Aufnahmen verlustfrei gespeichert werden, dass mit 12 oder 16 Bit Farbtiefe gearbeitet wird und dass die Bildbearbeitungsschritte - Weißabgleich, Farben, Schärfe, Rauschen, Tonwertumfang, Gradation -, die bei

JPEG automatisiert in der Kamera ablaufen, nicht ausgeführt werden .

Dies sind wesentliche Vorteile für die Messung im Vergleich zum JPEG- oder TIFF-Format.

Die ausgewerteten RAW-Aufnahmen fallen deshalb durchschnittlich um 50% besser ab.

JPEG- oder TIFF-Format:

Bei der Verwendung von JPEG und TIFF-Formaten in der Kamera werden die Aufnahmen bereits intensiv bearbeitet: Weißabgleich, Schärfe, Kontrastanhebung, Rauschunterdrückung. Die Formate sind dafür geeignet, wenn keine weiteren Nachbearbeitungen vom Anwender vorgesehen sind. Dies erweist sich bei der Falschlichtmessung als Nachteil, da die Werte zur Falschlichtberechnung durch die Kontrastanhebung und Rauschunterdrückung beeinträchtigt werden.

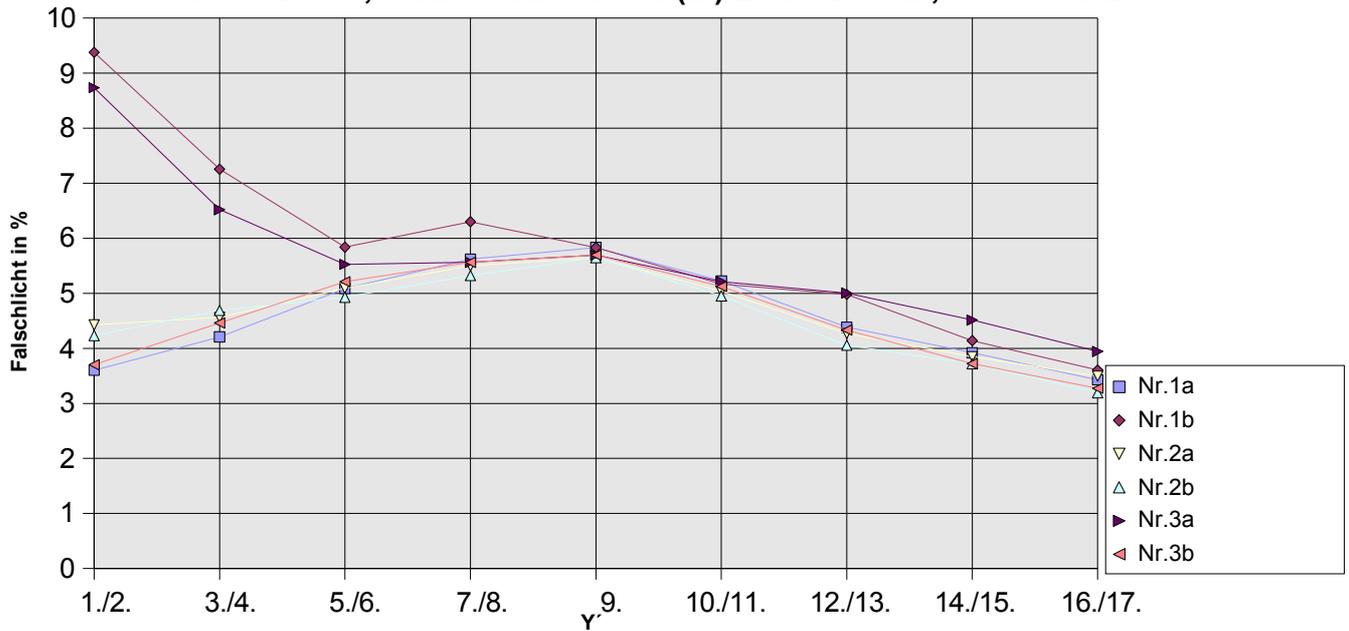
Die Ergebnisse zeigen aber zwischen diesen zwei Dateiformate keine Unterschiede, trotz größerer Farbtiefe der TIFFs. Ein Qualitätsverlust bei den JPEGs (JPEG unterstützt nur 8 Bit pro Kanal) ist nicht feststellbar, da die Luminanz (Helligkeitsinformation) nach der Kompression als Originalwert bestehen bleibt.

10.4.2 Versuchsreihe zur direkten Lichteinstrahlung mit einer dritten Lichtquelle

Es werden genau die Bildbereiche durch Falschlicht aufgehellt, die auf der Einstrahllinie der zusätzlichen Lichtquellen bis zur Projektion der Abbildung durch das optische System liegen. Je näher die Lichtquelle zu einen am Testchart befindlichen Lichtfang liegt, desto höher steigt der Falschlichtfaktor.

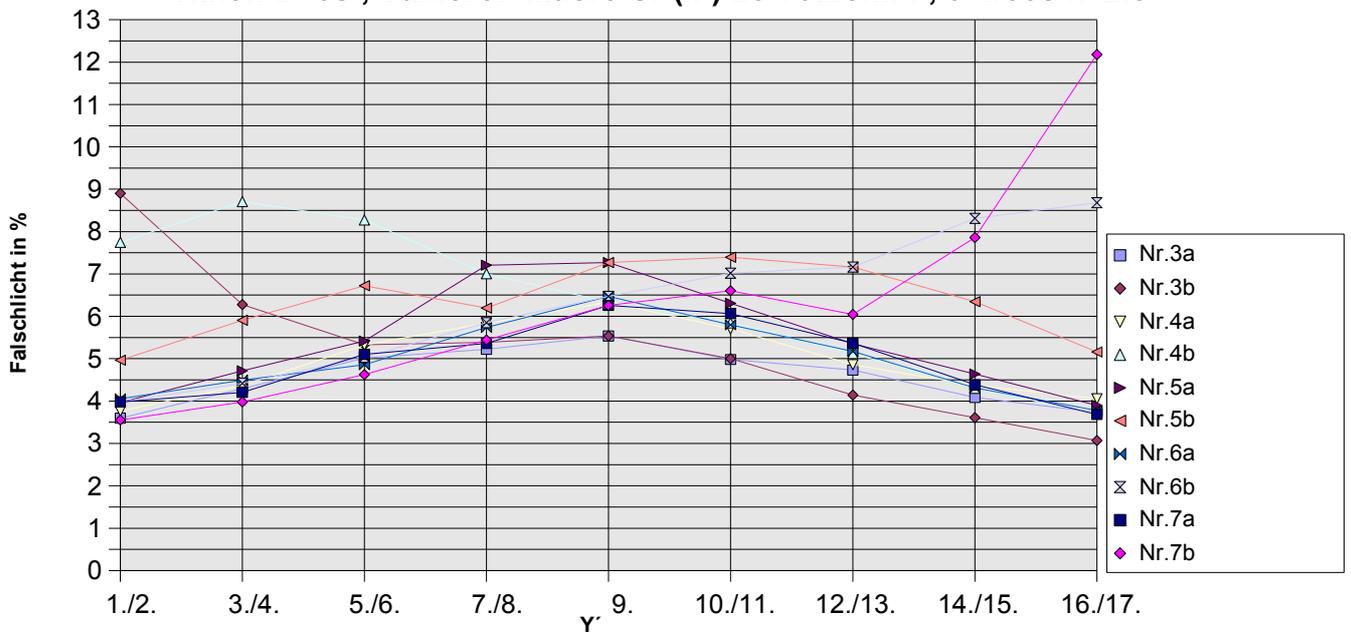
Weiter wird beobachtet, dass die auf horizontal und vertikal liegende Lichtquellenpositionen (Nr.2, 5, 8), immer in der Bildmitte den größten Falschlichtwert haben. Jedoch erwies sich hier die feste Anordnung der Lichfanglöcher diagonal durchs Testchart als unpraktisch. Um den Einfluss dieser Gegenlichtquellen zu beurteilen, sollten sich auch radial von den Lichtquellen weg befinden, d.h. auch in vertikaler und horizontaler Anordnung. Um von diesen Lampenpositionen spezifische Auswirkungen beurteilen zu können, ist es sinnvoller, die Lichfanglöcher horizontal und vertikal auf der optischen Achse anzubringen.

**Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit zusätzlicher Gegenlichtquelle Nr.1-3:
Nikon D70s ; Tameron Macro SP(IF) 28-70:28mm ; t=1/50s k=2.8**

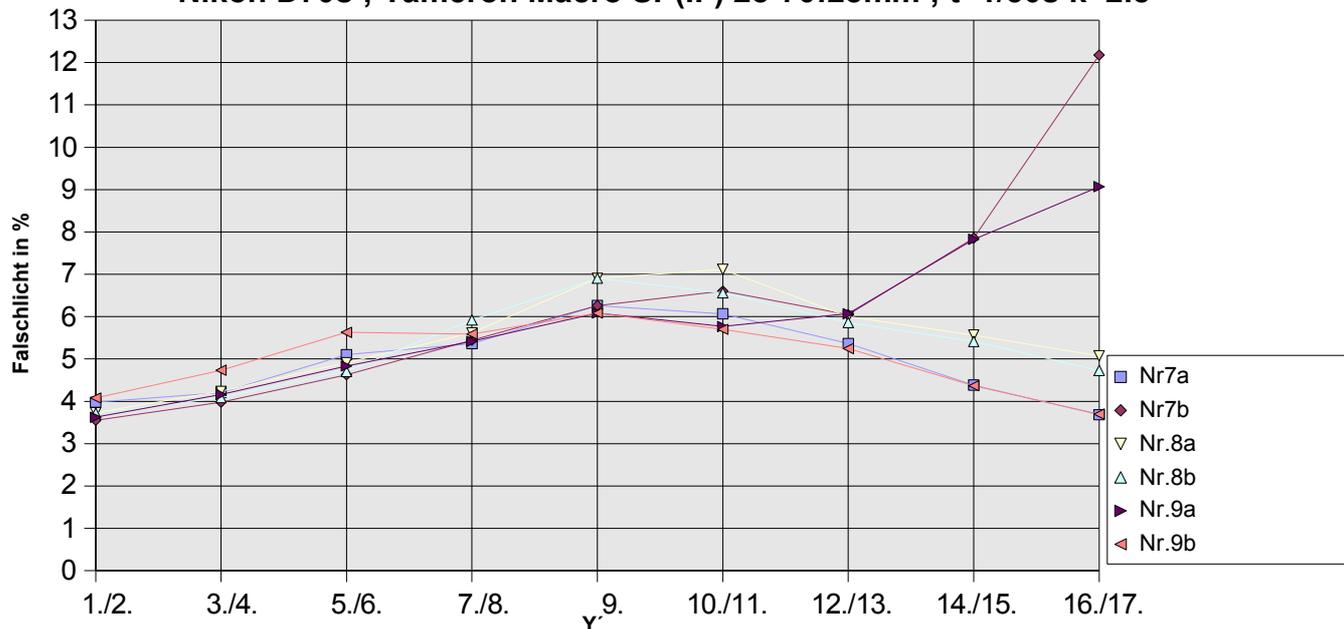


Die insgesamt höchsten ermittelten Falschlichtwerte werden von den Lichtquellenpositionen in den Ecken (Nr.1, 3, 7, 9) gemessen. Auch hier erkennt man, dass die den Lichtquellenpositionen nahe liegenden Messfelder und Diagonalen den höchsten Falschlichtwert liefern.

**Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit zusätzlicher Gegenlichtquelle Nr. 3-7:
Nikon D70s ; Tameron Macro SP(IF) 28-70:28mm ; t=1/50s k=2.8**



**Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit zusätzlicher Gegenlichtquelle Nr.7-9:
Nikon D70s ; Tameron Macro SP(IF) 28-70:28mm ; t=1/50s k=2.8**



Da sich bei einer punktförmigen Lichtquelle, dazu zählen die Halogenlampen, nach dem photometrischen Entfernungsgesetz die Beleuchtungsstärke auf der Frontlinse durch eine Abstandsänderung Lampe-Frontlinse mit $\frac{1}{r^2}$ verringert, verändern sich somit auch immer die Beleuchtungsstärke auf dem Objektiv bei den unterschiedlich benutzten Aufnahmeentfernungen. Die Aufnahmeentfernung richtet sich ja nach der verwendeten Brennweiten des Objektivs, um das Testchart formatfüllend abzubilden.

Das photometrische Entfernungsgesetz $E = \frac{I \cdot \cos(\theta)}{r^2}$ sagt aus, dass die Beleuchtungsstärke E auf einer beleuchteten Fläche mit dem Quadrat der Entfernung r der Fläche von der Lichtquelle mit der Lichtstärke I nimmt. Darin ist der Winkel α zwischen der Normalen der beleuchteten Fläche und der Einstrahlrichtung.

Um für die verschiedenen Aufnahmeentfernungen gleiche Einstrahlungsbedingungen zu erreichen, kommen zwei Lösungen in Betracht.

Erstens, die Lampenentfernung und Einfallswinkel der jeweiligen Lampenpositionen zur Frontlinse müssen für alle Aufnahmeentfernungen, bzw. Brennweiten, gleich sein. Dabei muss der Aufbau, auf dem die Lampen installiert ist, frei im Teststand bewegt werden können. So kann der Lampenaufbau, unabhängig von der Aufnahmeentfernung Kamera zum Testchart, jeweils auf die gleichen Einstrahlungsentfernung eingestellt werden.

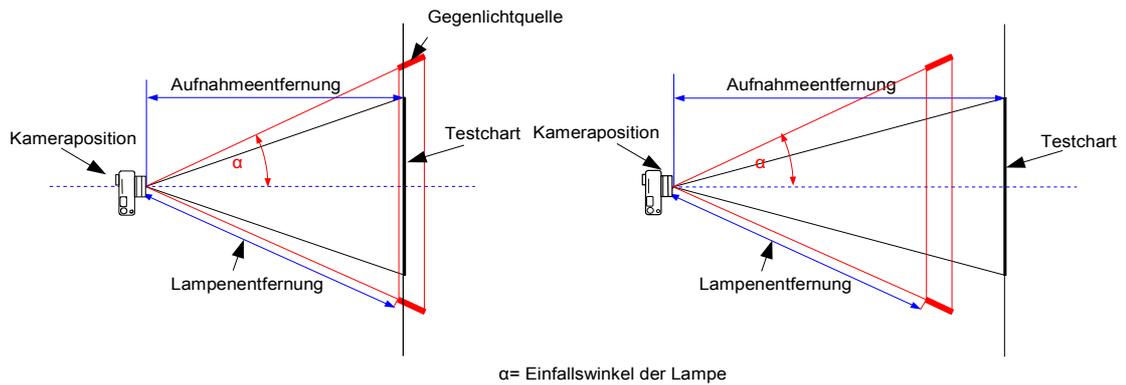


Abbildung 22: Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle.

Um gleiche Strahlungsbedingungen zu den verschiedenen Aufnahmeentfernungen zu gewährleisten, muss die Lampenentfernung und Einfallswinkel konstant bleiben. Dies erreicht man, indem man den Lampenaufbau unabhängig von Testchart mit gleichen Lampenentfernung zur Linse platzieren kann.

Zweitens, man setzt Lampen ein, deren Leistung auf die veränderte Entfernung Lampe-Frontlinse variiert werden kann. Nachteil dieser Versuchsanordnung ist, dass die Einfallswinkel auf die unterschiedlichen Aufnahmeentfernungen jedes mal neu korrigiert werden müssen, indem man den Lampenabstand zueinander verändert.

