



**Bachelorarbeit im Studiengang
Augenoptik / Augenoptik und Hörakustik**

Radiometrische Kalibrierung einer Spiegelreflexkamera

Zugelassene Abschlussarbeit im Studiengang Augenoptik / Augenoptik und
Hörakustik
zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

vorgelegt von

Barbara Bölker

Tag der Einreichung:

19.09.2014

Prüfer:

Prof. Dr. Jürgen Nolting

Zweitprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Günther Dittmar

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine andere als die angegebene Literatur benutzt habe. Alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehenden Ausführungen meiner Arbeit sind besonders gekennzeichnet. Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Formelzeichen	V
Abkürzungen	VI
Abstract	1
Abstract	2
1 Ziel der Arbeit	3
2 Grundlagen.....	4
2.1 Lichttechnische Grundlagen.....	4
2.2 Stand der Technik der orts aufgelösten Leuchtdichtemessung	7
2.3 Hintergrund	9
3 Experimentelle Methodik	10
3.1 Eingesetzte Geräte	10
3.2 Versuchsaufbauten	11
3.2.1 Versuchsaufbau zur Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel	12
3.2.2 Versuchsaufbau für die fotografische Aufnahme der strahlenden Fläche der Ulbricht-Kugel mit der Spiegelreflexkamera.....	14
4 Visual Basic Programme.....	20
4.1 Programm zur Bestimmung der Häufigkeiten der Grauwerte aus den Messdaten.....	20
4.2 Programm zur Bestimmung der Leuchtdichte aus den Bilddaten	24

5 Versuchsdurchführung	73
5.1 Untersuchungen zur Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel	73
5.2 Versuchsdurchführung für die Aufnahme der strahlenden Fläche der Ulbricht-Kugel mit der Spiegelreflexkamera.....	76
6 Ergebnisse	81
7 Diskussion	91
8 Zusammenfassung und Ausblick	92
9 Literaturverzeichnis	94
10 Abbildungsverzeichnis	96
Tabellenverzeichnis	97
Diagrammverzeichnis	98
Formelverzeichnis	99
Anhang	100

Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Bedeutung
L	cd/m ²	Leuchtdichte
I	Cd	Lichtstärke
A	m ²	Fläche
α	°	Winkel
L _{eff.}	cd/m ²	effektive Leuchtdichte
L _{eff.ISO}	cd/m ²	effektive Leuchtdichte bzgl. ISO-Einstellung
L _{eff.P}	cd/m ²	effektive Leuchtdichte, berechnet mit Potenzfunktion
L _U	cd/m ²	Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel
k	-	Blendenzahl
t	s	Belichtungszeit
ISO	-	ISO

Abkürzungen

Zeichen	Bedeutung
AEB	Auto Exposure Bracketing Belichtungsautomatik
evtl.	eventuell
ISO	International Organization for Standardization Internationale Organisation für Normung
i.d.R	In der Regel
CCD	Charge-Coupled Device
effkt.	effektive
JPEG	Joint Photographic Experts Group
Ang.	Angabe
u.U.	unter Umständen
bzgl.	bezüglich

Abstract

Die Leuchtdichte spielt in der Lichttechnik eine zentrale Rolle. Die korrekte Bestimmung der Leuchtdichte ist wichtig, allerdings messtechnisch anspruchsvoll. Die Arbeit beschreibt die Kalibrierung einer handelsüblichen CCD-Spiegelreflexkamera, um mit dieser Leuchtdichtemessungen durchführen zu können.

Für die Kalibrierung wird zunächst eine Ulbricht-Kugel mit Hilfe eines Radiospektrometers charakterisiert. Anschließend werden Bilder der strahlenden Fläche der Ulbricht Kugel bei verschiedenen Leuchtdichten und unterschiedlichen Kameraeinstellungen aufgenommen.

Daraus kann der Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und Grauwert des aufgenommenen Bildes hergestellt werden und eine Formel zur Berechnung der Leuchtdichte aus dem Grauwert ist bestimmbar. Um die Bilder bequem auswerten zu können, wird ein Programm unter Visual Basic geschrieben.

Das Programm bestimmt die Leuchtdichte für alle Pixel im Bild und stellt das Bild anschließend für mehrere Leuchtdichtebereiche in Falschfarben dar. Mit dem Mauszeiger kann der Grauwert und die Leuchtdichte punktuell abgerufen werden. Zudem berechnet das Programm aus einem manuell eingegebenen Grauwert die Leuchtdichte.

Eine Anzeige in Originalgröße oder eine Ausschnittvergrößerung des Bildes sind möglich. Zur Anzeige der Leuchtdichte stehen drei verschiedene Skalen zur Verfügung.

Abstract

Luminance plays a central role in photometry. The precise measurement of luminance is important but rather demanding. In this paper the calibration of a standard CCD-reflex camera is described so that luminance measurements can be performed.

For the calibration an Ulbricht sphere has been characterized by means of a radio spectrometer. Hereafter pictures with different luminance level have been taken at various camera settings.

Hereby the relation between luminance and grey value can be determined and a formula for calculating the luminance can be derived. For the comfortable analysis of the pictures a comfortable software tool has been written.

The program determines the luminance for each pixel within the picture and displays it in false colours for several luminance ranges. By means of the mouse pointer the grey value and luminance of each pixel can be displayed. In addition the program calculates the luminance for a manually entered grey value.

An overall view in original size and a display of zoomed detail is both possible. The luminance can be displayed in three different scales.

1 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, eine handelsübliche Spiegelreflexkamera radiometrisch zu kalibrieren, um mit dieser Leuchtdichtemessungen vornehmen zu können. Hierfür muss ein Zusammenhang zwischen Leuchtdichte der aufgenommenen Szenerie und Grauwert des mit der Kamera aufgenommenen Bildes ermittelt werden. Dadurch sollte eine Formel zur Berechnung der Leuchtdichte aus dem Grauwert ableitbar sein.

Ein weiteres Ziel ist die Berücksichtigung der Einstellparameter der Kamera (Brennweite, ISO-Einstellung, Blende und Belichtungszeit), um für alle möglichen Kameraeinstellungen die Leuchtdichte aus einem schwarz/ weiß-Bild bestimmen zu können. Als Strahlungsnormal soll eine Ulbricht-Kugel verwendet werden, deren Leuchtdichte einstellbar ist. Die strahlende Öffnung der Ulbricht-Kugel soll mit verschiedenen Kameraeinstellungen fotografiert werden.

Eine Ulbricht-Kugel weist an jedem Punkt der strahlenden Fläche dieselbe Leuchtdichte auf und ist somit für die Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Leuchtdichte und Grauwert sehr gut geeignet. Damit sichergestellt werden kann, dass die Leuchtdichten der Ulbricht-Kugel der in der Bedienungsanleitung angegebenen entsprechen, müssen die Werte mit einem unabhängigen Messverfahren überprüft werden, denn die Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel kann sich durch Alterung der eingesetzten Glühlampe ändern. Hierfür eignet sich ein rückführbar kalibriertes Radiospektrometer, da es im Vergleich zu nicht spektral auflösenden Verfahren nur einen geringen Fehler aufweist.

Zur komfortablen Auswertung soll ein Programm geschrieben werden, das ein Bild einliest, für jedes Pixel den Grauwert ausliest und daraus die Leuchtdichte berechnet. Anschließend soll das Bild in Falschfarben dargestellt werden, um die Leuchtdichteverteilung sichtbar zu machen. Außerdem soll das Programm die EXIF-Daten des Bildes ermitteln, in denen die Einstellparameter der Kamera gespeichert sind. Zudem soll es möglich sein den Grauwert und die Leuchtdichte lokal im Bild mit Hilfe des Mauszeigers abzurufen. Des Weiteren wäre eine Möglichkeit der Vergrößerung des Bildes wünschenswert. Als für diese

Aufgabenstellung geeignete Programmiersprache soll Visual Basic eingesetzt werden.

2 Grundlagen

Das Kapitel Grundlagen untergliedert sich in die Kapitel lichttechnische Grundlagen (2.1), Stand der Technik der ortsaufgelösten Leuchtdichtemessung (2.2) und Hintergrund (2.3). Im Kapitel der lichttechnischen Grundlagen wird die Wichtigkeit der Leuchtdichte dargestellt und die relevanten Kenngrößen beschrieben. Das Kapitel Stand der Technik geht auf verschiedene etablierte Geräte und Verfahren zur ortsaufgelösten Leuchtdichtemessung ein. Im Kapitel Hintergrund wird die Funktionsweise der Geräte beschrieben.

2.1 Lichttechnische Grundlagen

Die ortsauflösende Leuchtdichtebestimmung wird für die Prüfung von Fluchtwegen und Notausgängen benötigt. Auch für die Auswertung der Sichtverhältnisse bei einem Unfall wird sie herangezogen. Durch Leuchtdichtebestimmungen ist es möglich, eine Situation im nächtlichen Straßenverkehr zu erfassen. Es kann festgestellt werden, welche Leuchtdichte die Außenbeleuchtung von Gebäuden, Lampen und Signallampen aufweist und Blendquellen sind bestimmbar. Zudem spielt die Messung eine bedeutende Rolle für die Untersuchung der Augensicherheit von Expositionssituationen.