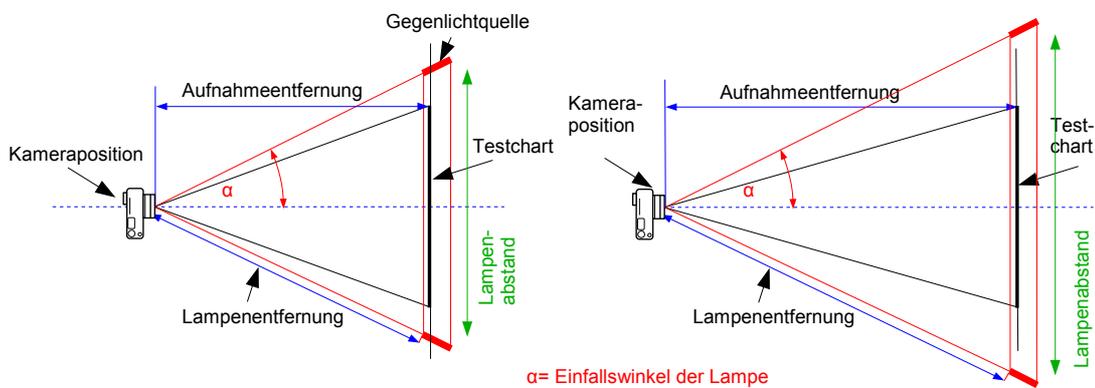


Abbildung 23: Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle.

Um gleiche Strahlungsbedingungen zu den verschiedenen Aufnahmeentfernungen zu gewährleisten, kann auch die Lampenleistung und der Gegenlichtquelleabstand zueinander auf die entsprechende neue Aufnahmeentfernung verändert werden, damit der Einfallswinkel konstant bleibt.

Beide Lösungsansätze lassen sich nur mit einem großen zeitlichen und technischen Aufwand realisieren.

10.4.3 Kamerabewertung

Digitale Kompaktkameras:

Die bei der getesteten Kompaktkamera Nikon Coolpix 8400 ermittelten Falschlichtwerte liegen in den Bereichen, die auch bei den Spiegelreflexkameras festgestellt wurden. Im Auflichtverfahren liegen die Werte zwischen 1,6-2,2% und im Durchlichtverfahren sogar zwischen 1,2-1,4%.

Digitale Spiegelreflexkameras:

Schließen bei den Tests meist recht gut ab. Der Kurvenverlauf bei den Normal- und Telebrennweiten ist eben und die Höhe des Falschlichtwertes liegt bei 1,5-2,6% im RAW-Format.

Eindeutig schlechter verhält es sich im Weitwinkelbereich, den da werden die höchsten Falschlichtwerte von bis zu 7% im Randbereich ermittelt. Hier bleibt jedoch die Frage offen, inwieweit die Vignettierung diesen Wert beeinflusst.

Handykameras:

An zwei von den drei getesteten Kameras konnte keinen verwertbaren Falschlichtwert ermittelt werden.

Die enthaltene Software zur Bildbearbeitung in diesen Handys muss die dunkelste Stelle im Bild automatisch auf einen festgelegten unteren Grenzwert von einem einheitlichen Digitalwerte von 1 drücken (automatischer Tonwertkorrektur).

Der gemessene digitale Dunkelstromwert von 5 fiel hier höher aus, als die ermittelten Werte der Lichtfanglöcher. Eventuell ist bei diesen Kameras der Dunkelstromwert von der Belichtungszeit abhängig, so dass das Dunkelbild vor jeder Belichtung mit der Belichtungszeit aufgenommen werden müsste.

Wesentliche Einflüsse für Falschlichtentstehung an Handykameras sind offensichtlich:

Viele Optiken sind in silbermetallig reflektierenden Linsenfassungen eingearbeitet, welches zusätzlich Licht völlig unkontrolliert durch das Linsensystem schicken.

Diese eingebauten silbermetallige Linsenfassungen sollten durch schwarz matt lackierte Fassungen ersetzt werden.

Ebenso wird oftmals an Schutzdeckel oder -mechanismus gespart, um so die Frontlinse vor Dreck, Kratzer und Verunreinigung zu schützen.

10.4.4 Visuelle Beurteilung der Testaufnahmen

Ausbelichtete JPEG-Testbilder zeigen keinen sichtbaren Unterschied. Auch bei den höchsten ermittelten Falschlichtwerte von 10-15% ist lediglich eine schwache Aufhellung festzustellen.

Bei den Testbilder sind jedoch, vor allem bei der Nikon D2x zum Teil große Farbstiche durch den unkorrekt arbeitenden automatischen Weißabgleich zu sehen. Wie weit dieser die Messung beeinflusst, wurde nicht weiter untersucht.

Die Coolpix 8400 hingegen liefert einen kontinuierlich guten automatischen Weißabgleich.

11 Gegenmaßnahmen

11.1 Vermeiden von Falschlicht durch Gegenlichtblende

Unterscheidung der verschiedene Gegenlichtblenden-Arten:

Einschraubbare, auswechselbare Sonnenlichtblenden; zumeist an Spiegelreflexkameras verwendeten Objektive

Der Vorteil von auswechselbaren Gegenlichtblenden ist, dass ihre Form unter Berücksichtigung des Bildwinkels und der Sensorgröße einen bestmöglichen objektseitigen Schutz vor schräg einfallende Strahlen auf die Frontlinse bieten kann.

Licht aus Bereichen außerhalb des Objektfeldes muss bereits vor dem optischen Gerät abgefangen werden. Das geschieht durch eine angepasste „Gegenlichtblende“.

Die Querschnittsform der objektseitigen Lichtröhre ändert sich z.B. bei Kameras zwischen den rechteckigen Objektfläche und der kreisförmigen Eintrittspupille. Vor dem Objektiv angebrachte „Sonnenblenden“ sind deshalb meist kreisförmig. Ihre Wirkung wird aber erhöht, wenn sie genauer an das Feld angepasst, bei Kameras also rechteckig mit abgerundeten Ecken ausgeführt werden:

Sind x' und y' die Seitenlängen des Bildformates und soll die Blende im Abstand a_{Bl} vor dem Hauptpunkt H des Objektivs mit der Brennweite f' und der kleinsten Blendenzahl k angebracht werden, so ergibt sich für die Seitenlänge x_{Bl} , y_{Bl} des Blendenausschnitts (alle Längen positiv):

$$x_{Bl} = x' \cdot \frac{a_{Bl}}{f'} + D_{EP}$$

$$y_{Bl} = y' \cdot \frac{a_{Bl}}{f'} + D_{EP}$$

mit $D_{EP} = f'/k$ als Durchmesser der Eintrittspupille. Die Ecken dieses Rechtecks sind mit dem Radius $D_{EP}/2$ zu runden (für $a_{Bl}=0$ ergibt sich dann kreisförmige Blende mit dem Durchmesser D_{EP}). Mit größeren Abstand vom Objektiv kann die Blende immer mehr der Rechteckform des Objektfeldes angepasst werden und schaltet somit Streulicht wirksam aus.

[2 S.274]

Flache, fest integrierte Gegenlichtblenden; meistens an Kompaktkameras

Haben die gleiche Funktion wie die vorstehende Sonnenlichtblende, verhindert aber bei weiten nicht so effektiv das seitlich einfallende Licht. Meistens sitzen sie mit geringem Abstand vor der ersten Linsenfläche und haben eine rechteckige Form, die lediglich die Fläche freilässt, die das Nutzlicht beim Durchgang durch die Optik den Sensor belichtet.

Maskenblende am Ende des bildseitigen optischen Systems; zumeist an teureren Teleobjektive

Begrenzt am Ausgang des optischen Systems eines Objektivs die Strahlengangsfläche, die nur zur Belichtung der Sensorfläche im Kameragehäuse führt. Die Maskenblende ist auf das Bildverhältnis und -größe des Sensors angepasst. Somit wird das umher vagabundierende Licht im Gehäuse selbst abgeschattet.

Kompendium

Bei Zoomobjektiven ist so ein wirkungsvoller Schutz nur sehr eingeschränkt möglich, da die Gegenlichtblende bei weitwinkliger Einstellung stören würde. Sinnvoll ist der Einsatz eines Kompendiums. Ein Kompendium kann Kameraobjektiv durch seinen faltbaren und ausziehbaren Balgen auf den variablen Feldwinkel einer Optik angepasst werden.

11.2 Vermeiden von Nebenlicht durch Vergütung

Das Nebenlicht, das durch Einfach- und Doppelreflexe in die Bildebene gelangen kann, kann durch entsprechende Vergütungen so gering wie möglich gehalten werden. Die Beschichtung von Linsenoberflächen verbessert daher wesentlich den Transmissionsgrad des Objektivs und somit den Bildkontrast. Entspiegelte Optiken sind zudem um ein vielfaches lichtstärker als vergleichbare, nicht entspiegelte Systeme.

In der Fertigung werden so genannte Einzelschichten und Mehrschichten (Mehrschichtvergütung, Multicoating) eingesetzt, die unterschiedliche charakteristische Eigenschaften in ihrer Reflexminderung zeigen. Einzelschichten erreichen nur für eine einzige Wellenlänge ein Reflexionsminimum, Mehrschichten dagegen zeigen dagegen eine sehr ausgeglichene Reflexminimierung über einen ausgedehnten Spektralbereich. Deren Herstellung ist wesentlich aufwendiger und kostenintensiver, da sie aus verschiedenen Schichten mit unterschiedli-

chem Brechindex und Schichtdicken bestehen. So werden Transmission im Bereich von bis zu 99,7% erreicht.

Die Antireflexionsschichten aus Magnesiumfluorid oder aus anderen Leichtmetallfluoriden werden auf die Linsenoberfläche im Hochvakuum aufgedampft. Die Dicke der Schicht muss genau ein Viertel der Wellenlänge des Lichtes messen, dessen Reflexion ausgeschaltet werden soll. Mit einer Vergütungsschicht kann nämlich nur die Reflexion einer bestimmten Wellenlänge durch Interferenz ausgeschaltet werden. Daher wird für die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes je eine darauf abgestimmte Schicht aufgedampft.

Solche Schichtsysteme stellen aber immer einen Kompromiss zwischen Wellenlängenbereich, Einfallstrichtung und Polarisation dar.

11.3 Vermeiden von Fassungslicht durch spezielle Oberflächenbeschaffenheit

Zur Reflex- und Streulichtminderung an Fassungsrändern werden in der Fertigung spezielle mattschwarze Lacke und besondere Riffen- und Rillenstrukturen eingesetzt. Die möglichst tief und eng zu gestalteten Riefen vermindern vor allem den ihr vorliegenden streifenden Lichteinfall und den daraus resultierenden hohen Reflexionsgrad (bei mattschwarzen Flächen ist der Reflexionsgrad bei großen Einfallswinkel höher als beim Lichteinfall senkrecht zur Flächenebene).

11.4 Vermeiden von Streulicht durch Verbesserung der Mikrorauigkeit

Die Mikrostreueung wird durch die vorhandene Mikrorauigkeit der Oberflächen hervorgerufen, wobei Oberflächenschwankungen je nach Polierprozess im Bereich von 1-10 Nanometer liegen können, d.h. sehr viel kleiner als die Wellenlängen im sichtbaren Bereich. Daher kann man optische Oberflächen auch als glatt bezeichnen.

Objektive wirken weniger durch ihre Volumenstreuung (Glasbläschen, Inhomogenität), sondern vielmehr durch die Oberflächenbeschaffenheit streulichtfördernd. Grund dafür ist, dass an nachträglichen Beschichtungen des transparenten Glassubstrats mit dünnen dielektrischen Mehrfachschichten reine Oberflächenstreuung hervorgerufen wird.

Die Ausbildung der Rauigkeit ist abhängig von den Bearbeitungsverfahren, den Materialeigenschaften und den Umwelteinflüssen. So nähert eine hochwertige Politur die Funktionsfläche von Gläsern einer idealen Glätte. Dadurch verringert sich das Streulichtniveau mit abneh-

mender Mikrorauigkeit, die Oberflächen werden unsichtbar und die Transmission wird erhöht. Auch die Bildhelligkeit wird dadurch gesteigert.

Die Höhe des resultierenden Streulichtniveaus ergibt sich aus der Anzahl der streuenden Einzelflächen, wobei die resultierende Gesamtstreulichtintensität der Linsenkombination hauptsächlich durch die rauheste Oberfläche im System bestimmt wird, welches es zu verbessern gilt.

[6]

Im allgemeinen hat Streulicht im niedrigen Spektralbereich einen größeren Anteil am Gesamtfalschlichtanteil als im höheren, weil es auf Grund der Dispersion höheren Brechzahlunterschied ausgesetzt ist. Daher sind die Reflexionseinflüsse auch höher.

Da das Streulicht auf der Linsenoberflächen eine nach allen Richtungen hin gleichmäßige Streulichtverteilung aufweist, somit auch eine gleichmäßig verteilte Gesamtbildaufhellung bewirkt, ist eine Kontrastkorrektur durch entsprechende Bildnachbearbeitung einfacher auszugleichen, wie die lokal auftretenden Reflexionsaufhellungen.

11.5 Verbesserung der Kamera:

Eine mögliche Verbesserung zur Falschlichtbehebung ist eine Streulichtmessung direkt mit der Kamera vorzunehmen und anschließenden Korrektur. Dabei müsste die aufgehellten dunkle Bildbereiche und der Dunkelstrom gemessen werden, was anschließend über ein Abziehen des Falschlichtanteils von den digitalen Werten korrigiert wird.

Weiter könnten besser vergütete Oberflächen der Sensorlinsen und der letzten Linsenfläche eine Falschlichtentstehung durch Mehrfachreflexionen gemindert werden.

12 **Fazit**

Die durch das Messverfahren ermittelten Messergebnisse lassen keine exakten Angaben zur Höhe des Einflusses der einzelnen Falschlichtarten zu. Es kann lediglich ihre Gesamtwirkung im Bild beurteilt werden.

Beide Messverfahren erweist sich für die Ermittlung des globalen Falschlichts als gut.

Zur Erfassung des lokalen Falschlichts ist es nur bedingt geeignet, da Messungen nur an den festen Lichtfangflächen vorgenommen werden und die somit die Bildpositionen bestimmen.

Um dieses genauer Beurteilen zu können, sind freie im Teststand bewegliche Lichtfangkörper erforderlich.

Bei den ausbelichteten JPEGs wurde visuell im Vergleich zu deren Dunkelstrombilder kein Einfluss der Falschlichtwerte festgestellt. Auch die größten gemessenen Falschlichtwerte von 12% bei den Testreihen sind nur minimal ersichtliche Helligkeitsunterschiede. Die bei dem Messverfahren entstandenen Falschlichtwerte sind deshalb von messtechnischem Interesse, haben aber keine visuelle Auswirkung.

Weiter hat sich gezeigt, dass sich die genauesten Aussagen über die optische Qualität eines abbildenden Systems bei Auswertung der Bilder im RAW-Format treffen lassen. Da hier die kamerainterne Bildnachbearbeitung weitestgehend ausgeschlossen ist und keine Kontrastveränderung vorgenommen werden, liegen alle ermittelten Werte, die für die Falschlichtberechnung wichtig sind, im linearen Gamma-Bereich. Dies ist vor allem für die genaue Ermittlung der Digitalwerte in den Lichtfanglöchern wichtig.

Die Auswertung der JPEG- und TIFF-Bilder ist soweit von Interesse, da die meisten Konsumenten genau diese Formate für ihre Aufnahmen wählen. Die dort ermittelten Falschlichtwerte sollten jedoch als „gesamter digitaler Tonwertverlust“ interpretiert werden und nicht als Maß zur Beurteilung von Falschlicht.

Um für die Messung aussagekräftige Falschlichtwert zu ermitteln, benötigt man Aufnahme mit optimalen (maximalen) Bildkontrast.

Grundvoraussetzung für eine genaue Messung ist deshalb ein korrekt belichtete Testaufnahme. Die Versuchsdurchführung ist daher auf die Kameras eingeschränkt, die dieses gewähr-

leisten.

Zudem können Kameras nicht geprüft werden, deren Bildverarbeitung die minimalen Digitalwerte in den Lichtfangflächen auf einen einheitlichen Wert setzt.

Dazu zählen die 2 getesteten Handykameras.

Bei den meisten getesteten Kameras sind Gradations-Korrekturen nicht abschaltbar und sind deshalb als Messinstrument für die Falschlichtmessung nicht verwendbar.

Weiter sollten zur Auswertung mehrere Testaufnahmen hinzugezogen werden, um letztendlich durch ein Mittelwertbildung mögliche statistische Fehler auszuschließen.

Um den Helligkeitsabfall durch Vignettierung bei der Auswertung mit zu berücksichtigen, sollte dieser bei der Ermittlung der Ausgangswerte mit ein berechnet werden. Als Referenzwert dient hier die Helligkeit des weißen Umfelds in der Bildmitte.

Um in Zukunft reproduzierbare, nur auf optische Abbildungsgüte ausgerichtete einheitliche Messungen zum Falschlichtwert vorzunehmen, sollte für Wechselobjektive ein einziges universell einsetzbares Kameragehäuse verwendet werden. Dieses Gehäuse bräuchte ein flexibles Bajonett, so dass alle Objektive angebracht werden könnten und vor allem einen wissenschaftlichen CCD-Sensor, der eine lineare Gamma-Kurve über den vollen Dynamikbereich des Bildes benutzt.

13 Schlusswort

Das neu entwickelte Testverfahren kann als Erstversuch angesehen werden.

Genaue Aussagen über das Falschlichtverhalten bei mehrlinsigen Objektiv (Zoomobjektiven) im Gegensatz zu Objektivbautypen mit weniger Linsen (Festbrennweiten) müssen gezielt geprüft werden und konnte nicht eindeutig geklärt werden.

So könnten auch weitere Untersuchungen das Reflexionsverhalten der Mikrolinsen einer CCD- und einer CMOS-Sensorkamera mit demselben Objektivtyp verglichen werden.

14 Glossar

Belichtungsmessung

Mit der Belichtungsmessung wird festgestellt, welche Lichtmenge auf den Film beziehungsweise Chip fallen darf, um das Motiv korrekt - oder wie gewünscht - wiederzugeben. Das Ergebnis der Belichtungsmessung wird in Form einer Blendenöffnungs- und Zeitkombination weitergegeben.

Bildumfang

Der Bildumfang gibt an, wie viel der 256 Helligkeitsstufen die Kamera wirklich umsetzt. Die Werte werden in Digitalwerten angegeben, optimal sind für die Umsetzung alle 256 Stufen, bei weniger als 245 Stufen verschenkt die Kamera wertvollen Dynamik-Spielraum.

Blende:

Die Blende ist eine mechanische Vorrichtung in der Kamera, die die Menge des einfallenden Lichts steuert. Sie besteht bei fast allen Kameras aus mehreren Lamellen, die eine verstellbare Kreisöffnung ergeben. Die Größe der Blendenöffnung wird mittels der so genannten Blendenzahl angegeben, wobei jede Blendenstufe eine Verdoppelung/Halbierung der Lichtmenge bedeutet, die auf den CCD-Sensor fällt.

Brennweite:

Als Brennweite wird die Entfernung von der Linse bis zu dem Punkt genannt, in dem parallel einfallendes Licht sich bündelt.

Jede Linse besitzt eine spezifische Entfernung, in der dieser Effekt auftritt. Für die Fotografie ist diese Brennweiten-Angabe wichtig, weil sich daraus Rückschlüsse auf die Abbildungsgröße des Bildes ziehen lassen. Je "länger" die Brennweite, desto größer wird auch das Foto auf dem Film oder CCD-Chip der Digitalkamera abgebildet (Tele). Kürzere Brennweiten sorgen dagegen für den so genannten Weitwinkel-Effekt, weil der Bildwinkel der Aufnahme bei gleichem Aufnahmeabstand viel größer ist.

Objektive, die eine verstellbare Brennweite besitzen, werden als Zoomobjektive bezeichnet.

Chrominanz

Die Chrominanz [englisch: Chrominance] ist ein Farbsignal, das die Informationen über Farbsättigung und Farbton, also wie die Farbe exakt wiederzugeben ist. Dieses Signal kann auch

einzelne Pixelwerte bestimmen, was für die digitale Fotografie wichtig ist.

Die Farben einer Aufnahme werden vom Chip der Kamera als eine Mischung aus Rot, Grün und Blau (RGB) wahrgenommen. Zur Speicherung und Weitergabe aber werden sie in einem anderen Farbraum beschrieben, der das Kürzel YCbCr trägt.

Die Komponenten Chrominanz Blau und Chrominanz Rot reichen aus, um die Farbe zu bestimmen.

Insbesondere das Bildformat JPEG benutzt das Modell zur Speicherung, seltener das Format TIFF. Die Eigenschaften der Chrominanz helfen bei der starken Komprimierung eines JPEGs.

chromatische Aberration:

Weißes Licht setzt sich aus vielen Farben unterschiedlicher Wellenlängen zusammen, die wiederum unterschiedlich stark gebrochen werden. Kurze Wellenlängen z.B. werden stärker gebrochen als lange. Daher treffen sich diese Lichtstrahlen nicht in einem gemeinsamen Brennpunkt. Im Bild äußert sich die chromatische Aberration durch Farbsäume um die Bildpunkte, die dadurch vergrößert werden. Dieser Effekt kann gerade bei starker Vergrößerung auf der optischen Achse oder in den Randbereichen auftreten.

Digitale Kamera:

Ein abbildendes System zur Aufnahme dreidimensionaler Objekte mittels eines elektrischen Sensors. Das Ergebnis ist eine Datei mit entsprechenden Bilddatei.

Dunkelrauschen/-strom:

Dunkelrauschen (engl: dark current) ist ein unerwünschter Effekt von lichtempfindlichen Sensorelementen bei den Ladungen im unbelichteten Zustand entsteht und den dunkelsten Tonwert erhöht.

Der Dunkelstrom wird hauptsächlich von der Temperatur bestimmt und verdoppelt sich alle 7°, die sich der Sensor erwärmt. Diese sind zum Einen die Umgebungstemperatur und zum Anderen die Wärmeentwicklung der Kamera während des Betriebs. Die einzelnen Pixel reagieren dabei unterschiedlich stark auf die Temperatureinflüsse, so dass sich gerade bei Bildern mit geringem Kontrast und langer Belichtungszeit ein Rauschen, auf den Aufnahmen bemerkbar macht.

Verringern lässt sich das Dunkelrauschen durch Kühlung des CCD-Chips.

Um Dunkelrauschen in dunklen Bereichen zu bereinigen, werden bei manche Kameras einzel-

ner Hersteller zusätzlich zur Aufnahme eine Dunkelstromaufnahme gemacht. Diese Bilder werden anschließend in der kamerainternen Bildbearbeitung miteinander verrechnet.

[17] (28.04.06)

Dynamikumfang:

Der maximale Tonwertumfang (von der hellsten bis zur den dunkelsten Tonwerten) den ein Aufnahmemedium erfassen kann.

Feldwinkel:

Ein Unterscheidungsmerkmal für die Einteilung der Fotoobjektive ist der Feldwinkel, der noch mit ausreichend geringer Abbildungsfehlern durch das Objektiv erfasst wird. Für den ausgenutzten Feldwinkel ω bei der Abbildung entfernter Objekte ergibt sich

$$\tan(\omega) = \frac{|y'|}{f}$$

wenn mit $|y'|$ die halbe Diagonale des Bildformates bezeichnet wird.

Gemäß DIN 19040, Blatt 3, kann man deshalb fotografische Objektive nach dem Feldwinkel in folgender Weise grob einstufen:

Fernobjektiv, Teleobjektiv	$\omega < 20^\circ$
Objektiv mit langer Brennweite	$20^\circ < 2 \omega < 40^\circ$
Normalobjektiv	$40^\circ < 2 \omega < 55^\circ$
Weitwinkelobjektiv	$55^\circ < 2 \omega$

Die Beurteilung eines Fotoobjektivs kann also nur zusammen mit dem Bildformat erfolgen

Farbtiefe:

Die Farbtiefe beschreibt die binären Stufen und damit die Farbtöne, in die ein Spannungsbereich bei der Analog-Digital-Wandlung aufgeteilt wird.

Festbrennweite:

Objektiv mit unveränderlicher Brennweite. Der Vorteil liegt heute kaum noch in der besseren Abbildungsqualität, sondern in der wesentlich kürzeren Bauart und in der höheren Lichtstärke im Vergleich zum Zoomobjektiv.

Gamma:

Das Gamma beschreibt eine Eigenschaft der mathematischen Funktion, mit der ein Dichteumfang einer Vorlage in den Tonwertumfang eines Bildes überführt wird.

Der Umfang dieser Änderung wird durch einen als Gamma bezeichneten Wert bestimmt. Ein Gamma-Wert von 1 bedeutet keine Änderung des Kontrastes. Ein Gamma unter 1 entspricht eine Verringerung des Kontrastes, ein Gamma über 1 einer Verstärkung.

Graukarte:

Mit einer Graukarte lässt sich die Bildbelichtung selbst unter schwierigen Bedingungen zuverlässig messen. Die Karte ist mit demselben neutralen Grau bedruckt, auf das ein Belichtungsmesser geeicht ist. Physikalisch exakt ausgedrückt hat sie einen Dichtewert von $0,75 \log D$, was einer Remission von 17,68 Prozent entspricht. Dies heißt, dass die Graukarte 17,68 Prozent des auftreffenden Lichtes wieder zurückwirft.

Histogramm:

Das Histogramm gibt die Verteilung der Pixel eines Bildes über den Tonwertumfang eines 8-Bit-Graustufenbildes an. Daran lässt sich ablesen, ob das Bild einen genügenden Tonwertumfang besitzt.

Das Histogramm eines 8-Bit-Graustufenbildes enthält 256 vertikale Balken, die jeweils einen bestimmten Grauwert repräsentieren. Die Balkenhöhe ist proportional zu der Anzahl von Pixel pro Graustufe.

In RGB- oder CMYK-Bildern zeigt das Bild die Gesamthelligkeit an, aber es kann auch separate Histogramme für jeden Farbkanal zeigen.

sphärische Aberration:

Dieser Öffnungsfehler tritt zu einem gewissen Grad bei allen optischen Systemen auf, die sich aus sphärischen Linsen zusammensetzen.

Die Randstrahlen treffen vor den achsnahen Lichtstrahlen auf den Brennpunkt. Ein Effekt der besonders häufig bei hochlichtstarken Objektiven anzutreffen ist. Das Bild wirkt insgesamt kontrastarm und weich, da sich dieser Randfehler über das gesamte Bild, also von der Mitte zum Rand hin, auswirkt. Für Abhilfe kann eine Kombination aus verschiedenen Linsensystemen sorgen, jedoch bleiben bei voller Öffnung noch Randfehler, die sich nur mit speziellen asphärischen Linsen beheben lassen.

Kontrast:

Der Kontrast beschreibt die Abstufung der Tonwerte zwischen Lichtern, Mitteltönen und Schatten im Bild.

Linearität:

Eigenschaft, Bildsignale durch ein abbildendes System zu erzeugen, die proportional zu den

Eingangssignal sind.

Linearer Bereich:

Bereich von Eingangssignalen, innerhalb dessen das abbildende System Linearität aufweist.

Luminanz:

Die Luminanz [englisch: Luminance] ist eines der beiden Signale, mit denen ein Bild hergestellt wird. Die Luminanz definiert Helligkeitsabstufungen. In der Regel sind dies bei einem 8-Bit Bild 256 Schattierungen von Schwarz nach Weiß.

Die Luminanzberechnung ist aus der Gewichtung der digitalen Ausgabewerte der drei Farbkanaäle definiert:

$$Y = 0,2125 R + 0,7154 G + 0,0721 B$$

OECE:

Die Eigenschaft einer Digitalkamera unterschiedliche Helligkeiten im Aufnahmemotiv in digitale Werte umzusetzen, wird durch die so genannte "opto electronic conversion function", kurz OECE, beschrieben. Mit Hilfe des Signal-Rausch-Verhältnisses kann daraus von der Kamera darstellbare Kontrastumfang ermittelt werden.

Vignettierung:

Die Vignettierung ist eine im Bild mehr oder weniger sichtbare Abschattung und kann einen natürlichen oder künstlichen Ursprung haben.

Die natürliche Vignettierung ist durch optische Abbildungsgesetze bedingt und bewirkt einen Helligkeitsabfall zum Bildrand hin, der mit der vierten Potenz des Kosinus des Feldwinkels ω zunimmt (*cos⁴ ω -Gesetz*).

Liegt ein Gegenstandsdetail A_1 seitlich der optischen Achse und erscheint unter dem Winkel ω , so ist die Fläche A_1 ebenso wie die Blendenfläche (Eintrittspupille) nur mit ihrer Projektion wirksam. Außerdem wird die Entfernung zwischen A_1 und EP größer. Insgesamt bewirkt diese Einflüsse, dass die Beleuchtungsstärke entsprechend

$$E(\omega) = E \cdot \cos^4(\omega)$$

mit $E(\omega)$ = Beleuchtungsstärke unter dem Feldwinkel ω und E = Beleuchtungsstärke auf der Achse, abnimmt.

Die künstliche Vignettierung wird hervorgerufen durch die Beschneidung des Strahlengangs an den Fassungsändern und ist in der Regel größer als die natürlich.

Ist A_ω die bei dem Feldwinkel ω wirksame, A_0 die bei $\omega=0$ wirksame Pupillenflä-

che, so beschreibt der Quotient aus beiden Flächen die Wirkung der Vignettierung, und für die Beleuchtungsstärke ergibt sich damit insgesamt

$$E(\omega) = E \frac{A_\omega}{A_0} \cdot \cos^4(\omega)$$

15 Literaturverzeichnis

- [1] DIN 58 186 : Qualitätsbeurteilung optischer Systeme, Bestimmung des Falschlichts, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Oktober 1982
- [2] Beuthhauser,Roland“Ein System für die elektronische Fotografie mit hoher Auflösung“
- [3] Naumann,H/Schröder G:“Bauelemente der Optik“,6.Auflage,Carl Hanser Verlag München Wien,1992
- [4] Schröder,G/Treiber,H.:“Technische Optik“9.Auflage,Vogel-Verlag Würzburg,2002
- [5] Schröder,G.:“Technische Fotografie“1.Auflage,Vogel-Verlag Würzburg,2002
- [6] Knoblich,Johannes:“Störlicht in optischen Systemen und seinen Einfluss auf die Abbildungsgüte, Dissertation, FSU Jena, 1990
- [7] Schröder,G/Treiber,H.:“Technische Optik“9.Auflage,Vogel-Verlag Würzburg,2002
- [8] <http://www.prophoto-online.de/digitalphotographie/kamerateests-bildqualitaet-schaerfe-aufloesung-kontrast.html> (1.09.06)
- [9] <http://www.stoske.de/digicam/Artikel/ccd.html> (13.08.06)
- [10] http://www.digitalkamera.de/Software/FDRTools_1.6_und_FDRCCompressor_Plugin_2.2_3440.asp (15.08.06)
- [11] Nikon_Kolleg Lehrbrief 5 / Stufe 1, 2005
- [12] DIN 4522 Teil7 : Aufnahmeobjektive, Kennzeichnung der Abbildungseigenschaften photographischer Objektive, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., April 1991
- [13] Truckenbrodt,H.:“Mikrogeometrie optischer Flächen“,DgaO-Seminar Angewandte Optik zur OPTATEC,1992
- [14] Jost J.Marchesi“Handbuch der Fotografie;Band 1“Verlag-Photographie1.Auflage ,1993
- [15] ISO/FDIS 14739 : Photography-Electronic Still Picture imaging-Noise measurement;2002
- [16] DIN 4522 Teil7 : Aufnahmeobjektive, Kennzeichnung der Abbildungseigenschaften photographischer Objektive, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., April 1991