Bei ortsauflösenden Verfahren ist zudem die Bestimmung der Gleichmäßigkeit von Leuchtdichte und Leuchtdichteverläufen möglich, zum Beispiel an Displays. Auch eine Bestimmung des Kontrasts ist realisierbar. Dies ist bei Situationen, in denen scharfe Konturen fehlen, sinnvoll. Z.B. bei Nebel, Nieselregen, schmieriger Windschutzscheibe oder einem verkratzten Visier. (Hentschel und Bernitz 2002; Wueller 2009; Hoger 2009; Nolting und Dittmar 2014)

Die Belichtung H ist das Zeitintegral der Beleuchtungsstärke E . Sie hängt von der eingestellten Belichtungszeit t und der Blendenzahl k ab. (Präkel et al. 2010)

Die Leuchtdichte L beschreibt den visuell wahrnehmbaren Helligkeitseindruck einer leuchtenden oder angeleuchteten Fläche. Die Leuchtdichte korrespondiert als einzige lichttechnische Größe direkt mit einem Sinneseindruck. (Ris 1992)

Die Leuchtdichtemessung ist eine Objektmessung. (Marchesi 1987) Für selbstleuchtende Flächen kann die Leuchtdichte aus dem Verhältnis zwischen der Lichtstärke I der selbstleuchtenden Quelle in Blickrichtung und der in dieser Richtung projizierten Fläche A errechnet werden.

Die Lichtstärke I gibt den Wert für einen in eine bestimmte Richtung abgestrahlten Lichtstrom Φ an. Der Lichtstrom Φ ist die mit der Empfindlichkeitskurve des Auges bewertete Strahlungsleistung der Lichtquelle in alle Richtungen. Als Empfindlichkeitskurve wird dabei der international festgelegte spektrale Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ verwendet, festgelegt in der Norm DIN 5031 (Nolting, Dittmar 2005)

Die Einheit des Lichtstroms ist Lumen (lm). Die Lichtstärke wird in Candela (cd) angegeben und die Fläche in Quadratmetern (m^2). Daraus resultiert für die Leuchtdichte die Einheit Candela pro Quadratmeter (cd/m^2). (Zieseniss 1991)

Bei selbst leuchtenden bzw. beleuchteten Flächen ist die Leuchtdichte L durch den von der Fläche A emittierten bzw. remittierten Lichtstrom I bestimmt. (Marchesi 1987) Bei senkrechter Messung und homogener Abstrahlung lässt sich die Leuchtdichte mit der Formel (2.1) berechnen.

$$L = \frac{I}{A} \quad (2.1)$$

Bei Messung unter einem Winkel α zur Flächennormale der strahlenden Fläche gilt Formel (2.2) (Ris 1992)

$$L = \frac{I}{A} \cdot \cos \alpha \quad (2.2)$$

Für die Radiometrie und Photometrie gilt die Norm DIN EN 5031. Eine Reihe von Normen legen die Erfordernisse für die Beleuchtung in verschiedenen Sehsituationen fest. Im Straßenverkehr gelten für Lampen und Tunnel die DIN Normen 5044 (Dotzel 1989), 50724 und 67524 (Wueller 2009). Die Norm 5044 legt die minimalen Kriterien für die Helligkeit und Gleichmäßigkeit für trockene und dadurch diffus reflektierende Fahrbahnen fest. Für die Beleuchtung an Arbeitsplätzen greift unter anderem die DIN Norm 5035 (Zieseniss 1991) Für Laser gilt die Sicherheitsnorm DIN EN 62471 (Nolting/Dittmer 2014) und für

inkohärente Strahlung die DIN EN 62471. Für die Messung personenbezogener Expositionen gilt die Norm DIN EN 14255. (Zieseniss 1991; Bildauflösende Leuchtdichtemeßkamera LMK 96/98; Wueller 2009; Schmidt 2004; Dotzel 1989; Nolting und Dittmar 2014; DIN EN 14255-1:2005; DIN EN 5031-1:1982-03)

Geräte zur präzisen Bestimmung der Leuchtdichte sind in diesem Zusammenhang sehr wichtig. Die Leuchtdichte ist im Gegensatz zu anderen Größen durch den Menschen nicht genau genug abschätzbar. (Ris 1992) Eine präzise Messung ist daher unerlässlich.

Im Rahmen dieser Arbeit soll zur Messung eine digitale Spiegelreflexkamera eingesetzt werden, die die Strahlung mit einem CCD-Chip erfasst. In CCD-Kameras wird diese nach der Erfassung digitalisiert und als Grauwert abgespeichert. (Kotowicz 2005) Mit Hilfe einer CCD-Kamera lässt sich also prinzipiell die Leuchtdichte ermitteln. Allerdings arbeiten marktübliche Kameras nicht linear, so dass der gespeicherte Grauwert nicht direkt proportional zur Leuchtdichte der fotografierten Szenerie ist.

Schon aus der Zeit der Analogfotografie sind Versuche bekannt, die Leuchtdichte fotografisch zu bestimmen. Bei bekannter Blenden- und Belichtungseinstellung und bei bekannter Empfindlichkeit des Films kann die Leuchtdichte berechnet werden. Für einen 200-ASA-Film ergibt sich z.B. die folgende Gleichung 2.3 (Ris 1992)

$$L = 0,2 \cdot \left(\frac{(k)^2}{t} \right) \quad (2.3)$$

Man unterscheidet spektrale und bildauflösende (ortsauflösende) Verfahren zur Leuchtdichtemessung. (Schwabedissen 2008) Die Bestimmung mittels CCD-Kamera ist ein bildauflösendes Verfahren.

Eine Messung mittels CCD-Kamera bietet erhebliche Vorteile. Der Hauptvorteil ist, dass mit einer Aufnahme die Leuchtdichteverteilung des gesamten Bildausschnitts ortsaufgelöst bestimmt werden kann. Dadurch ist eine schnelle Messung realisierbar. Zudem liegen dabei für alle Messpunkte die gleichen Messbedingungen vor. Durch die digitale Aufnahme ist zudem eine programm-

unterstützte Auswertung möglich und die Aufnahme kann gesichert werden. (Hentschel und Bernitz 2002)

2.2 Stand der Technik der orts aufgelösten Leuchtdichtemessung

Kameras zur Bestimmung der Leuchtdichte werden bereits von verschiedenen Firmen produziert, z.B. von Techno Team, Pro Metric und Instrument Systems. Diese Geräte sind sehr teuer.

Eine Alternative stellt eine handelsübliche digitale Fotokamera mit einem CCD-Chip dar. Der CCD-Chip erzeugt ein pixelweise abrufbares analoges Ausgangssignal, das stetig und nichtlinear von der lokalen Strahldichte abhängt, gewichtet mit einer Herstellerspezifischen spektralen Gewichtungsfunktion. Nach der Digitalisierung werden diese Signale pixelweise als Grauwert gespeichert. Bei bekanntem Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und Grauwert ist die Ermittlung der Leuchtdichte aus dem gespeicherten Bild somit möglich.

Es existieren verschiedene Arbeiten darüber, wie eine solche Kamera für die Vermessung von Leuchtdichte kalibriert werden kann. Die Ansätze dafür sind vielfältig.

Hoger hat eine Arbeit über den Vergleich des Leuchtdichtemessgerätes LMT L 1009 zu einer Kamera Nikon D 200 mit einem Festbrennweitenobjektiv vom Typ Sigma (30 mm, 1:1,4) verfasst. Im Zuge der Arbeit wird die Kamera kalibriert. Alle Einstellungen der Kamera werden hierbei manuell vorgenommen, Automatikfunktionen sind abgeschaltet. Die ISO-Einstellung hat einen Wert von 100, die Bildoptimierung ist im Menü auf „normal“ gestellt, Belichtungssteuerung manuell, Belichtungszeit 1 s, Blende 1:5, Tonwertkorrektur aus, Scharfzeichnen aus, Weißabgleich 5000 K, Farbsättigung 0 und Farbkorrektur 0 Grad. Für die Kalibrierung kommt ein TFT-Monitor zum Einsatz. Über den Monitor werden verschiedene Grautöne eingeblendet und mit dem Leuchtdichtemessgerät aus einem Abstand von 3,3 m die Leuchtdichte gemessen.