16 Anhang

16.1 Das Auswertungsprogramm

I.Streu.exe

```
function varargout = streu(varargin);

% distfactor: Abstand schwarzes Feld zu weißem Vergleichsfeld (ca. 4-5)
% samplesize: Größe des Feldes in % der Bildhöhe (ca. 2)
% tresh % Schwellwert für Detektion ca. 40

% Abfrage der gewünschten Datei
prompt={'RAW(1) or ImageFile(0)',
        'DistanceFactor:',
        'Samplesize (%)',
        'Treshold',
        'Filtersize'};
name='Settings';
numlines=1;
defaultanswer={'0','4','2','40','4'};
answer=inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer);
raworimage=str2num(answer{1,1});
distfactor=str2num(answer{2,1});
samplesize=str2num(answer{3,1});
tresh=str2num(answer{4,1});
filtsize=str2num(answer{5,1});

if exist('dirstreu.mat','file')==0
    init_dir='C:\';
else
    init_dir=load('dirstreu.mat','init_dir');
    init_dir=init_dir.init_dir;
```

end

```
%[fname,dir]=uigetfile({'*.jpg','JPEG (*.jpg)';*.tif,'TIFF (*.tif)';*.bmp,'BMP (*.bmp)';*.*,'All Files (*.*)'},'Select a file',init_dir);
```

```
[fname,dir]=uigetfile({'*.*','All Files'},'Select an image file',init_dir); % call for the function to open a file from windows
```

```
init_dir=dir;
```

```
if init_dir~=0
```

```
    save('dirstreu.mat','init_dir');
```

```
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
comma=1; % Ausgabe mit decimal comma (1= Komma, 0=Punkt)
```

```
if raworimage==1
```

```
    prompt={'AutomaticWhiteBalance: (1/0)',
```

```
           'BitsPerPixel (24 or 48)',
```

```
           'BlueMultiplier:',
```

```
           'RedMultiplier:',
```

```
           'Brightness:',
```

```
           'CameraWhiteBalance (1/0)',
```

```
           'Gamma (24bit only)'};
```

```
    name='Input for RAW Import';
```

```
    numlines=1;
```

```
    defaultanswer={'0','48','1.0','1.0','1.0','0','1.0'};
```

```
    answer=inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer);
```

```
options = struct('AutomaticWhiteBalance',str2num(answer{1,1}),'BitsPerPixel',str2num
```

```
(answer{2,1}),'BlueMultiplier',str2num(answer{3,1}),
```

```
'RedMultiplier',str2num(answer{4,1}),'Brightness',str2num(answer{5,1})),
```

```

'CameraWhiteBalance',str2num(answer{6,1}),'Gamma',str2num(answer{7,1}));

image=readdraw([dir,fname],options);

else
    image=imread([dir,'\',fname]);
end

[h,w,d]=size(image);

imY=(0.2125*(image(:,:,1)))+(0.7154*(image(:,:,2)))+(0.0721*(image(:,:,3)));

g=figure;
[offx,offy,imwork,rect]=imcrop(imadjust(imY));
close(g);

filtsize=round(filtsize/1000*h);

filterkernel=(ones(filtsize,filtsize))/filtsize^2;
imwork=imfilter(imwork, filterkernel);

imwork=im2bw(imwork,tresh/255);

imwork=imdilate(imwork,ones(filtsize,filtsize));

imwork = bwlabel(~imwork);           %Ermittelt die Position des Bildes
stats = regionprops(imwork,'all');

checks=size(stats);
if checks(1)~=17
    helpdlg('Detected more or less than 9 spots, check image or ROI-selection','Image Engineering');
    %return

```

end

```
centroids=ones(17,2);
```

```
for i=1:17
```

```
    centroids(i,1)=round(stats(i,1).Centroid(1)+rect(1));
```

```
    centroids(i,2)=round(stats(i,1).Centroid(2)+rect(2));
```

```
end
```

```
testbild=image;
```

```
ssize=round(samplesize/100*h/2);
```

```
for i=1:17
```

```
testbild(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)-
```

```
ssize:centroids(i,1)+ssize,1)=255;
```

```
testbild(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)+distfactor*ssize-ssize:centroids(i,1)+distfactor*ssize+ssize,2)=0;
```

```
testbild(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)-distfactor*ssize-ssize:centroids(i,1)-distfactor*ssize+ssize,2)=0;
```

```
meanYfield(i)=mean2(imY(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)-ssize:centroids(i,1)+ssize));
```

```
meanYleft=mean2(imY(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)+distfactor*ssize-ssize:centroids(i,1)+distfactor*ssize+ssize));
```

```
meanYright=mean2(imY(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)-distfactor*ssize-ssize:centroids(i,1)-distfactor*ssize+ssize));
```

```
meanaround(i)=mean([meanYleft meanYright]);
```

```
stdYfield(i)=std2(imY(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)-
```

```

ssize:centroids(i,1)+ssize));

stdYleft=std2(imY(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)+distfactor*ssize-ssi-
ze:centroids(i,1)+distfactor*ssize+ssize));

stdYright=std2(imY(centroids(i,2)-ssize:centroids(i,2)+ssize,centroids(i,1)-distfactor*ssize-
ssize:centroids(i,1)-distfactor*ssize+ssize));

stdaround(i)=mean([stdYleft stdYright]);

end

figure;imshow(testbild);

[li,col]=size(meanYfield);
centroidsx=centroids(:,1);
centroidsy=centroids(:,2);

fid=fopen([dir,'\',fname(1:(end-4)),'.txt'],'w');
fprintf(fid,'File: \t%s\t',[dir,fname]);

fprintf(fid,'Sample size  %s x %s \r',num2str(ssize*2),num2str(ssize*2));

[li,col]=size(meanYfield);
fprintf(fid,'Mean Y (field)\n');
if comma==0

for n=1:li
    fprintf(fid,'%5.3f\t',meanYfield(n,1:col-1));
    fprintf(fid,'%5.3f\r',meanYfield(n,col));
end

fprintf(fid,'Std field\n');

```

```

for n=1:li
    fprintf(fid,'%5.3f\t',stdYfield(n,1:col-1));
    fprintf(fid,'%5.3f\r',stdYfield(n,col));
end

fprintf(fid,'Mean around\n');
for n=1:li
    fprintf(fid,'%2.6f\t',meanaround(n,1:col-1));
    fprintf(fid,'%2.6f\r',meanaround(n,col));
end

fprintf(fid,'Std around\n');
for n=1:li
    fprintf(fid,'%2.6f\t',stdaround(n,1:col-1));
    fprintf(fid,'%2.6f\r',stdaround(n,col));
end

fprintf(fid,'X-Position\n');
for n=1:li
    fprintf(fid,'%4.0f\t',centroidsx(n,1:col-1));
    fprintf(fid,'%4.0f\r',centroidsx(n,col));
end

fprintf(fid,'Y-Position\n');

for n=1:li
    fprintf(fid,'%4.0f\t',centroidsy(n,1:col-1));
    fprintf(fid,'%4.0f\r',centroidsy(n,col));
end

else

for n=1:li
    str=num2str(meanYfield(n,1:col-1),'%5.3f\t');

```

```

str=strrep(str, ',', ',');
fprintf(fid, '%s', str);

str=num2str(meanYfield(n,col));
str=strrep(str, ',', ',');
fprintf(fid, '%s\r', str);
end

fprintf(fid, 'Std field\n');

for n=1:li
    str=num2str(stdYfield(n,1:col-1), '%5.3f\t');
    str=strrep(str, ',', ',');
    fprintf(fid, '%s', str);

    str=num2str(stdYfield(n,col));
    str=strrep(str, ',', ',');
    fprintf(fid, '%s\r', str);
end
fprintf(fid, 'Mean around\n');
for n=1:li
    str=num2str(meanaround(n,1:col-1), '%2.6f\t');
    str=strrep(str, ',', ',');
    fprintf(fid, '%s', str);

    str=num2str(meanaround(n,col));
    str=strrep(str, ',', ',');
    fprintf(fid, '%s\r', str);
end
fprintf(fid, 'Std around\n');
for n=1:li
    str=num2str(stdaround(n,1:col-1), '%2.6f\t');
    str=strrep(str, ',', ',');
    fprintf(fid, '%s', str);

```

```

        str=num2str(stdaround(n,col));
        str=strrep(str,',','');
        fprintf(fid,'%s\r',str);
end

fprintf(fid,'X-Position\n');
for n=1:li
    str=num2str(centroidsx(n,1:col-1),'%4.0f\t');
    str=strrep(str,',','');
    fprintf(fid,'%s',str);

    str=num2str(centroidsx(n,col),'%4.0f\t');
    str=strrep(str,',','');
    fprintf(fid,'%s\r',str);
end

fprintf(fid,'Y-Position\n');
for n=1:li
    str=num2str(centroidsx(n,1:col-1),'%4.0f\t');
    str=strrep(str,',','');
    fprintf(fid,'%s',str);

    str=num2str(centroidsx(n,col),'%4.0f\t');
    str=strrep(str,',','');
    fprintf(fid,'%s\r',str);
end

end

fclose(fid);

imwrite(im2uint8(testbild),[dir,'\',fname,'_check','.jpg']);

```

```
k = waitforbuttonpress;
```

II.rawtotif

```
function varargout = rawtotif(varargin);
```

```
if exist('rawdir.mat','file')==0
```

```
    init_dir='C:\';
```

```
else
```

```
    init_dir=load('rawdir.mat','init_dir');
```

```
    init_dir=init_dir.init_dir;
```

```
end
```

```
%[fname,dir]=uigetfile({'*.jpg','JPEG(*.jpg)';*.tif,'TIFF(*.tif)';*.bmp,'BMP(*.bmp)';  
*.*,'All Files (*.*)'},'Select a file',init_dir);
```

```
[fname,dir]=uigetfile({'*.*','All Files'},'Select an image file',init_dir);
```

```
% call for the function to open a file from windows
```

```
init_dir=dir;
```

```
if init_dir~=0
```

```
    save('rawdir.mat','init_dir');
```

```
end
```

```
prompt={'AutomaticWhiteBalance: (1/0)',...
```

```
    'BitsPerPixel (24 or 48:',...
```

```
    'BlueMultiplier:',...
```

```
    'RedMultiplier:',...
```

```
    'Brightness:',...
```

```
    'CameraWhiteBalance (1/0)',...
```

```
    'Gamma (24bit only)'};
```

```

name='Input for RAW Import';
numlines=1;
defaultanswer={'0','48','1.0','1.0','1.0','0','1.0'};
answer=inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer);

options=struct ('AutomaticWhiteBalance',str2num(answer{1,1}),
               'BitsPerPixel',str2num(answer{2,1}),'BlueMultiplier',str2num(answer{3,1}),...
               'RedMultiplier',str2num(answer{4,1}),'Brightness',str2num(answer{5,1}),
               'CameraWhiteBalance',str2num(answer{6,1}),'Gamma',str2num(answer{7,1}));

image=readraw([dir,fname],options);
imY=(0.2125*(image(:,1)))+(0.7154*(image(:,2)))+(0.0721*(image(:,3)));

imwrite(image,[dir,'\',fname,'_r2t','.tif'],'Compression','none');
imwrite(imY,[dir,'\',fname,'_r2Y','.tif'],'Compression','none');

```

16.2 Diagramme und Tabellen

16.2.1 D2x

Sigma Zoom: 18mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/30s / k=4 100 ISO	Digitalwert Schatten:	225,3	214,7	177,2	182,2	86,1	84,0	91,8	89,8	112,8	90,7	91,7	87,6	83,3	181,1	174,2	245,2	219,4
	Digitalwert Lichter:	2998,2	2944,1	4559,7	4433,7	5145,7	5013,3	5464,7	5394,3	5564,6	5642,6	5592,0	5404,1	5351,2	4862,1	4768,4	3365,3	3415,5
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	7,4	7,1	3,8	4,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,9	1,5	1,6	1,5	1,5	3,6	3,6	7,2	6,3
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.2 t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Schatten:	242,1	227,8	91,1	94,0	86,4	88,7	92,5	92,7	114,5	91,3	97,3	89,1	87,4	102,3	88,5	238,5	220,3
	Digitalwert Lichter:	4271,3	4203,8	5154,5	5007,9	5402,8	5255,8	5548,4	5475,3	5624,3	5736,6	5684,4	5688,1	5625,9	5473,0	5376,7	4728,3	4826,2
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	5,6	5,3	1,7	1,8	1,5	1,6	1,6	1,6	2,0	1,5	1,6	1,5	1,5	1,8	1,6	4,9	4,5
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.3 t=1/8s / k=8	Digitalwert Schatten:	114,4	96,4	104,2	104,9	97,8	92,7	100,5	100,1	124,1	99,7	108,8	97,5	90,5	112,4	95,7	123,0	94,1
	Digitalwert Lichter:	4661,8	4579,5	5247,7	5098,6	5506,3	5351,5	5650,0	5571,6	5723,9	5841,0	5782,6	5790,4	5724,3	5567,6	5472,1	5098,1	5231,1
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,4	2,0	1,9	2,0	1,7	1,6	1,7	1,7	2,1	1,6	1,8	1,6	1,5	1,9	1,7	2,3	1,7
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.4 t=1/8s / k=11	Digitalwert Schatten:	130,2	98,3	100,2	100,9	100,5	91,8	100,9	96,7	119,8	98,7	107,7	97,0	92,1	111,9	97,7	118,7	97,3
	Digitalwert Lichter:	4277,5	4197,8	4784,6	4645,8	5011,6	4879,3	5139,7	5070,5	5208,6	5316,8	5260,1	5267,5	5211,8	5067,6	4966,7	4665,6	4800,7
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,9	2,2	2,0	2,1	1,9	1,8	1,9	1,8	2,2	1,8	2,0	1,8	1,7	2,1	1,9	2,4	1,9
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.5 t=1/2s / k=16	Digitalwert Schatten:	147,6	104,4	107,6	102,9	108,7	99,0	107,7	103,1	129,5	104,6	105,0	104,1	100,4	116,4	105,6	123,1	104,0
	Digitalwert Lichter:	4019,7	3931,0	4494,2	4368,3	4711,3	4586,1	4831,3	4770,7	4896,3	4999,3	4947,8	4953,0	4897,1	4769,1	4662,9	4386,1	4512,6
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	3,6	2,5	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,3	2,2	2,7	2,2

Tabelle 1: Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 18mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

Sigma Zoom: 18mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/30s / k=4 100 ISO	Digitalwert Schatten:	226,6	250,1	133,4	119,5	84,8	91,6	93,5	93,1	120,7	94,1	91,6	85,3	80,6	150,6	146,7	285,7	271,9
	Digitalwert Lichter:	3944,5	4141,0	5682,0	5935,5	6649,9	6876,6	7250,0	7442,4	7441,8	7125,5	7297,8	6638,0	6461,6	5992,3	5766,8	4377,8	4752,4
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	5,6	5,9	2,3	1,9	1,2	1,3	1,2	1,2	1,6	1,3	1,2	1,2	1,2	2,4	2,5	6,4	5,6
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.2 t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Schatten:	128,2	129,9	88,1	86,4	88,8	89,3	97,9	101,2	125,9	101,1	97,8	80,9	86,2	90,7	77,5	203,7	208,3
	Digitalwert Lichter:	5322,7	5484,0	6274,8	6522,3	6957,9	7204,3	7377,5	7584,5	7551,6	7270,7	7442,9	6796,2	6984,9	6657,4	6444,1	5980,6	6585,9
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,3	2,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,3	1,6	1,3	1,3	1,1	1,2	1,3	1,1	3,3	3,1
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.3 t=1/8s / k=8	Digitalwert Schatten:	75,4	79,6	100,6	102,1	94,7	97,2	103,9	107,4	129,4	112,3	104,0	86,5	95,6	100,0	85,2	120,3	94,8
	Digitalwert Lichter:	5551,9	5701,4	6362,2	6620,8	7068,4	7312,5	7485,3	7698,8	7661,7	7377,0	7558,3	6902,9	7094,5	6764,4	6545,6	6332,8	7037,4
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,3	1,3	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,6	1,5	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2	1,8	1,3
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.4 t=1/8s / k=11	Digitalwert Schatten:	76,9	77,8	101,8	91,2	94,6	91,9	100,2	103,4	126,4	112,7	101,7	86,0	95,9	100,4	86,6	114,1	95,2
	Digitalwert Lichter:	5044,4	5186,0	5802,6	6037,1	6445,8	6661,2	6820,9	7011,7	6980,9	6718,5	6893,8	6286,4	6464,2	6164,2	5959,8	5769,0	6425,0
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,4	1,4	1,7	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,7	1,6	1,4	1,3	1,4	1,6	1,4	1,9
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.5 t=1/2s / k=16	Digitalwert Schatten:	80,0	81,2	112,5	96,3	104,0	97,6	106,3	110,5	137,3	105,2	107,0	91,0	101,2	105,3	92,5	119,8	100,9
	Digitalwert Lichter:	4824,0	4968,8	5554,4	5778,8	6165,3	6375,8	6528,5	6709,0	6678,8	6425,7	6595,5	6010,8	6180,0	5891,1	5700,4	5520,9	6150,6
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,6	1,5	1,9	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	2,0	1,6	1,6	1,4	1,6	1,7	1,5	2,1