Über die Kamera wird der Monitor bei unterschiedlichen Blenden und Belichtungszeiten fotografiert. Im Ergebnis ist die gemessene Leuchtdichte jeweils für

gleiche Belichtungszeiten zum Grauwert aufgetragen. Die gemessene Leuchtdichte wird anschließend halblogarithmisch aufgetragen. Daraus ergibt sich ein linearer Kurvenverlauf. Über diesen lässt sich aus einem Grauwert für eine bestimmte Belichtungszeit die Leuchtdichte errechnen. Über Extrapolation ist eine Umrechnung auf andere Belichtungszeiten möglich. (Hoger 2009)

Wüller und Gabele haben 2009 eine Arbeit zur Digitalen-Standard-Spiegelreflexkamera für den mesopischen Bereich verfasst. Im selben Jahr hat Wüller eine Arbeit zur Nutzung der digitalen Kamera als Leuchtdichtemessgerät geschrieben.

In beiden Arbeiten wird dieselbe Kalibrierungsmethode nach ISO 14524 genutzt. Für die Kalibrierung sind alle Bildoptimierungsverfahren abgestellt. Der Weißabgleich ist automatisch. Ausgewertet wird das im JPEG-Format mit niedrigster Kompressionsrate gespeicherte Bild, um Komprimierungsartefakte zu vermeiden. Künstliche Lichtquellen müssen vermieden werden.

Die Kalibrierung nach ISO 14524 erfolgt über ein Testchart, das an einer Ulbricht-Kugel angebracht ist. Das Testchart hat einen Kontrast von 10000:1 und besteht aus 20 unterschiedlichen Graustufenfeldern. Über die Kamera wird mehrmals das Testchart fotografiert. Eine Analyse-Software bestimmt für jedes Grauwertfeld einen Mittelwert und prüft die Reproduzierbarkeit mit Hilfe der Mehrfachaufnahmen.

Für die Auswertung werden die Grauwerte über der Leuchtdichte aufgetragen. Aus den Messwerten kann dann eine polynomische Annäherung erfolgen. Bei geänderter Belichtungseinstellung ist der Messwert über einen Einstellungsabhängigen Faktor korrigierbar. So können die Messwerte bei der gegebenen Belichtungseinstellung umgerechnet werden auf die Messwerte, die sich ergeben hätten, wenn die während der Kalibrierung eingesetzte Belichtungseinstellung angewandt worden wäre. (Wueller und Gabele 2009; Wueller 2009)

2.3 Hintergrund

Ein CCD-Chip nimmt die Leuchtdichte auf und wandelt diese in einen Grauwert um. (Kotowicz 2005) Die Definition des Grauwerts besagt, dass dieser ein Helligkeitswert (Abstufung von Grau) ist. Der Grauwert entsteht nach der Digitalisierung des Bildsignals und ist ein Maß für die während der Belichtungszeit auf die einzelne Sensorzelle des CCD-Chips aufgetroffenen Photonen. (Grauwert, der; Wueller 2009)

Quellen bei denen für alle Abstrahlwinkel eine gleiche Leuchtdichte vorliegt, werden Lambertstrahler genannt. (Gall 2007) „Befindet sich eine Punktlichtquelle mit Lambertcharakteristik auf der Innenfläche eines Kugelmantels und zeigt ihr maximaler Lichtstärkevektor mit dem Betrag I_0 zum Kugelmittelpunkt, wird jedes Flächenelement des Kugelmantels mit einer konstanten Belichtungsstärke angestrahlt.“ (Banda 2002)

Eine Ulbricht-Kugel ist eine Hohlkugel, die innenseitig mit einer diffus remittierenden Beschichtung versehen ist. Als Beschichtung kommt meistens BaSO_4 zum Einsatz. Die Remissionscharakteristik sollte möglichst cosinusförmig sein. Dadurch ist die Ulbricht-Kugel ein möglichst idealer Lambert-Strahler. (Nolting 2006) Ulbricht-Kugeln sind gut geeignet, um Messungen durchzuführen bei denen eine vorgegebene gleichmäßige Leuchtdichte benötigt wird.

Zur Überprüfung einer Ulbricht-Kugel eignen sich Spektralradiometer. Sie stellen ein gutes Referenzgerät dar und erreichen eine unübertroffene Messpräzision im Vergleich zu Leuchtdichte- und Farbmesskameras, vor allem bei scannenden Systemen. Diese bieten die beste Streulichtunterdrückung.

Ein Spektralradiometer zerlegt das über ein Glasfaserkabel eingekoppelte Licht über einen Gittermonochromator spektral. Das Radiometer misst im Anschluss daran das monochromatische Licht. Dadurch wird der komplette Verlauf der spektralen Bestrahlungsstärke bestimmt. (Schwabedissen 2008; Nolting 2006)

3 Experimentelle Methodik

Im Folgenden werden die für die Durchführung der Arbeit eingesetzten Geräte (Kapitel3.1) und die verwendeten Versuchsaufbauten (Kapitel3.2) beschrieben.

3.1 Eingesetzte Geräte

Folgende Geräte und Komponenten wurden eingesetzt:

- **Ulbricht-Kugel:** SpectraLuminance Standard Code 2596 (SN 1958)
 - o **Farbtemperatur bei verschiedenen Betriebsspannungen:**
 - **7,4 Volt:** 2854 Kelvin
 - **4,2 Volt:** 2365 Kelvin
 - **2,7 Volt:** 2000 Kelvin
- **Radiospektrometer:** Instrument Systems CAS 140 CT (SN 01014204)
 - o **Teleskopoptik:** Instrument Systems TOP 100
 - o **Lichtfaserkabel:** Instrument Systems optische Messtechnik Model: TOP100-102
 - o **Objektiv:** Nikon f 60, k 2,8
- **Laptop zur Steuerung des Radiospektrometers:** Sony Vaio Personal Computer Model PCG-8Q8M
 - o **Betriebssystem:** Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 1
 - o **Programm:** SpecWin Pro 2.1.7 beta
- **Stromversorgung:** 2x Agilent E 3632 A
- **Multimeter:** ABB Metrawatt Metra Hit 16S FF 1,6 / 500 G 16 A / 600 V
- **Verbindungskabel**
- **Spiegelreflexkamera:** Canon EOS 600 D DS126311 (SN 343077133141)
 - o **Objektiv:** Canon Zoom Lens EF-S 18 - 55 mm 1:3,5 - 5,6 IS II IMAGE STABILIZER MACRO 0,25 m/ 0,8 ftØ 58 mm (SN 0946098918)
 - o **Akku:** Canon Battery Pack LP-E8 7,2 V 1120 mAh 8,1 Wh (Li-ion) 84VN C1 MH27866 RH7G

- **BatteryCharger:** LC-E8E AC 100 - 240 V 50/60 Hz 14 VA - 23 VA
0,25 A DC 8,4 V 0,72 A SU07613-1001
- **Mini USB Kabel:** Canon AWM 2725 VW-1 E52828-DG
- **Laptop:** Apple Mac Book Pro(SN W8035VPRATM)
 - **Betriebssystem:** Apple Mac OS X Version 10.6.8
 - **Programm:** EOS Utility Version 2.10.2.0
 - **Programm:** Microsoft Excel für Mac 2011 Version 14.4.3
 - **Programm:** Virtual Box Version 4.3.12 r93733
 - **Betriebssystem:** Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 3
 - **Programm:** Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition Version 9.0.21022.8 RTM
 - **Programm:** Terminal Version 2.1.2 (273.1)
 - **octave:** 3.4.0
 - **gnuplot:** 4.2.5
 - **Programm:** Aqua Term v1.0.1 (1.0.1)
 - **Programm:** Text Edit Version 1.6 (264)
- **Stativ:** SLIK SL-67
- **2 Optische Bänke und Halterungen für die optischen Bänke**
- **Lineal, Meterstab**

3.2 Versuchsaufbauten

Für die Kalibrierung der Spiegelreflexkamera wird die Ulbricht-Kugel als Referenzlichtquelle eingesetzt. Die Ulbricht-Kugel strahlt bei einer Versorgungsspannung von 7,2 Volt mit einer Farbtemperatur von 2854 K. Bei einer Spannung von 4,2 Volt ist die Farbtemperatur 2365 K und bei 2,7 Volt 2000 K. (Bedienungsanleitung: Ulbricht-Kugel) Bei einer Spannung von 7,2 Volt entspricht das Spektrum des emittierten Lichts der Normlichtart A nach DIN5033 Teil 7. Hierzu muss die Lichtquelle eine Farbtemperatur von 2856 Kelvin und einen Wellenlängenbereich von 300-830 nm aufweisen. Die Farbkoordinaten im CIE-xy-System sind $x=0,4476$, $y=0,4074$ und $z=0,1450$. (Ris 1992; Baer 1990; Hentschel und Bernitz 2002)

Die Ulbricht-Kugel muss in einem Vorversuch mit einem Radiospektrometer überprüft werden, der in Kapitel 3.2.1 beschrieben wird. Anschließend sind die Messungen zur Kalibrierung der Kamera möglich. Der Versuchsaufbau hierzu ist in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

3.2.1 Versuchsaufbau zur Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel

Der Versuchsaufbau zur Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel ist in Abbildung 1 dargestellt. Auf der linken Seite der Abbildung ist das Radiospektrometer gezeigt und auf der rechten Seite die Ulbricht-Kugel. Die strahlende Öffnung der Ulbricht-Kugel befindet sich auf der Achse der Teleskopoptik und ist zu dieser ausgerichtet.

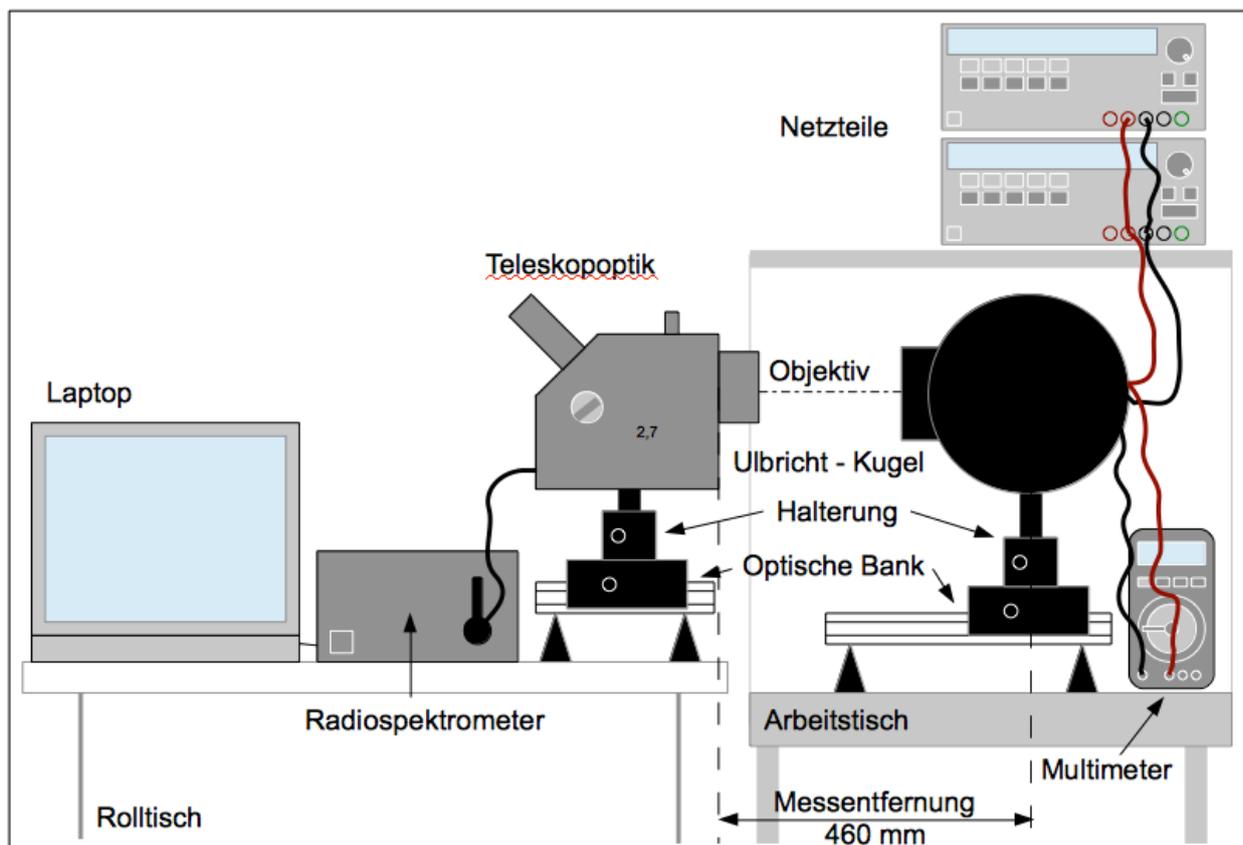


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel

Die Ulbricht-Kugel befindet sich in einer Halterung, welche auf einer optischen Bank befestigt ist. Mit Hilfe der Halterung ist eine Höhenverstellung der Ulbricht-Kugel möglich.

Zur Stromversorgung wird die Ulbricht-Kugel mit zwei parallel geschalteten Netzteilen betrieben, deren Ausgangsspannung mit dem Multimeter kontrolliert wird.

Über ein Lichtfaserkabel ist das Radiospektrometer mit der Teleskopoptik verbunden. An der Teleskopoptik befindet sich das Objektiv. Die Teleskopoptik ist ebenfalls in einer Halterung auf einer optischen Bank befestigt. Über diese Halterung ist eine Höhenverstellbarkeit möglich. Eine laterale und axiale Positionierung kann durch Verschieben der optischen Bank erfolgen. Gesteuert wird das Radiospektrometer über das Sony Notebook.

Die Austrittsöffnung der Ulbricht-Kugel muss auf die optische Achse des Objektivs der Teleskopoptik zentriert werden. Die Entfernungseinstellung des Objektivs muss auf die strahlende Fläche eingestellt werden. Hierzu kann in einem Beobachtungsookular in der Schalterstellung „View“ der Teleskopoptik die Bildschärfe und Ausrichtung visuell kontrolliert werden. Die Justierung wird erleichtert durch Vorhalten eines Lineals direkt vor die Austrittsöffnung der Ulbricht-Kugel. Die Teleskopoptik enthält eine Testmarke. Die Justierung ist optimal, wenn die Mitte der Austrittsöffnung der Ulbricht-Kugel in der Testmarke zentriert ist. Abbildung 2 verdeutlicht die Vorgehensweise: Abbildung 2a zeigt die Testmarke, Abbildung 2b die Ansicht der strahlenden Fläche der Ulbricht-Kugel durch das Okular der Teleskopoptik bei optimaler Justierung.

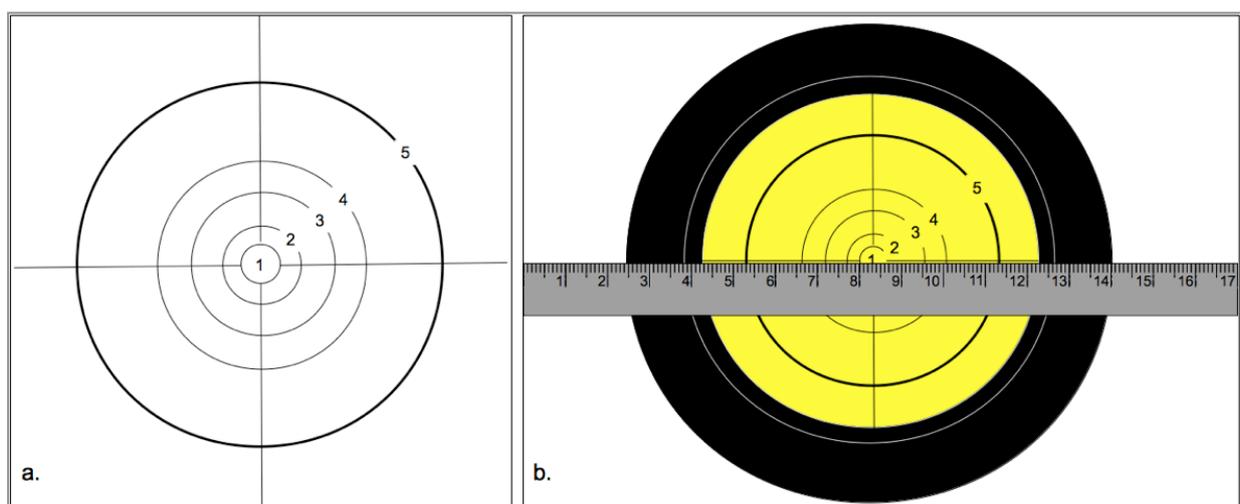


Abbildung 2: Testmarke der Teleskopoptik des Radiospektrometers

Nach korrekter Positionierung muss auf die Kugelnahat scharf gestellt werden. Hierfür wird für das Objektiv eine Blende von 2,8 und für die Teleskopoptik eine Blende von 1 eingestellt. Da ein direktes Scharfstellen der Kugelnahat nicht möglich ist, ist das Vorgehen in zwei Schritte aufgeteilt. Im ersten Schritt wird durch Drehen am Fokussiering des Objektivs auf die Beschriftung des Lineals scharf gestellt. Im nächsten Schritt muss der Abstand zwischen der Frontplatte der Teleskopoptik und der Kugelnahat um den Abstand zwischen Kugelnahat und Kugelfront verringert werden.

3.2.2 Versuchsaufbau für die fotografische Aufnahme der strahlenden Fläche der Ulbricht-Kugel mit der Spiegelreflexkamera

Für die Aufnahme der Ulbricht-Kugel mit der Spiegelreflexkamera wird der in Abbildung 3 dargestellte Versuchsaufbau eingesetzt.