Tabelle 2: Falschlichtmessung (Durchlicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 18mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

Sigma Zoom: 28mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1	Digitalwert Schatten:	123,0	91,1	102,8	96,7	106,9	99,0	114,7	112,2	126,3	115,6	113,2	104,2	100,8	112,4	99,3	115,3	96,4
t=1/30s / k=4	Digitalwert Lichter:	5325,1	5202,8	5786,8	5581,7	6098,0	5929,1	6382,4	6310,7	6525,4	6603,5	6549,7	6429,5	6360,1	6155,0	6079,6	5814,0	5877,4
100 ISO	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,2	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7	1,9	1,7	1,7	1,5	1,5	1,8	1,6	1,9	1,6
Nr.2	Digitalwert Schatten:	110,4	85,5	88,7	92,5	96,3	91,2	102,6	99,5	111,7	101,6	100,6	94,9	92,0	103,2	93,9	112,9	89,8
t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Lichter:	5227,9	5097,9	5491,4	5290,1	5597,6	5436,3	5676,8	5605,8	5729,4	5875,2	5826,9	5907,1	5841,5	5842,9	5781,5	5706,6	5783,9
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,0	1,6	1,5	1,7	1,6	1,6	1,7	1,7	1,9	1,7	1,6	1,5	1,5	1,7	1,5	1,9	1,5
Nr.3	Digitalwert Schatten:	115,7	96,4	100,6	109,1	105,4	105,6	114,1	109,3	128,7	113,7	113,1	107,8	109,0	113,9	103,8	126,7	99,7
t=1/8s / k=8	Digitalwert Lichter:	5654,3	5507,6	5939,1	5712,6	6049,9	5872,3	6129,5	6057,2	6189,5	6345,4	6295,1	6383,6	6308,0	6315,7	6255,5	6174,1	6244,0
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,0	1,7	1,6	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7	2,0	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7	1,6	2,0	1,5
Nr.4	Digitalwert Schatten:	115,8	93,8	97,7	106,2	101,3	101,2	105,8	101,3	122,2	103,8	115,0	104,6	105,2	111,1	96,7	119,6	93,6
t=1/8s / k=11	Digitalwert Lichter:	4788,7	4665,6	5020,2	4844,5	5115,8	4971,2	5186,1	5126,9	5240,0	5367,5	5323,7	5398,5	5337,7	5339,5	5300,6	5221,2	5288,7
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,3	1,9	1,9	2,1	1,9	1,9	2,0	1,9	2,2	1,8	2,1	1,9	1,9	2,0	1,7	2,2	1,7
Nr.5	Digitalwert Schatten:	136,0	98,3	109,8	107,3	110,1	115,4	118,5	110,2	133,3	115,8	129,9	112,5	109,4	118,7	105,7	124,5	101,3
t=1/2s / k=16	Digitalwert Lichter:	4636,5	4521,7	4853,8	4690,2	4945,1	4813,6	5015,2	4961,7	5068,9	5193,2	5149,1	5216,9	5160,4	5161,1	5126,1	5042,4	5109,3
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,8	2,1	2,2	2,2	2,1	2,3	2,3	2,1	2,5	2,1	2,4	2,1	2,0	2,2	2,0	2,4	1,9

Tabelle 3: Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 28mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

Sigma Zoom: 28mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1	Digitalwert Schatten:	123,0	91,1	102,8	96,7	106,9	99,0	114,7	112,2	126,3	115,6	113,2	104,2	100,8	112,4	99,3	115,3	96,4
t=1/30s / k=4	Digitalwert Lichter:	5325,1	5202,8	5786,8	5581,7	6098,0	5929,1	6382,4	6310,7	6525,4	6603,5	6549,7	6429,5	6360,1	6155,0	6079,6	5814,0	5877,4
100 ISO	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,2	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7	1,9	1,7	1,7	1,5	1,5	1,8	1,6	1,9	1,6
Nr.2	Digitalwert Schatten:	110,4	85,5	88,7	92,5	96,3	91,2	102,6	99,5	111,7	101,6	100,6	94,9	92,0	103,2	93,9	112,9	89,8
t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Lichter:	5227,9	5097,9	5491,4	5290,1	5597,6	5436,3	5676,8	5605,8	5729,4	5875,2	5826,9	5907,1	5841,5	5842,9	5781,5	5706,6	5783,9
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,0	1,6	1,5	1,7	1,6	1,6	1,7	1,7	1,9	1,7	1,6	1,5	1,5	1,7	1,5	1,9	1,5
Nr.3	Digitalwert Schatten:	115,7	96,4	100,6	109,1	105,4	105,6	114,1	109,3	128,7	113,7	113,1	107,8	109,0	113,9	103,8	126,7	99,7
t=1/8s / k=8	Digitalwert Lichter:	5654,3	5507,6	5939,1	5712,6	6049,9	5872,3	6129,5	6057,2	6189,5	6345,4	6295,1	6383,6	6308,0	6315,7	6255,5	6174,1	6244,0
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,0	1,7	1,6	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7	2,0	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7	1,6	2,0	1,5
Nr.4	Digitalwert Schatten:	115,8	93,8	97,7	106,2	101,3	101,2	105,8	101,3	122,2	103,8	115,0	104,6	105,2	111,1	96,7	119,6	93,6
t=1/8s / k=11	Digitalwert Lichter:	4788,7	4665,6	5020,2	4844,5	5115,8	4971,2	5186,1	5126,9	5240,0	5367,5	5323,7	5398,5	5337,7	5339,5	5300,6	5221,2	5288,7
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,3	1,9	1,9	2,1	1,9	1,9	2,0	1,9	2,2	1,8	2,1	1,9	1,9	2,0	1,7	2,2	1,7
Nr.5	Digitalwert Schatten:	136,0	98,3	109,8	107,3	110,1	115,4	118,5	110,2	133,3	115,8	129,9	112,5	109,4	118,7	105,7	124,5	101,3
t=1/2s / k=16	Digitalwert Lichter:	4636,5	4521,7	4853,8	4690,2	4945,1	4813,6	5015,2	4961,7	5068,9	5193,2	5149,1	5216,9	5160,4	5161,1	5126,1	5042,4	5109,3
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,8	2,1	2,2	2,2	2,1	2,3	2,3	2,1	2,5	2,1	2,4	2,1	2,0	2,2	2,0	2,4	1,9

Tabelle 4: Falschlichtmessung (Durchlicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 28mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

Sigma Zoom: 50mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Schatten:	100,7	84,3	90,5	87,2	94,3	89,2	97,6	100,3	103,8	99,3	98,0	93,8	91,3	97,3	89,4	104,5	87,4
	Digitalwert Lichter:	5284,0	5175,7	5516,1	5314,5	5585,2	5429,9	5574,4	5638,8	5676,2	5825,6	5785,6	5873,3	5813,0	5841,5	5772,8	5753,0	5797,7
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,8	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,6	1,5	1,7	1,4
Nr.2 t=1/8s / k=8	Digitalwert Schatten:	102,9	92,9	94,3	97,9	100,7	97,1	102,6	105,1	115,8	105,2	104,3	98,5	99,1	104,3	97,3	114,9	93,0
	Digitalwert Lichter:	5423,2	5271,7	5613,9	5401,8	5679,5	5519,1	5667,7	5732,5	5775,5	5922,7	5879,9	5974,4	5904,6	5943,3	5879,7	5867,3	5919,8
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,8	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	1,7	1,7	1,6	1,6	1,7	1,6	1,9	1,5
Nr.3 t=1/8s / k=11	Digitalwert Schatten:	111,5	93,8	96,4	101,3	101,1	99,4	102,0	104,0	119,9	103,9	109,8	102,5	104,4	108,1	96,4	119,2	94,8
	Digitalwert Lichter:	4999,1	4858,6	5176,0	4982,9	5236,0	5090,5	5225,7	5288,1	5329,4	5464,1	5422,3	5512,8	5450,9	5483,7	5435,0	5415,8	5469,4
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,1	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9	2,2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,7	2,1	1,6
Nr.4 t=1/2s / k=16	Digitalwert Schatten:	115,5	95,7	106,7	112,8	111,4	111,2	116,5	110,0	132,0	112,8	125,5	114,3	119,4	118,5	106,6	126,7	103,6
	Digitalwert Lichter:	4824,6	4698,9	4990,7	4808,5	5045,1	4911,4	5095,7	5038,6	5136,3	5267,3	5224,9	5310,0	5251,5	5277,4	5236,5	5214,1	5265,8
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,3	1,9	2,0	2,2	2,1	2,2	2,2	2,1	2,5	2,1	2,3	2,1	2,2	2,2	1,9	2,3	1,9

Tabelle 5: Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 50mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

Sigma Zoom: 50mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Schatten:	83,8	101,3	96,7	94,0	104,8	99,1	119,9	115,5	122,9	113,9	111,0	97,7	94,4	97,3	87,5	91,4	78,5
	Digitalwert Lichter:	7328,3	7593,0	8282,9	7989,4	8864,6	8603,8	9168,4	8946,9	9057,5	9091,4	8901,3	8532,8	8321,0	7896,1	7463,4	7268,7	6969,9
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,1	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1
Nr.2 t=1/8s / k=8	Digitalwert Schatten:	82,8	92,9	86,6	94,2	99,5	94,5	104,9	104,6	117,0	101,6	101,2	90,3	90,1	90,3	84,9	90,0	75,4
	Digitalwert Lichter:	6998,4	7272,8	7743,0	7435,7	8082,5	7810,5	8173,2	7977,4	8064,1	8138,0	7931,6	7831,4	7586,2	7426,7	7026,4	7025,8	6722,2
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1
Nr.3 t=1/8s / k=11	Digitalwert Schatten:	83,8	98,5	90,1	97,1	100,1	98,3	103,1	102,3	121,3	98,7	108,2	93,6	94,8	94,0	85,2	91,7	76,0
	Digitalwert Lichter:	6566,8	6819,6	7267,2	6986,1	7586,5	7336,6	7670,8	7485,1	7569,8	7643,1	7449,3	7349,3	7130,8	6972,5	6646,2	6586,6	6316,3
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,2	1,4	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,2	1,4	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3	1,1
Nr.4 t=1/2s / k=16	Digitalwert Schatten:	78,5	95,0	93,7	100,8	102,3	99,4	108,8	102,2	121,7	102,4	114,0	97,0	98,6	97,2	86,1	92,2	77,1
	Digitalwert Lichter:	5990,8	6193,6	6608,7	6356,0	6900,7	6677,2	6981,9	6813,9	6894,6	6959,7	6777,1	6692,9	6484,5	6342,2	6143,2	5993,6	5753,6
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,2	1,5	1,3	1,5	1,4	1,4	1,5	1,4	1,7	1,4	1,6	1,4	1,4	1,5	1,3	1,5	1,3

Tabelle 6: Falschlichtmessung (Durchlicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 50mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