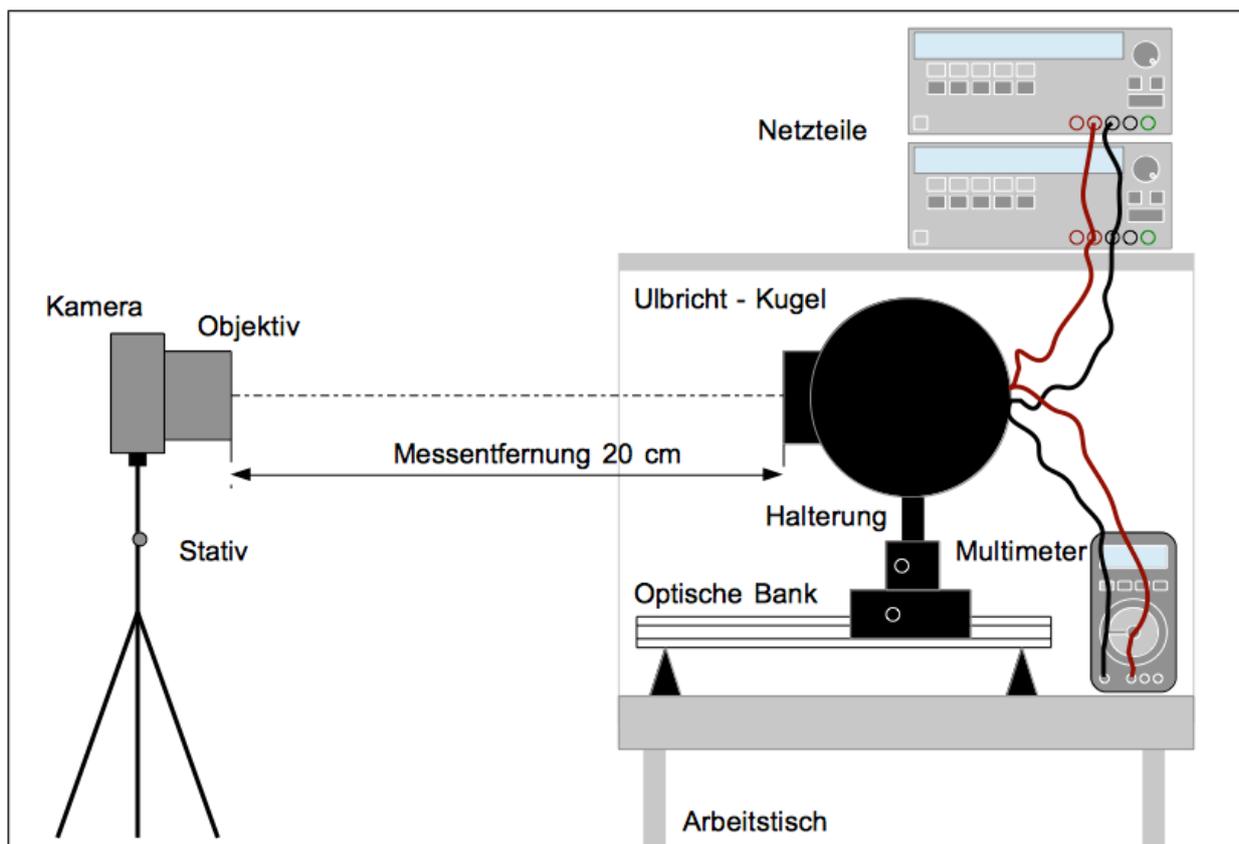


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Aufnahme der strahlenden Fläche der Ulbricht-Kugel mit der Spiegelreflexkamera

Die Kamera befindet sich auf dem Stativ, wodurch eine Höhenverstellung möglich ist. An der Kamera ist das Objektiv befestigt. Der Eintritt des Objektivs

der Kamera muss auf gleicher Höhe und mittig zum Austritt der Ulbricht-Kugel liegen. Der Abstand zwischen der Vorderfläche des Objektivs der Kamera und der Öffnung der Ulbricht-Kugel beträgt 20 cm, um die Naheinstellgrenze von 25 cm einzuhalten und möglichst nur die Öffnung der Ulbricht-Kugel aufzunehmen. Die Naheinstellgrenze ist unter dem Schriftzug MACRO auf dem Objektiv angegeben und wird von einer auf dem Kameragehäuse angebrachten Referenzmarke ausgehend gemessen. (Bedienungsanleitung Canon EOS600D) Die Referenzmarke auf der Kamera besteht aus einem Kreis, durch den ein horizontaler Strich verläuft. Abbildung 4 zeigt die frontseitigen Bedienelemente der Kamera. Die rückseitigen Bedienelemente sind in Abbildung 5 dargestellt. Abbildung 6 zeigt die Bedienelemente des Objektivs.

Die Bildaufnahmen mit der Spiegelreflexkamera erfolgen über das mitgelieferte Steuerprogramm EOS Utilities Version 2.10.2.0 der Kamera. Hierfür muss die Spiegelreflexkamera mit dem Mini USB Kabel mit dem Apple Notebook verbunden und anschließend über den Hauptschalter eingeschaltet werden. Dabei startet das Steuerprogramm automatisch. Ein manueller Start ist über das Programm CameraWindow möglich.

Für die Ausrichtung der Kamera wird im Startbildschirm Kamera-Einstellungen/ Fernaufnahme angewählt. Daraufhin öffnet sich ein Fenster. In diesem kann Livebild-Aufnahme angeklickt werden.

Ein weiteres Fenster öffnet sich, das das Livebild der Kamera anzeigt. Über die Halterung auf der optischen Bank ist die Höhe der Ulbricht-Kugel und über das Stativ die Kamera so verstellbar, dass die strahlende Öffnung der Ulbricht-Kugel sowohl vertikal als auch horizontal mittig im Livebild zu sehen ist.

Eine Positionsänderung der Kamera erfolgt durch eine Positionsänderung des Stativs. Um die Position der Ulbricht-Kugel zu ändern, muss die Position der optischen Bank auf dem Arbeitstisch verändert werden.

Die Aufnahmen der Bilder erfolgen unter manueller Einstellung für Belichtung, Blende, ISO und Brennweite.

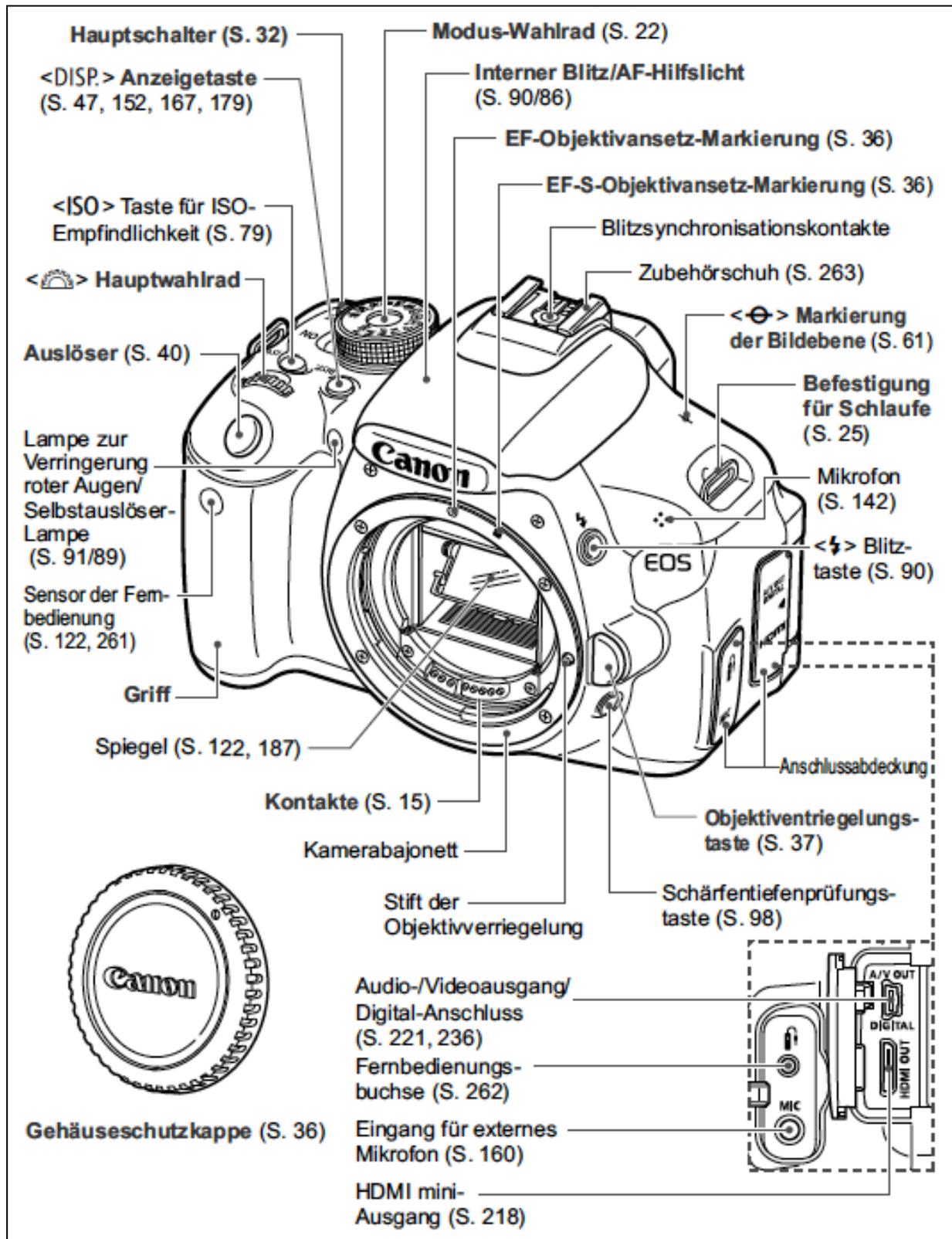


Abbildung 4: Bedienelemente der Kamera (Quelle: Bedienungsanleitung Canon EOS 600D)

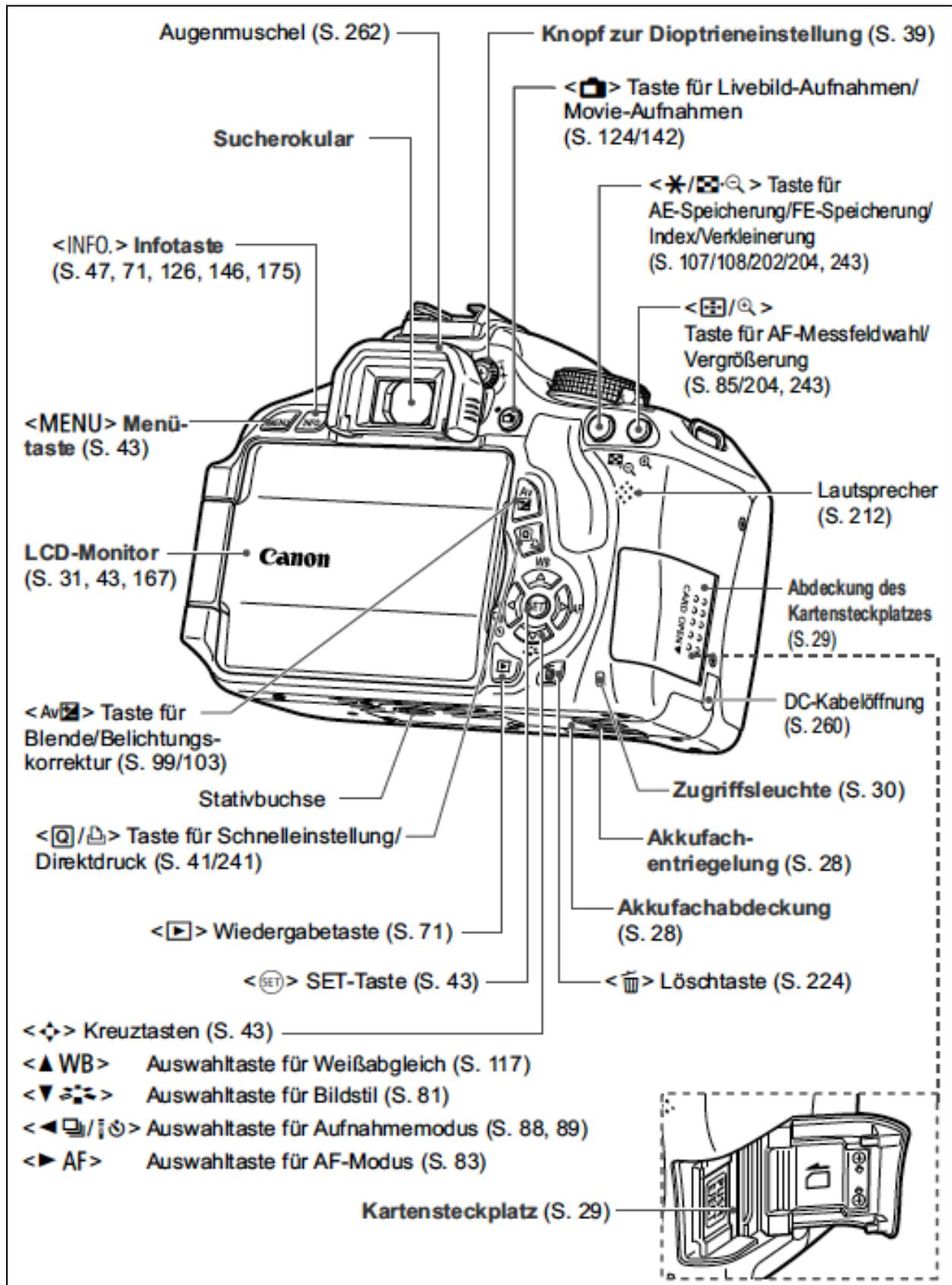


Abbildung 5: Bedienelemente der Kamera (Quelle: Bedienungsanleitung Canon EOS 600D)

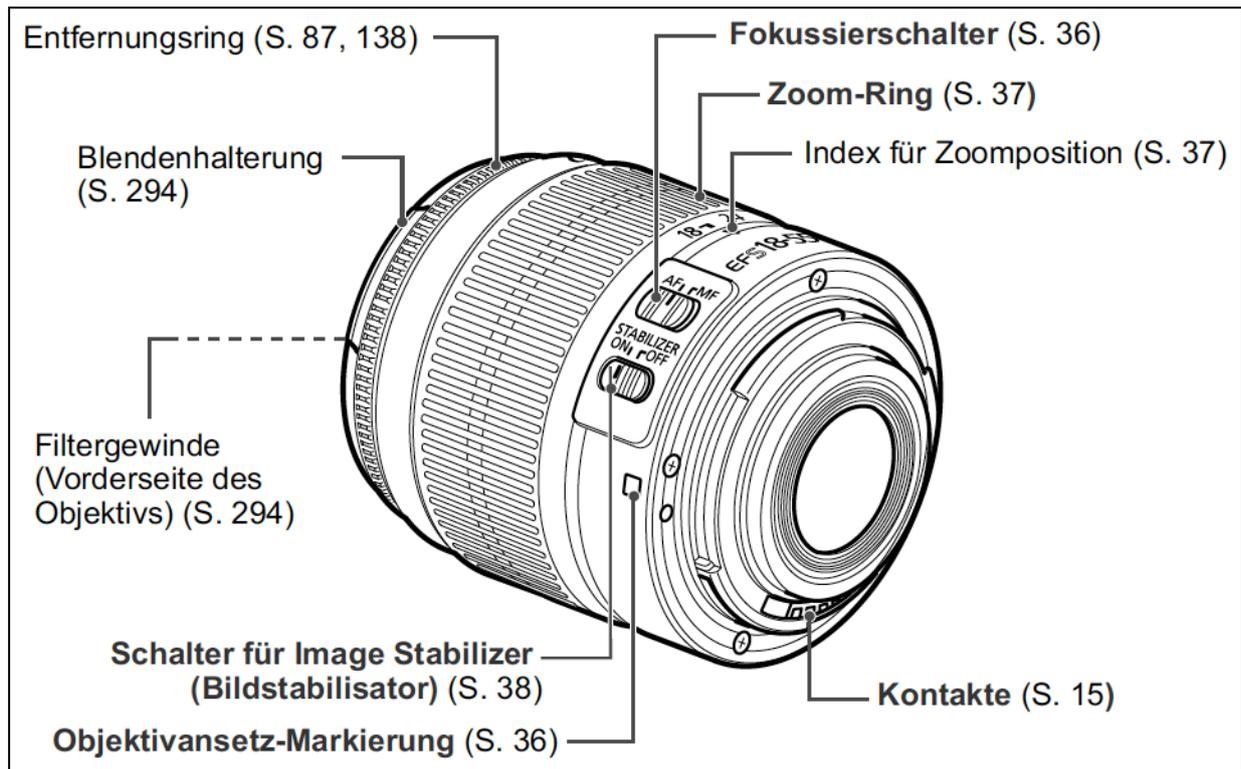


Abbildung 6: Bedienelemente des Objektivs (Quelle: Bedienungsanleitung Canon EOS 600D)

Um Belichtung, Blende und ISO manuell einstellen zu können muss das Modus-Wahlrad der Kamera auf M stehen. Die Fokussiereinstellung wird über den Fokussierschalter am Objektiv auf Autofokus eingestellt. Die Bildstabilisierung, einstellbar über die Bedienelemente des Objektivs, bleibt eingeschaltet (Stabilizer on).

Die Automatikfunktionen der Kamera müssen für die Aufnahmen deaktiviert sein. Parametereinstellungen, die Einfluss auf die Kalibrierung haben können, sind die Vignettierungs-Korrektur, die rote Augen-Korrektur, die automatische Belichtungsoptimierung, die Weißabgleichs-Korrektur und die Wahl des Weißabgleichs.