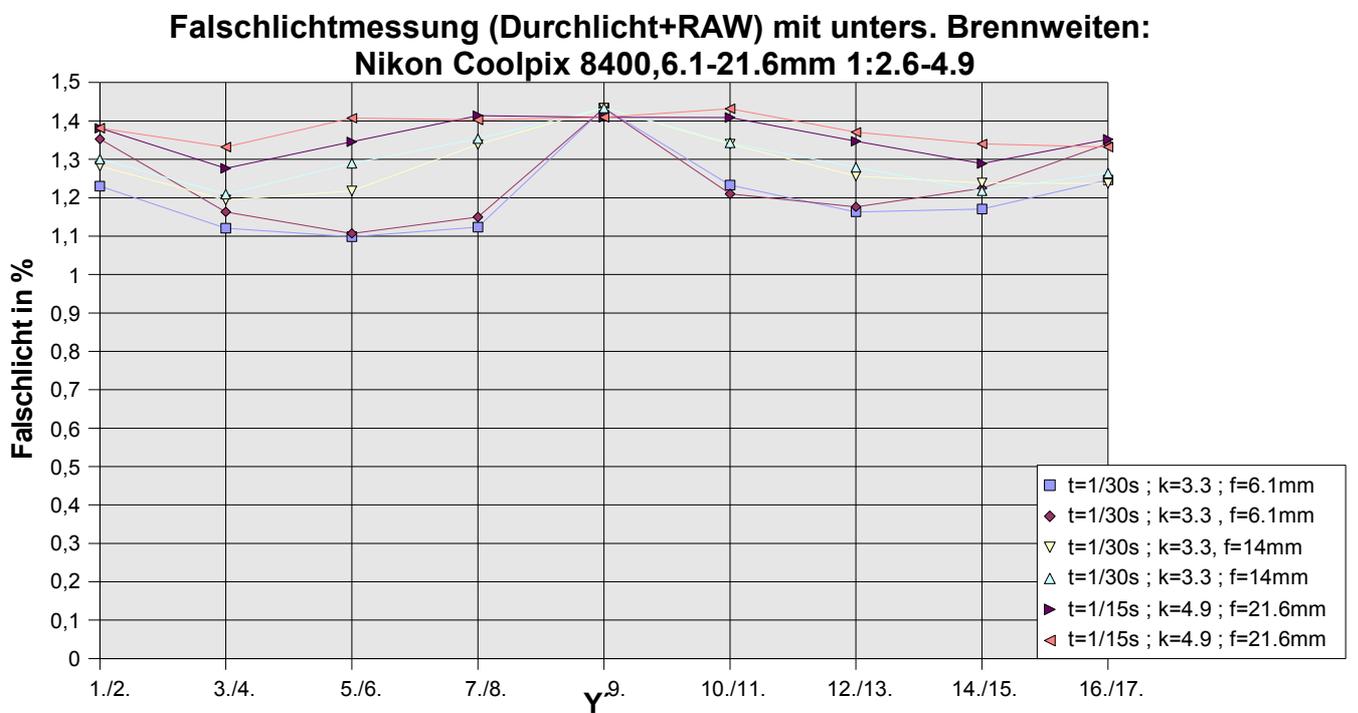
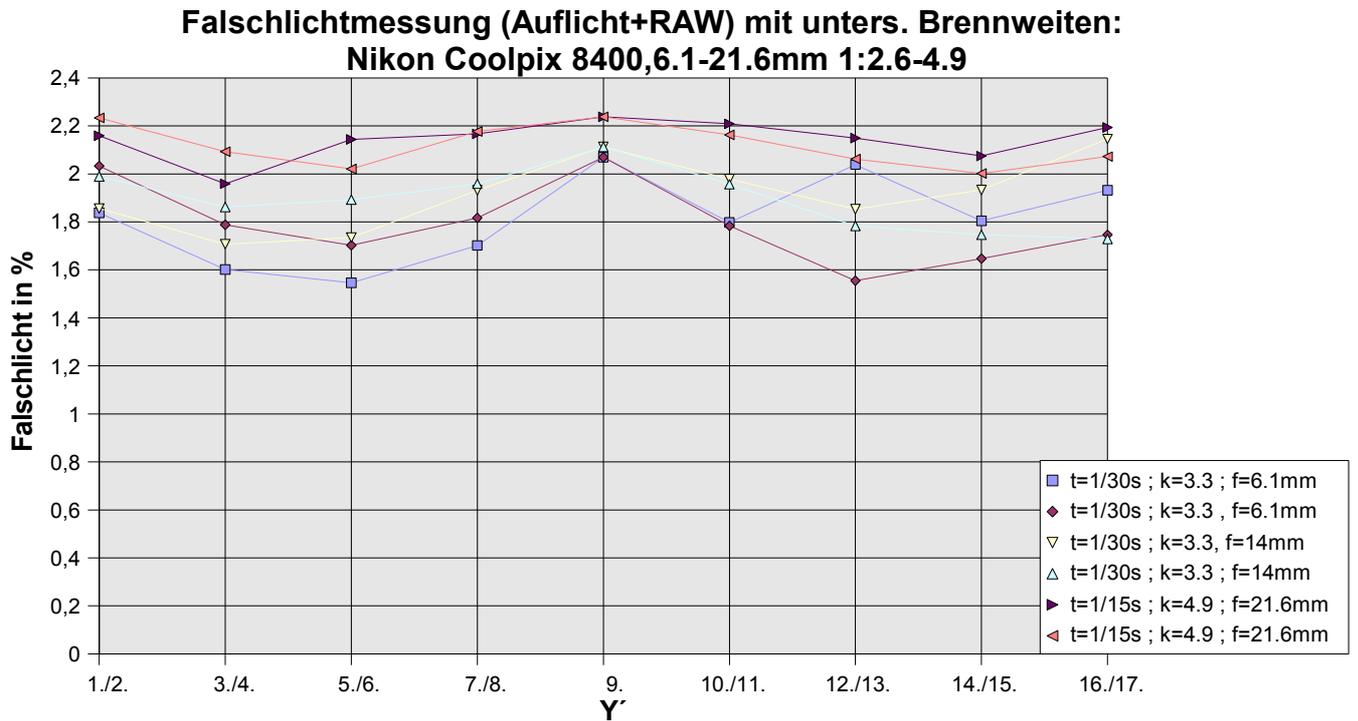
Sigma Zoom: 125mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1	Digitalwert Schatten:	78,6	67,3	86,9	76,9	83,9	79,6	83,3	86,3	82,6	86,9	83,7	84,5	79,8	81,5	76,3	70,2	64,1
t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Lichter:	3657,4	3569,2	4954,5	4790,0	5138,0	4997,5	5215,2	5280,6	5392,3	5424,6	5381,8	5348,6	5290,0	5176,1	5105,8	3873,2	3899,3
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,0	1,8	1,7	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,7	1,5
Nr.2	Digitalwert Schatten:	100,5	80,7	91,0	81,9	88,6	81,9	83,0	87,0	84,6	86,5	83,5	85,4	81,3	87,5	81,8	86,4	77,9
t=1/8s / k=8	Digitalwert Lichter:	4695,6	4595,6	5192,6	5014,6	5197,6	5054,9	5139,5	5202,5	5210,8	5349,4	5309,1	5419,1	5356,5	5438,6	5376,9	5007,8	5001,2
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,0	1,7	1,7	1,5	1,6	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,6	1,5
Nr.3	Digitalwert Schatten:	119,6	99,5	103,2	100,0	105,4	97,9	102,8	105,7	108,1	106,2	102,8	104,9	100,6	106,0	100,0	106,3	100,4
t=1/8s / k=11	Digitalwert Lichter:	5764,6	5631,2	5952,3	5749,9	5957,0	5797,6	5890,8	5956,3	5973,2	6125,8	6084,2	6206,1	6144,9	6229,3	6169,4	6161,1	6177,3
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5
Nr.4	Digitalwert Schatten:	109,7	96,7	101,1	99,7	106,3	99,7	108,6	105,9	111,0	107,0	112,0	103,3	106,7	107,8	105,3	113,2	102,9
t=1/2s / k=16	Digitalwert Lichter:	5158,5	5038,1	5250,2	5073,5	5256,5	5115,1	5258,8	5201,9	5272,8	5409,3	5367,8	5475,3	5413,0	5494,1	5446,4	5505,2	5566,9
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	2,0	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9	2,0	1,8	1,9	1,9	1,8	2,0	1,8

Tabelle 7: Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 125mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

Sigma Zoom: 125mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1	Digitalwert Schatten:	61,1	76,6	69,3	77,1	79,0	72,9	81,0	77,6	76,3	75,8	78,0	69,1	72,7	68,9	63,0	56,0	52,0
t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Lichter:	4934,0	5284,7	6218,1	6457,0	6826,9	6562,1	7000,0	6810,1	6983,5	6739,7	6915,8	6416,5	6608,4	6148,6	5947,1	4778,4	4481,2
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,1	1,4	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1
Nr.2	Digitalwert Schatten:	70,6	82,4	73,7	75,9	79,9	76,1	84,9	81,7	84,2	78,6	79,9	71,9	72,7	71,1	65,9	63,9	60,4
t=1/8s / k=8	Digitalwert Lichter:	6013,8	6374,4	6550,1	6789,8	7002,9	6739,3	7014,0	6827,5	6888,9	6776,3	6945,5	6607,5	6803,1	6485,2	6290,7	5964,0	5579,9
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Nr.3	Digitalwert Schatten:	81,3	91,7	87,7	89,0	88,8	93,0	99,9	96,4	102,7	93,6	97,7	86,6	87,1	82,9	80,1	78,5	72,3
t=1/8s / k=11	Digitalwert Lichter:	6991,6	7319,3	7377,5	7658,5	7597,1	7895,8	7903,1	7694,7	7764,5	7641,4	7836,6	7458,5	7679,6	7323,9	7120,5	7030,1	6670,5
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
Nr.4	Digitalwert Schatten:	79,1	95,9	89,8	88,0	98,3	89,7	101,2	99,0	107,2	99,5	96,5	92,1	90,3	87,9	85,3	85,5	75,5
t=1/2s / k=16	Digitalwert Lichter:	6332,5	6621,9	6670,1	6921,7	7140,9	6867,1	7144,9	6959,0	7024,8	6905,9	7086,7	6734,6	6944,7	6616,2	6434,1	6362,0	6068,9
	Dunkelstrom:	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Falschlicht in Prozent:	1,2	1,4	1,3	1,2	1,3	1,2	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2

Tabelle 8: Falschlichtmessung (Durchlicht+RAW) mit unters. Brennweiten: 125mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

16.2.2 Nikon Coolpix 8400



Zoomnikkor ED 6.1-21.6mm 1:2.6-4.9		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/30s ; k=3.3 6.1mm	Digitalwert Schatten:	174,87	205,01	190,06	213,93	208,63	229,82	238,33	252,18	287,24	250,66	249,66	265,17	205,98	205,21	186,85	184,44	160,11
	Digitalwert Lichter:	8547,24	9209,17	10751,65	10968,59	12335	12452,56	12955,69	12899,64	13022,45	12953,18	13001,99	12135,03	12099,52	10384,3	10259,84	8625,46	8147,27
	Dunkelstrom:	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14
Falschlicht in Prozent:		1,84	2,03	1,6	1,79	1,55	1,7	1,7	1,82	2,07	1,8	1,78	2,04	1,55	1,8	1,65	1,93	1,75
Nr.2 t=1/30s ; k=3.3 14mm	Digitalwert Schatten:	148,44	164,87	154,53	169,82	163,75	177,49	181	183,09	196,57	185,04	183,32	172,54	166,79	169,9	153,28	168,7	135,05
	Digitalwert Lichter:	7038,45	7392,21	8006,43	8162,88	8410,49	8438,56	8447,69	8437,7	8464,43	8454,88	8459,11	8351,56	8351,23	7868,02	7757,21	7036,47	6779,36
	Dunkelstrom:	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14
Falschlicht in Prozent:		1,86	1,99	1,71	1,86	1,73	1,89	1,93	1,96	2,11	1,98	1,96	1,85	1,78	1,93	1,75	2,15	1,73
Nr.3 t=1/15s ; k=4.9 21.6mm	Digitalwert Schatten:	171,53	181,09	164,13	176,36	184,08	172,96	186,07	187,05	191,91	188,56	184,75	180,16	172,4	168,14	161,55	168,47	157,29
	Digitalwert Lichter:	7122,87	7314,82	7470,22	7580,15	7760,03	7681,22	7769,96	7776,29	7782,91	7734,25	7722,28	7558,23	7498,16	7249,2	7180,86	6872,31	6733,66
	Dunkelstrom:	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14
Falschlicht in Prozent:		2,16	2,23	1,96	2,09	2,14	2,02	2,17	2,18	2,24	2,21	2,16	2,15	2,06	2,07	2	2,19	2,07

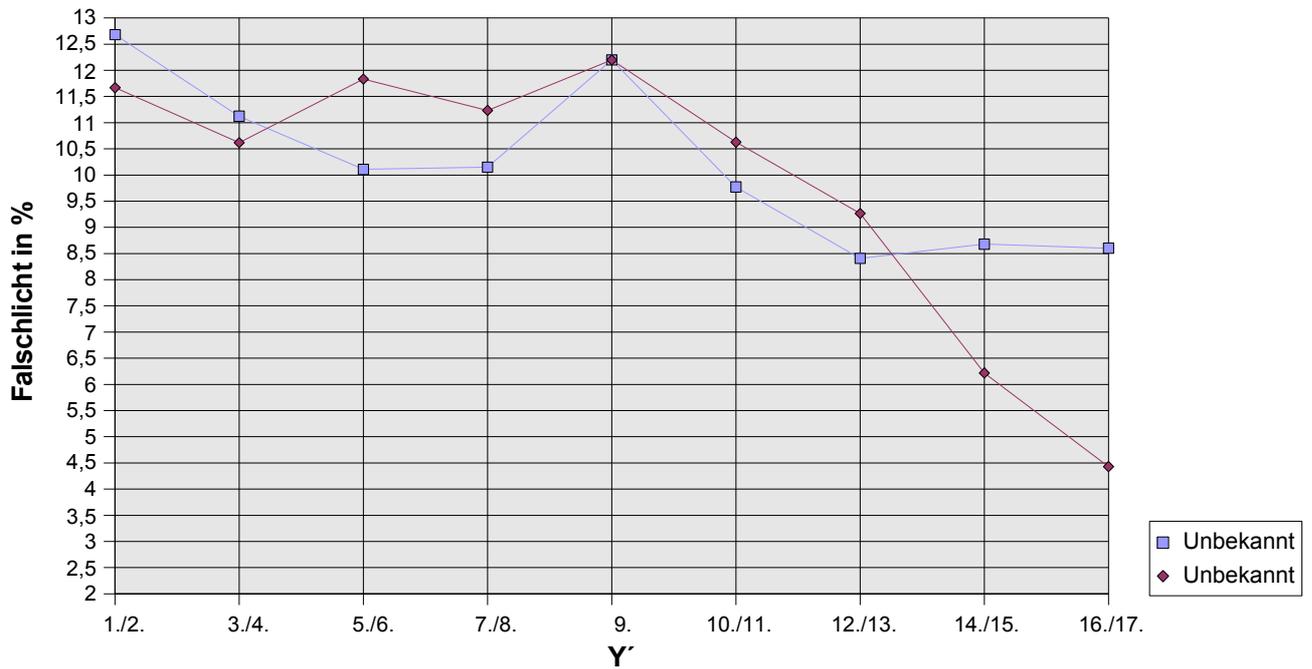
Tabelle 9: Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit unters. Brennweiten: Nikon Coolpix 8400,6.1-21.6mm 1:2.6-4.9

Zoomnikkor ED 6.1-21.6mm 1:2.6-4.9		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/30s ; k=3.3 6.1mm	Digitalwert Schatten:	133,75	144,82	148,84	152,67	164,36	163,11	177,47	180,25	225,74	195,46	191,43	178,52	178,14	169,45	178,27	159,41	182,48
	Digitalwert Lichter:	9416,75	9380,95	11679,23	11582,36	13327,27	13110,26	14200,63	14117,03	14503,03	14399,38	14340,28	13803,87	13617,52	12946,14	13089,64	11352,72	12271,53
	Dunkelstrom:	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14
Falschlicht in Prozent:		1,23	1,35	1,12	1,16	1,1	1,11	1,12	1,15	1,43	1,23	1,21	1,16	1,18	1,17	1,22	1,25	1,34
Nr.2 t=1/30s ; k=3.3 14mm	Digitalwert Schatten:	150,68	162,93	165,09	172,44	182,69	191,91	205,18	207,06	220,38	206,27	206,11	187,69	191	172,36	166,04	153,45	148,31
	Digitalwert Lichter:	10356,02	11150,16	12320,16	12776,58	13531,2	13489,36	13990,92	13973,8	14126,17	14059,34	14011,04	13515,88	13525,95	12472,47	12159,27	10955,77	10314,47
	Dunkelstrom:	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14
Falschlicht in Prozent:		1,28	1,3	1,19	1,21	1,22	1,29	1,34	1,35	1,43	1,34	1,34	1,26	1,28	1,24	1,22	1,24	1,26
Nr.3 t=1/15s ; k=4.9 21.6mm	Digitalwert Schatten:	186,59	191,64	184,75	194,83	202,9	212,33	216,52	215,3	216,74	215,15	219,23	198,91	204,52	183,08	190,76	178,78	177,07
	Digitalwert Lichter:	12216,05	12580,72	13071,75	13281,47	13750,11	13818,22	14047,89	14074,33	14110,26	14002,42	14063,21	13439,59	13616,94	12812,04	12898,83	11899,46	11951,52
	Dunkelstrom:	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14	18,14
Falschlicht in Prozent:		1,38	1,38	1,28	1,33	1,35	1,41	1,41	1,4	1,41	1,41	1,43	1,35	1,37	1,29	1,34	1,35	1,33

Tabelle 10: Falschlichtmessung (Durchlicht+RAW) mit unters. Brennweiten: Nikon Coolpix 8400,6.1-21.6mm 1:2.6-4.9