Die Vignettierungs-Korrektur und die rote Augen-Korrektur werden deaktiviert. Die automatische Belichtungsoptimierung ist aus. Für die Weißabgleichs-Korrektur erhalten die Shift-Werte und die BKT-Werte für die x-Achse und die y-Achse einen Wert von null. Die Einstellung des Weißabgleichs ist Tageslicht und die Messmethode ist auf Mehrfeldmessung eingestellt.

Eine Belichtungskorrektur ist bei manueller Einstellung der Kamera nicht möglich und muss dementsprechend nicht eingestellt werden. Im Menüpunkt AEB können automatische Belichtungsreihen konfiguriert werden. Hierüber können hintereinander Bilder mit unterschiedlicher Belichtung aufgenommen werden. Der Parameter erhält den Wert null, so dass jeweils nur ein Bild aufgenommen wird.

Wichtig ist, dass die Aufnahmen ohne Blitzlicht erfolgen. Unter Blitzlichtsteuerung im Menü lässt sich die Blitzzündung deaktivieren.

Für die Qualität wird hoch und fein gewählt. Dies wird auf dem Display der Kamera durch ein L mit einem ausgefüllten Viertelkreis davor angezeigt. Dadurch wird die maximale Ortsauflösung gewählt und die Bilddatenkompression wird auf geringste Kompressionsartefakte konfiguriert.

Die Ermittlung der Leuchtdichte erfolgt anhand von schwarz/weiß-Aufnahmen. Hierfür ist die Einstellung des Bildstils auf monochrom zu setzen. Für die Farbraumeinstellung wird sRGB gewählt.

Um die Kamera über die Software steuern zu können, muss die Livebild-Aufnahme aktiv sein. Für den Autofokus-Modus wird Live-Modus eingestellt, da in dieser Einstellung eine genaue Fokussierung erfolgt und eine automatische Fokussierung auf Gesichter per Gesichtserkennung nicht erfolgt.

Parameter die keinen Einfluss auf die Kalibrierung haben sollten, sind der Grenzwert für die ISO-Einstellung, das Seitenverhältnis, der Messtimer, die Gitteranzeige, der Signalton, die Möglichkeit der Auslösung ohne Karte und die Rückschauzeit.

Der Grenzwert für die ISO-Einstellung steht auf dem Maximalwert von 6400. Das Seitenverhältnis besitzt einen Wert von 3:2. Der Messtimer ist auf 16 Sekunden eingestellt. Die Gitteranzeige ist aus. Der Signalton und die Möglichkeit der Auslösung ohne Karte sind deaktiviert. Die Rückschauzeit ist aus.

Alle Parameter können über den Taster Menu auf der Rückseite der Spiegelreflexkameraangewählt werden. Mit den Pfeiltasten lässt sich der Parameter

ansteuern und über Set bestätigen. Die Änderung der Einstellung eines Parameters erfolgt genauso.

Die Einstellung des Weißabgleichs ist über die Taste WB an der Kamera anwählbar. Die Shift-Werte der Weißabgleichs-Korrektur lassen sich über die Pfeiltasten einstellen. Der BKT-Wert ist über das Hauptwahrad einstellbar.

Alternativ sind alle Einstellungen der Parameter über die Software möglich. Änderungen für die Einstellung der Belichtungszeit, Blende und ISO erfolgen über das Programm, können aber auch direkt über die Kamera geändert werden.

4 Software zur Auswertung der Messungen

Das Kapitel 4 beschreibt alle Programme, die im Rahmen dieser Arbeit erstellt wurden. Als Programmiersprache kam Visual Basic Express .NET zum Einsatz. Im Kapitel 4.1 ist das Programm zur Bestimmung der Häufigkeiten der Grauwerte in einem gespeicherten Bild beschrieben. Kapitel 4.2 beschreibt das Programm zur Bestimmung der Leuchtdichte aus den Bilddaten.

4.1 Programm zur Bestimmung der Häufigkeiten der Grauwerte aus den Messdaten

Das Kapitel beschreibt das Programm zur Bestimmung der Häufigkeiten der Grauwerte aus den Messdaten. Es gliedert sich in die Beschreibung der Oberfläche und die Beschreibung des Quellcodes.

○ Oberfläche

Die Programmoberfläche des Programms besteht lediglich aus einem Start Button (*cmd_starten*) und zwei Labeln (*lbl_fortschritt*, *lbl_pfad*). Im ersten Schritt des Programms erfolgt die Deklaration der Variablen. Für die Bestimmung der Häufigkeit der Grauwerte kommt ein Array des Datentyps long mit 255 Elementen zum Einsatz. Eine Zählschleife (for-Schleife) initialisiert vor der Auswertung jedes Element des Arrays auf 0. Die Abbildung 7 zeigt das Formular.

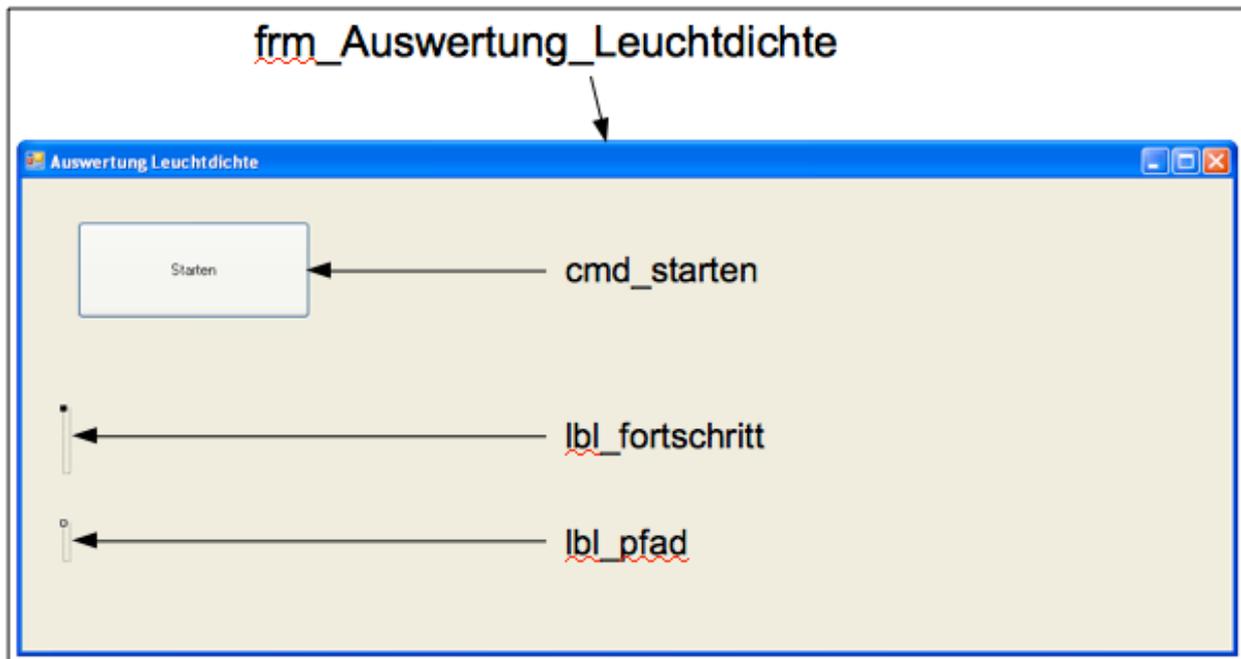


Abbildung 7: frm_Auswertung_Leuchtdichte

- Quellcode

Die Bilddateien sind der Reihenfolge nach nummeriert. Der Dateiname setzt sich aus dem String „IMG_“ und einer laufenden Nummer zusammen. Die Nummer wird in der Variable *dateinummer* gespeichert und hat immer vier Stellen. Bei kleinen Nummern sind die ersten Zahlen Nullen. Aus dem Pfad und der *dateinummer* lässt sich ein String erzeugen, der in der Variable *dateiname* abgespeichert ist. Bei der Erzeugung des Strings wird die Dateinummer so formatiert, dass immer vier Stellen vorhanden sind.

Eine Zählschleife liest nacheinander die Bilddateien ein. Das erste Label zeigt den Fortschritt an. Ein Refresh des Labels sorgt dafür, dass der Fortschritt direkt angezeigt wird. Der Startwert der Schleife ist der Wert der ersten auszulesenden Datei, der Endwert der letzte. Nach jedem Bild erhöht sich der Wert der Variable *dateinummer* um eins. Somit liest das Programm beim nächsten Schleifendurchlauf das nächste Bild aus.

Das Programm erzeugt aus einer Bilddatei eine Bitmap und liest anschließend aus den EXIF-Daten der Bilddatei die Brennweite, ISO-Einstellung, Blende und Belichtungszeit aus. Das zweite Label zeigt die Variable *dateiname* an. Auch bei

diesem Label sorgt ein Refresh dafür, dass der aktuelle Wert unmittelbar angezeigt wird.