16.2.3 Nokia

Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG): Handykamera Nokia

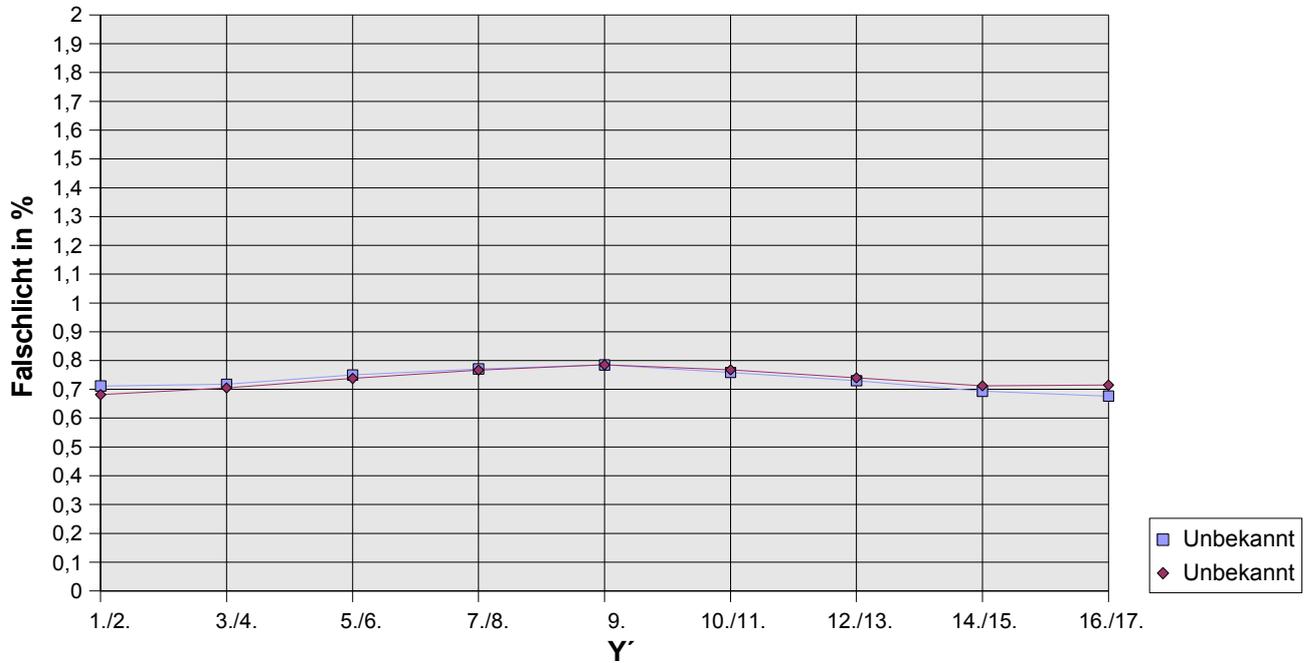


Handykamera: Nokia	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Digitalwert Schatten:	18,12	16,31	15,55	14,51	13,84	16,15	14,05	15,6	17,06	13,33	14,54	11,26	12,39	11,59	8,46	11,63	6,28
Digitalwert Lichter:	138,45	134,92	134,64	131,29	131,19	131,71	132,76	133,84	135,25	130,52	131,43	126,9	127,43	126,76	126,31	128,36	127,95
Defekte Pixel:	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
Falschlicht in Prozent:	12,68	11,67	11,12	10,62	10,11	11,83	10,15	11,23	12,2	9,77	10,63	8,41	9,27	8,68	6,22	8,6	4,43

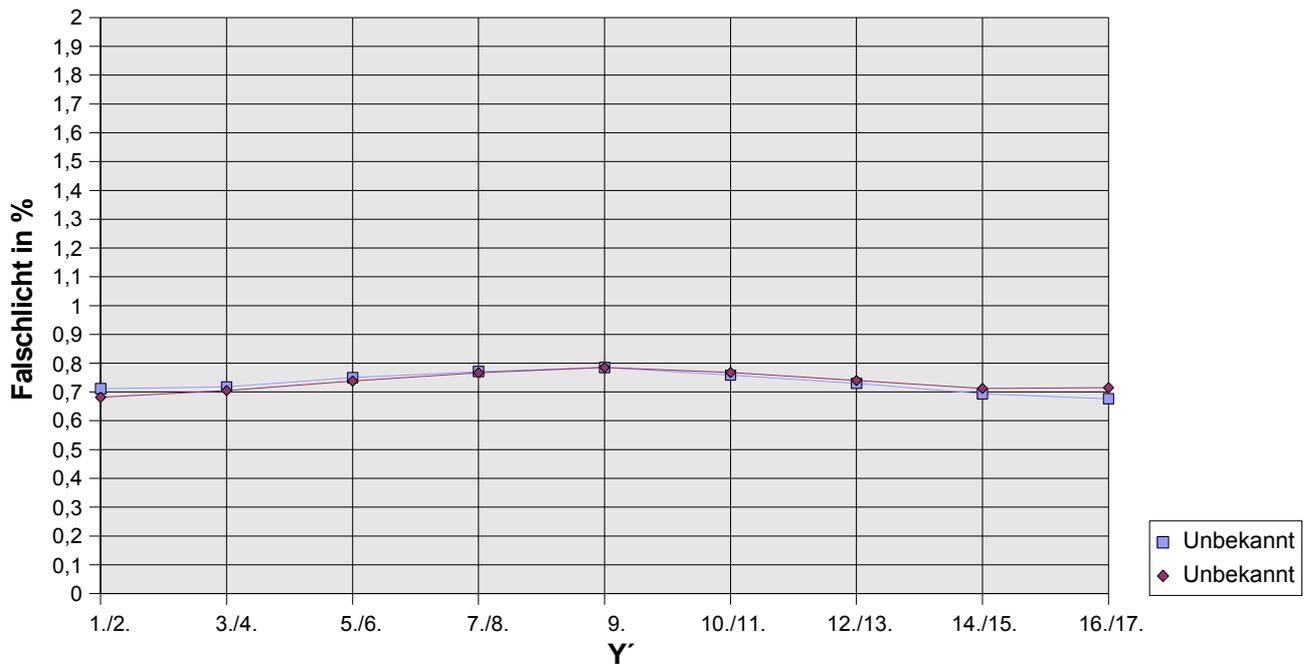
Tabelle 11: Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG): Handykamera Nokia

16.2.4 Nokia N80

Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG): Handykamera Nokia N80

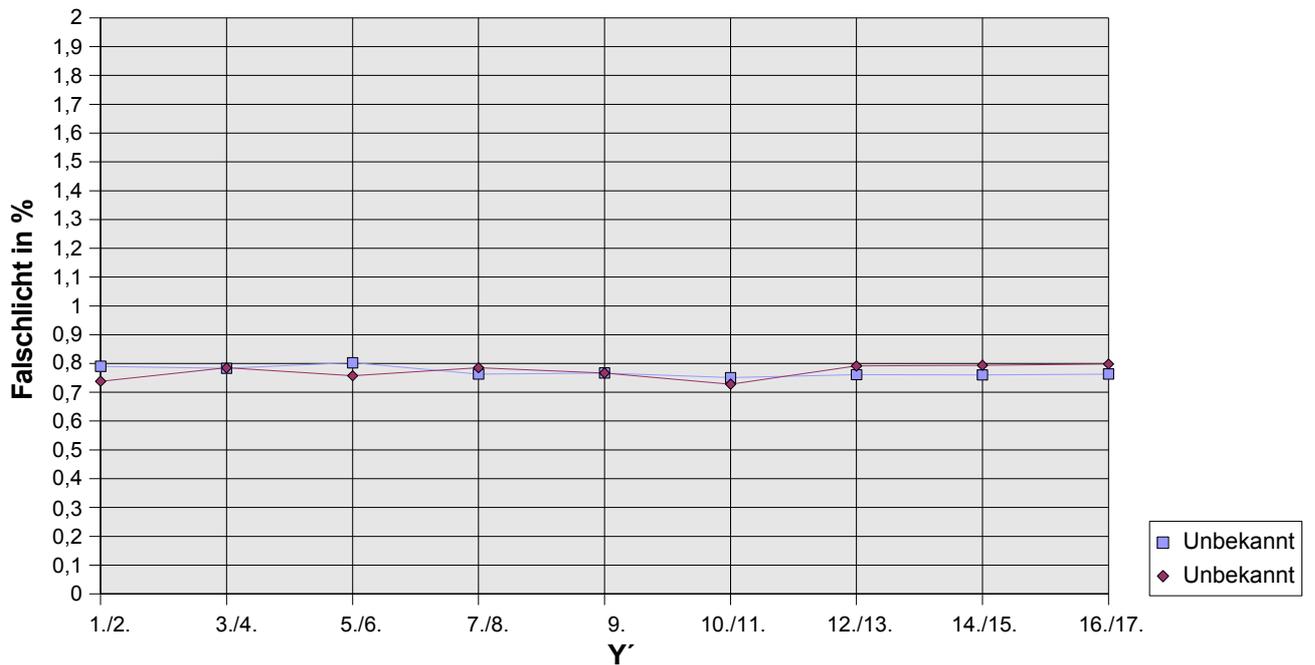


Falschlichtmessung (Durchlicht+JPEG): Handykamera Nokia N80



16.2.5 Nokia 2 megapixel

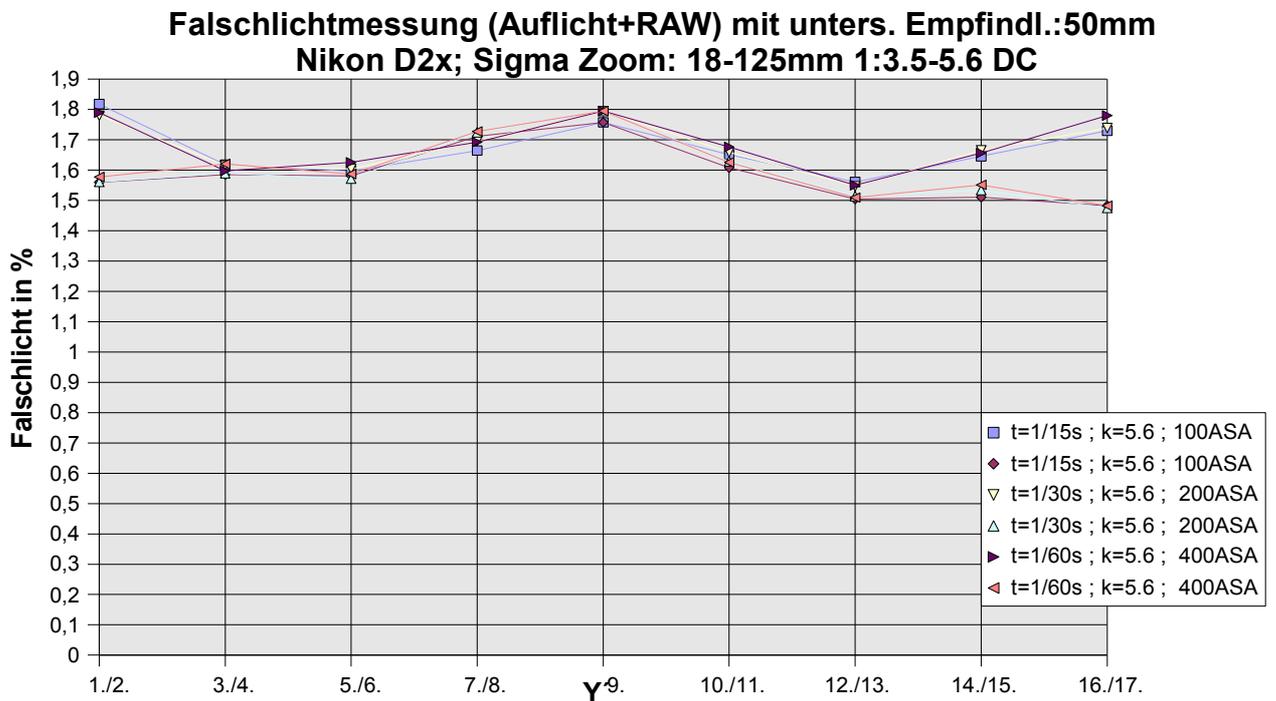
Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG): Handykamera Nokia 2 megapixel



Handykamera: Nokia N80	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Digitalwert Schatten:	1,05	1,01	1,01	1,03	1,02	0,98	0,99	1,02	1,01	0,99	0,96	1,01	1,05	1,03	1,07	1,06	1,11
Digitalwert Lichter:	132,4	136,51	128,94	131,23	127,38	129,12	129,18	129,99	131,4	132,12	131,53	132,41	132,69	135,73	135,31	138,7	139,15
Defekte Pixel:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Falschlicht in Prozent:	0,79	0,74	0,78	0,78	0,8	0,76	0,76	0,79	0,77	0,75	0,73	0,76	0,79	0,76	0,79	0,76	0,8

Abbildung 24: Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG): Handykamera Nokia 2 megapixel

16.2.6 Empfindlichkeitsreih



Sigma Zoom: 18mm 1:3.5-5.6 DC		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/15s / k=5.6	Digitalwert Schatten:	180,33	149,18	163,31	154,86	161,16	155,72	165,81	172,12	175,92	167,88	162,79	158,32	152,1	164,16	150,49	168,57	146,71
	Digitalwert Lichter:	9666,52	9263,17	9809,03	9474,24	9802,62	9554,5	9681,5	9782,61	9745,5	9884,65	9834,77	9846,77	9800,32	9694,04	9652,16	9475,65	9581,16
	Dunkelstrom:	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73
	Falschlicht in Prozent:	1,82	1,56	1,62	1,59	1,6	1,58	1,66	1,71	1,76	1,65	1,61	1,56	1,5	1,65	1,51	1,73	1,48
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.2 t=1/30s / k=5.6	Digitalwert Schatten:	166,88	140,31	152,53	145,1	151,15	144,69	157,71	161,9	167,65	157,4	154,06	146,52	143,01	155,04	142,58	159,59	138,07
	Digitalwert Lichter:	9115,95	8689,89	9152,76	8836,16	9136,81	8910,26	9028,82	9118,4	9083,3	9210,31	9170,77	9173,07	9138,27	9032,79	8988,07	8910,6	9044,96
	Dunkelstrom:	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73
	Falschlicht in Prozent:	1,78	1,56	1,62	1,59	1,6	1,57	1,7	1,72	1,79	1,66	1,63	1,55	1,51	1,66	1,53	1,74	1,48
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.3 t=1/60s / k=5.6	Digitalwert Schatten:	168,37	141,76	150,88	148,03	153,3	146,14	157,49	162,26	167,94	159,15	153,83	146,95	142,77	154,47	144,44	163,71	138,98
	Digitalwert Lichter:	9146,85	8692,6	9152,96	8848,83	9142,78	8914,78	9028,92	9123,29	9096,25	9215,84	9176,35	9177,72	9151,05	9043,85	9010,76	8936,19	9059,68
	Dunkelstrom:	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73
	Falschlicht in Prozent:	1,79	1,58	1,6	1,62	1,63	1,59	1,69	1,73	1,8	1,68	1,63	1,55	1,51	1,66	1,55	1,78	1,48

Tabelle 12: Falschlichtmessung (Auflicht+RAW) mit unters. Empfindl.:50mm Nikon D2x; Sigma Zoom: 18-125mm 1:3.5-5.6 DC

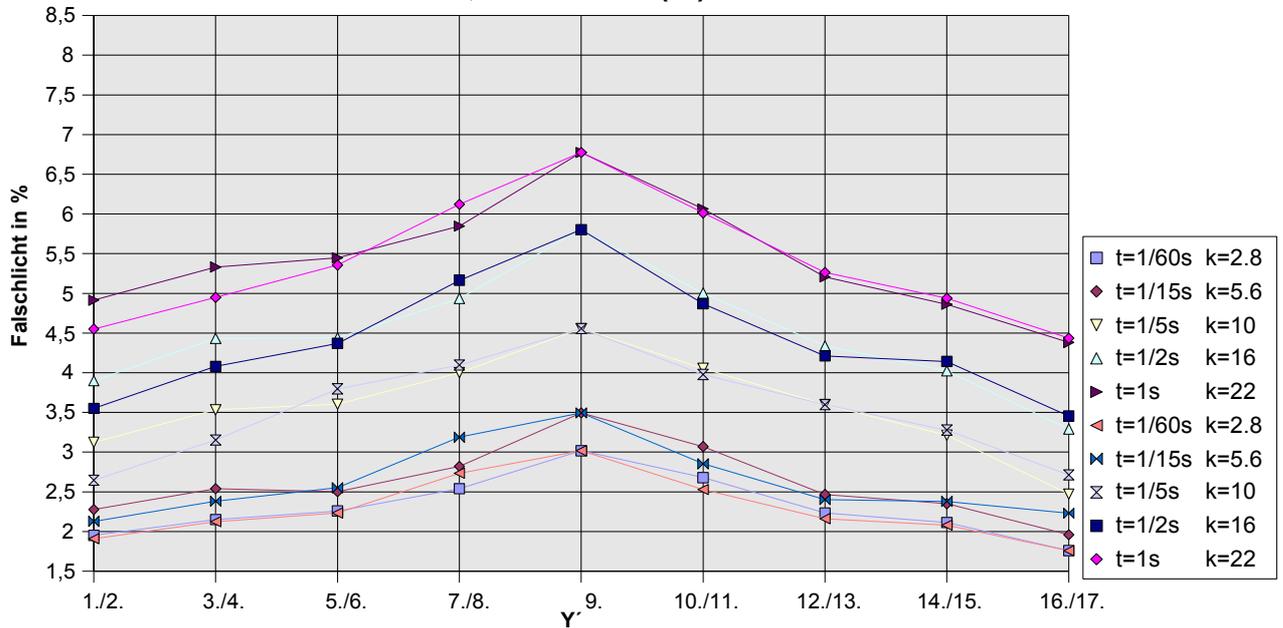
16.2.7 Ergänzender Auflichtstand mit zusätzlicher Gegenlichtquelle

Objektiv:Tamron SP (IF) 28-75mm 28mm 1:2.8 Macro		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	8,65	22,09	10,21	17,36	12,35	14,05	13,54	15,3	14,07	12,55	12,43	10,45	11,94	9,23	9,83	7,97	8,42
	Digitalwert Lichter:	239,42	235,4	242,19	239,1	242,44	240,21	240,6	242,48	241,02	239,78	240,19	237,89	239,37	235,1	236,9	231,99	232,98
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	3,6	9,38	4,21	7,25	5,09	5,84	5,62	6,3	5,83	5,22	5,17	4,38	4,98	3,92	4,14	3,43	3,61
Nr.2 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	10,63	9,88	10,86	11,4	12,24	11,98	13,26	12,94	13,63	12,1	11,92	10,18	9,73	9,08	8,84	8,14	7,47
	Digitalwert Lichter:	239,79	232,99	237,52	242,64	239,9	242,72	240,68	242,69	241,1	239,83	240,24	238,05	239,33	235,31	237,08	232,31	233,19
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	4,43	4,23	4,56	4,69	5,09	4,93	5,5	5,32	5,65	5,04	4,95	4,27	4,06	3,85	3,72	3,5	3,19
Nr.3 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	21,13	8,63	15,89	10,6	13,43	12,5	13,39	13,39	13,74	12,51	12,32	11,93	10,39	10,63	8,82	9,17	7,64
	Digitalwert Lichter:	241,7	232,51	243,46	237,18	242,78	239,57	240,33	240,33	240,92	239,57	240,08	237,91	239,26	235,18	236,6	232,04	232,73
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	8,73	3,7	6,52	4,46	5,52	5,21	5,56	5,56	5,69	5,21	5,12	5,01	4,33	4,51	3,72	3,94	3,27
Nr.4 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	8,78	18,68	10,39	21,26	12,78	20,18	14,06	17,05	15,3	13,71	14,08	11,58	12,28	10,31	10,2	9,42	8,64
	Digitalwert Lichter:	232,92	240,83	237,41	244,05	239,77	243,72	240,51	243,15	241,24	239,83	240,43	238	239,37	235,23	236,98	232,16	232,86
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	3,76	7,75	4,37	8,71	5,32	8,27	5,84	7	6,33	5,71	5,85	4,86	5,12	4,37	4,3	4,05	3,7
Nr.5 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	9,31	11,97	11,26	14,44	13,04	16,43	17,59	14,99	17,65	15,17	17,89	12,81	17,24	10,95	15,16	9,1	12,09
	Digitalwert Lichter:	234,01	240,84	238,49	244,05	240,32	244,14	243,82	241,53	242,62	240,23	241,82	238,85	240,43	235,89	238,45	232,98	233,94
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	3,97	4,96	4,71	5,91	5,42	6,72	7,21	6,2	7,27	6,31	7,39	5,36	7,16	4,63	6,35	3,9	5,16
Nr.6 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	9,45	9,55	10,67	10,71	11,64	12,18	13,85	14,04	15,57	13,9	16,86	12,3	17,16	10,15	19,75	8,77	20,32
	Digitalwert Lichter:	232,65	239,33	236,96	241,77	239,14	241,5	241,09	239,79	240,2	239,23	239,85	237,44	239,24	234,8	237,38	231,67	233,86
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	4,05	3,98	4,5	4,42	4,86	5,04	5,74	5,85	6,47	5,8	7,02	5,17	7,16	4,31	8,31	3,78	8,68
Nr.7 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	9,25	8,51	9,97	9,61	12,2	11,17	12,94	13,06	15,05	14,53	15,85	12,75	14,48	10,3	18,71	8,54	28,63
	Digitalwert Lichter:	232,02	238,87	236,52	241,02	238,79	241,05	240,95	239,64	240,09	239,09	239,82	237,2	239,2	234,49	237,85	231,34	234,9
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	3,98	3,55	4,21	3,98	5,1	4,63	5,36	5,44	6,26	6,07	6,6	5,37	6,05	4,38	7,86	3,68	12,18
Nr.8 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	8,7	8,92	10,05	9,9	11,78	11,38	13,56	14,22	16,62	17,08	15,76	14,29	14,03	13,1	12,82	11,79	11,02
	Digitalwert Lichter:	232,56	239,22	236,86	241,66	239,2	241,38	241,08	239,89	240,43	239,72	239,87	237,7	239,03	235,01	236,43	231,99	232,62
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	3,73	3,72	4,23	4,09	4,92	4,7	5,62	5,92	6,91	7,12	6,56	6,01	5,86	5,57	5,42	5,08	4,73
Nr.9 t=50 / k=2.8	Digitalwert Schatten:	8,47	9,8	9,9	11,51	11,6	13,66	13,11	13,44	14,65	13,84	13,7	14,48	12,56	18,48	10,35	21,21	8,63
	Digitalwert Lichter:	233,04	239,74	237,44	242,69	239,49	242,38	241,66	240,01	240,49	239,56	239,91	238,27	239,13	235,91	236,57	233,62	232,75
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in Prozent:	3,62	4,08	4,16	4,74	4,83	5,63	5,42	5,59	6,09	5,77	5,7	6,07	5,25	7,83	4,37	9,07	3,7

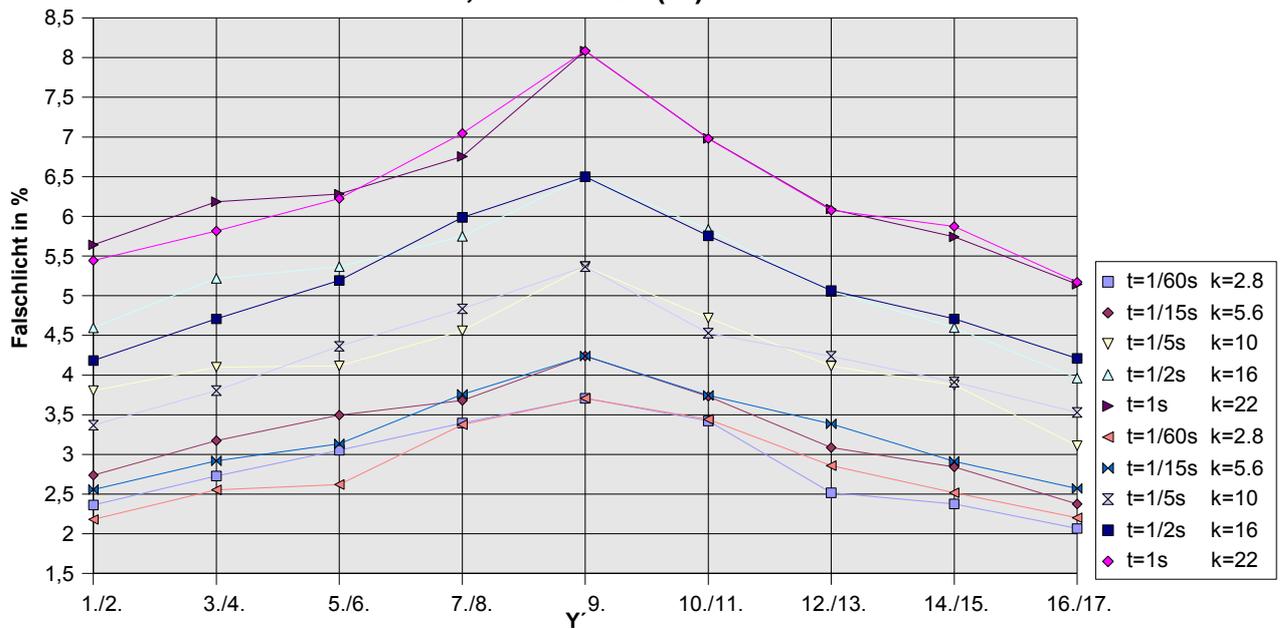
Tabelle 13: Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit zusätzlicher Gegenlichtquelle Nr.1-3: Nikon D70s ; Tameron Macro SP(IF) 28-70:28mm ; t=1/50s k=2.8

16.2.8 Hintergrund des Testcharts im Auflichtstand

**Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit normalen Hintergrund
Nikon D70s ; Tamron SP(IF)28-75:28mm**



**Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit hellen Hintergrund
Nikon D70s ; Tamron SP(IF)28-75:28mm**



Objektiv: Tamron SP (IF) 28-75mm:28mm 1:2.8 Macro		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/60s k=2.8	Digitalwert Schatten:	4,28	4,06	4,74	4,6	4,91	4,91	5,52	5,97	6,54	5,78	5,43	4,75	4,61	4,45	4,4	3,64	3,67
	Digitalwert Lichter:	218,08	211,83	219,59	215,82	216,52	218,93	216,74	217,4	216,2	215,11	213,74	211,83	212,48	209,49	210,68	205,87	207,39
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	1,95	1,91	2,15	2,12	2,26	2,23	2,54	2,73	3,02	2,68	2,53	2,23	2,16	2,11	2,08	1,76	1,76
Nr.2 t=1/15s k=5.6	Digitalwert Schatten:	4,91	4,45	5,52	5,06	5,43	5,44	6,03	6,86	7,45	6,52	6,04	5,18	5,07	4,87	4,96	3,98	4,58
	Digitalwert Lichter:	214,65	208,27	216,65	211,74	216,2	212,56	213,2	214,55	212,68	211,73	211,11	209,05	210,16	206,3	207,7	202,22	204,54
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	2,28	2,13	2,54	2,38	2,5	2,55	2,82	3,19	3,49	3,07	2,85	2,47	2,4	2,35	2,38	1,96	2,23
Nr.3 t=1/5s k=10	Digitalwert Schatten:	6,86	5,63	7,81	6,85	7,86	8,38	8,75	8,99	9,94	8,81	8,61	7,67	7,73	6,77	6,95	5,12	5,67
	Digitalwert Lichter:	218,88	211,86	220,58	216,5	217,52	220,11	218,25	219,02	217,79	216,72	215,96	212,44	214,3	210,07	211,47	206,03	208,37
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	3,12	2,65	3,53	3,15	3,6	3,8	4	4,1	4,56	4,06	3,98	3,6	3,6	3,21	3,28	2,47	2,71
Nr.4 t=1/2s k=16	Digitalwert Schatten:	8,54	7,52	9,77	8,83	9,77	9,51	10,77	11,31	12,64	10,85	10,51	9,22	9,01	8,45	8,76	6,79	7,2
	Digitalwert Lichter:	218,37	211,22	220,04	215,94	219,69	217,12	217,76	218,62	217,41	216,42	215,57	212,09	213,51	209,56	211,07	205,6	207,7
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	3,9	3,55	4,43	4,08	4,44	4,37	4,94	5,16	5,8	5	4,87	4,34	4,21	4,02	4,14	3,29	3,46
Nr.5 t=1s k=22	Digitalwert Schatten:	10,77	9,66	11,78	10,74	12,02	11,68	12,79	13,44	14,8	13,17	13,03	11,1	11,33	10,25	10,48	9,06	9,26
	Digitalwert Lichter:	218,84	211,8	220,66	216,68	220,25	217,62	218,48	219,19	218,22	216,89	216,33	212,66	214,95	210,36	211,74	206,23	208,5
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	4,91	4,55	5,33	4,95	5,45	5,36	5,85	6,12	6,77	6,06	6,01	5,21	5,26	4,86	4,94	4,38	4,43

Abbildung 25: Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit normalen Hintergrund

Nikon D70s ; Tamron SP(IF)28-75:28mm

Objektiv: Tamron SP (IF) 28-75mm:28mm 1:2.8 Macro		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Nr.1 t=1/60s k=2.8	Digitalwert Schatten:	5,54	4,98	6,43	5,94	7,18	6,11	7,91	7,89	8,61	7,91	7,94	5,72	6,55	5,36	5,7	4,58	4,91
	Digitalwert Lichter:	233,93	227,31	235,03	231,69	234,44	232,33	232,56	233,08	231,77	230,74	229,92	226,69	228,49	224,49	225,6	220,54	222,26
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	2,36	2,18	2,73	2,55	3,05	2,62	3,39	3,38	3,71	3,42	3,44	2,52	2,86	2,38	2,52	2,07	2,2
Nr.2 t=1/15s k=5.6	Digitalwert Schatten:	6,35	5,77	7,42	6,7	8,15	7,23	8,51	8,71	9,79	8,55	8,53	6,97	7,67	6,34	6,54	5,21	5,68
	Digitalwert Lichter:	231,3	224,68	233,06	228,78	232,7	229,95	230,57	231,29	230,35	228,63	227,26	225,29	226,08	222,33	223,89	218,4	220,35
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	2,74	2,56	3,17	2,92	3,5	3,13	3,68	3,76	4,24	3,73	3,74	3,09	3,38	2,84	2,91	2,38	2,57
Nr.3 t=1/5s k=10	Digitalwert Schatten:	8,93	7,67	9,69	8,84	9,61	10,29	10,68	11,35	12,55	10,97	10,48	9,42	9,77	8,75	8,87	6,89	7,9
	Digitalwert Lichter:	234,12	227,19	235,8	231,88	233,16	235,52	233,87	234,39	233,54	231,97	231,12	228,51	230,22	225,25	226,22	221,02	223,16
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	3,8	3,37	4,1	3,8	4,11	4,36	4,56	4,83	5,37	4,72	4,53	4,11	4,24	3,88	3,91	3,11	3,53
Nr.4 t=1/2s k=16	Digitalwert Schatten:	10,74	9,49	12,28	10,9	12,62	12,08	13,42	14,02	15,16	13,51	13,29	11,52	11,65	10,35	10,65	8,75	9,39
	Digitalwert Lichter:	233,38	226,3	235,01	231,07	234,81	232,27	233,14	233,89	232,93	231,31	230,67	227,44	229,56	224,71	225,88	220,37	222,54
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	4,59	4,18	5,22	4,71	5,37	5,19	5,75	5,99	6,5	5,83	5,75	5,05	5,07	4,6	4,71	3,96	4,21
Nr.5 t=1s k=22	Digitalwert Schatten:	13,22	12,38	14,6	13,51	14,82	14,53	15,82	16,54	18,91	16,25	16,17	13,97	14,02	12,97	13,32	11,41	11,57
	Digitalwert Lichter:	234,1	227,07	235,77	231,96	235,67	233,24	233,95	234,56	233,74	232,38	231,37	228,98	230,4	225,54	226,48	221,32	223,49
	Defekte Pixel:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Falschlicht in %:	5,64	5,44	6,18	5,81	6,28	6,22	6,75	7,04	8,08	6,98	6,98	6,09	6,07	5,74	5,87	5,14	5,17

Abbildung 26: Falschlichtmessung (Auflicht+JPEG) mit hellen Hintergrund

Nikon D70s ; Tamron SP(IF)28-75:28mm

17 Erklärungen

17.1 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, die vorgelegte Arbeit in dem gemeldeten Zeitraum ohne fremde Hilfe verfasst und mich keiner anderen als der angegebenen Hilfsmittel und Quellen bedient zu haben.

Köln, den 13.09.2006

(Andreas Binder)

17.2 Sperrvermerk

Die Einsicht in die vorgelegte Arbeit ist nicht gesperrt.

17.3 Weitergabeerklärung

Ich erkläre hiermit mein Einverständnis, dass das vorliegende Exemplar meiner Diplomarbeit oder eine Kopie hiervon für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden darf.

Köln, den 13.09.2006

(Andreas Binder)