Um die Grauwerte der Pixel auslesen zu können muss die Höhe und die Breite der Bitmap bestimmt werden. Zwei verschachtelte Zählschleifen greifen nacheinander auf die Pixel zu. Das Ende der ersten Schleife ist durch die Höhe gegeben und bestimmt die Zeilenlänge und das Ende der zweiten Schleife ist über die Breite des Bildes gegeben und bestimmt die Anzahl der Zeilen. Der Beginn beider Schleifen ist null und die Schrittweite beträgt eins.

Die vordefinierte *GetPixel*-Methode liest den Farbwert der schwarz/ weiß-Aufnahmen aus. Daraus können die Farbwerte rot, grün, blau bestimmt werden. Bei einem schwarz/weiß-Bild sind sie identisch mit dem Grauwert.

Hat ein Grauwert einen Wert von 255, ist dieses Pixel übersteuert. Das Programm prüft alle Pixel auf Übersteuerung. Die Variable *uebersteuert* des Datentyps integer erhält den Wert eins, sobald ein übersteuertes Pixel auftaucht. Am Anfang des Programms ist der Wert der Variable auf null festgelegt. Nach Auswertung ist der Wert der Variable *uebersteuert* nur dann Null, wenn keine Übersteuerung vorliegt.

Für jedes Pixel wird im Array *haeufigkeit* das Element um 1 erhöht, dessen Index dem Grauwert des Pixels entspricht. Nach Auswertung aller Pixel eines Bildes werden die Inhalte aller Elemente des Arrays *haeufigkeit* und der Variablen *dateiname*, *brennweite*, *iso*, *blende*, *belichtung* und *uebersteuert* in einer Textdatei gespeichert. Nach jedem Bild wird ein Zeilenumbruch in die Datei geschrieben, bevor die Werte für das nächste Bild in eine neue Zeile geschrieben werden.

Vor Auslesen des nächsten Bildes wird die Bitmap geschlossen, die Variable *uebersteuert* und die Elemente des Arrays *haeufigkeit* werden wieder auf null gesetzt. Ist die Zählschleife für alle Bilder durchgelaufen, wird die Textdatei geschlossen. Eine MessageBox gibt an, dass das Programm fertig ist. Im Folgenden ist der Quellcode des Programms wiedergegeben.

```

'Importe werden fuer das Auslesen der EXIF-Daten benoetigt
Imports System.Drawing.Imaging
Imports System.Text
'PropertyItems
'Encoding

Public Class frm_Auswertung_Leuchtdichte
    Private Sub cmd_starten_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_starten.Click
        'Deklaration der Variablen
        Dim grauwert As Long
        Dim haefufigkeit(255) As Long
        Dim datei As IO.StreamWriter = New IO.StreamWriter("C:\auswertung_Leuchtdichte.txt")
        Dim uebersteuert As Integer = 0
        Dim brennweite, blende, iso, belichtung As String
        Dim dateinummer As Long = 1

        'setzt dass Array in jedem Index auf den Wert null
        For g = 0 To 255 Step 1
            haefufigkeit(g) = 0
        Next g

        'liest nacheinander die Dateien
        For dateiwert = 1 To 90 Step 1

            'zeigt den Fortschritt auf einem Label und fuehrt eine Erneuerung des Labels durch
            lbl_fortschritt.Text = dateinummer
            lbl_fortschritt.Refresh()

            'erstellt eine Variable dateiname und daraus eine Bitmap und setzt die Variable dateinummer um eins hoch
            Dim dateiname As String = "C:\IMG_" & Format(dateinummer, "0000") & ".JPG"
            Dim bitmap As New Bitmap(dateiname)
            dateinummer = dateinummer + 1

            iso = String.Empty
            blende = String.Empty
            belichtung = String.Empty

            For Each Info As PropertyItem In bitmap.PropertyItems
                Select Case Info.Id
                    Case 37386
                        brennweite = BitConverter.ToInt32(Info.Value, 0) / BitConverter.ToInt32(Info.Value, 4)
                    Case 34855
                        iso = BitConverter.ToInt16(Info.Value, 0)
                    Case 33437
                        blende = BitConverter.ToInt32(Info.Value, 0) / BitConverter.ToInt32(Info.Value, 4)
                    Case 33434
                        belichtung = BitConverter.ToInt32(Info.Value, 0) / BitConverter.ToInt32(Info.Value, 4)
                End Select
            Next
            'zeigt dateiname auf einem Label an und fuehrt eine Erneuerung des Labels durch
            lbl_pfad.Text = dateiname
            lbl_pfad.Refresh()

            'liest die Hoehe und Breite der Bitmap aus
            Dim hoehe As Long = bitmap.Height
            Dim breite As Long = bitmap.Width

            'ermittelt nacheinander den Grauwert fuer jeden Pixel
            'prueft, ob das Pixel uebersteuert ist und setzt bei vorhandener Uebersteuerung die Variable uebersteuert auf 1
            'rechnet die Variable haefufigkeit im Index des entsprechenden Grauwertes um eins hoch
            For i = 0 To hoehe - 1 Step 1
                For j = 0 To breite - 1 Step 1

                    Dim farbe As Color = bitmap.GetPixel(j, i)
                    Dim rot As Long = farbe.R
                    Dim gruen As Long = farbe.G
                    Dim blau As Long = farbe.B

                    grauwert = (rot + gruen + blau) / 3

                    If grauwert = 255 Then
                        uebersteuert = 1
                    End If

                    haefufigkeit(grauwert) = haefufigkeit(grauwert) + 1

                Next j
            Next i

            'speichert Leuchtdichte und die Variablen dateiname, brennweite, iso, blende, belichtung und uebersteuert in eine Textdatei
            'schreibt fuer jeden Index der Variable haefufigkeit den entsprechenden Wert in dieselbe Zeile und
            'macht anschließend einen Zeilenumbruch
            datei.WriteLine("19 ;" & dateiname & ";" & brennweite & ";" & iso & ";" & blende & ";" & belichtung & ";" & uebersteuert & ";")

            For h = 0 To 255 Step 1
                datei.WriteLine(haefufigkeit(h) & ";")
            Next h
            datei.WriteLine()

            'setzt fuer das naechste Bild jeden Index der Variable haefufigkeit den Wert auf null
            'und setzt die Variable uebersteuert auf null
            For g = 0 To 255 Step 1
                haefufigkeit(g) = 0
            Next g

            uebersteuert = 0

            'schliesst die Bitmap
            bitmap.Dispose()

        Next dateiwert

        'schliesst die Textdatei und zeigt ueber eine MessageBox an, dass das Programm fertig ist
        datei.Close()
        MsgBox("fertig")
    End Sub
End Class

```

4.2 Programm zur Bestimmung der Leuchtdichte aus den Bilddaten

Zur Auswertung der mit der kalibrierten Spiegelreflexkamera aufgenommenen schwarz/ weiß-Bilder wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Programm erstellt. Hierbei war das Ziel eine möglichst weitgehende Automatisierung. Die während der Bildaufnahme angewandten Kameraeinstellungen sollten daher möglichst aus den gespeicherten Meta-Daten (EXIF-Daten) des Bildes gewonnen werden. Eine manuelle Eingabe dieser Werte ist ebenfalls möglich.

Das Programm liest ein monochromes Bild ein. Anschließend werden nacheinander die Grauwerte der Pixel bestimmt und daraus mit den Kameraeinstellungen, die entweder aus den EXIF-Daten eines JPG-Bildes oder manuell eingelesen werden, die Leuchtdichten für jedes Pixel berechnet. Die Messwerte werden als Falschfarbenbild nach Bestimmung der Leuchtdichte mit zehn Leuchtdichtebereichen dargestellt. Dadurch ist die Leuchtdichteverteilung erkennbar.

Befindet sich der Mauszeiger auf dem Bild, zeigt das Programm für diesen Punkt den Grauwert und die Leuchtdichte an. Seitlich des Bildes sind die EXIF-Daten Brennweite, ISO, Blende und Belichtungszeit angegeben. Mit der Maus wird durch Zeichnen einer Diagonalen oder eines Rechtecks von der oberen linken Ecke zur unteren rechten Ecke dieser Ausschnitt vergrößert dargestellt. Zudem ist über einen Button die Anzeige des Bildes in Originalgröße möglich.

Bei manueller Eingabe eines Grauwertes in ein Eingabefeld wird die dazugehörige Leuchtdichte berechnet und in einem Ausgabefeld angezeigt.

Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die Oberflächen (Formulare, Windows-Form-Objekte) des Programms, die Variablen und erläutern den Quellcode. Die Variablen sind nach Datentypen aufgelistet. Der Quellcode ist sortiert nach den Formularen. Die ersten Aufzählungen beschreiben den Quellcode des Formulars *frm_Leuchtdichte*. Die danach folgenden Aufzählungen beschreiben den Quellcode des Formulars *frm_Kameradaten*. Die Unterteilung in den einzelnen Formularen folgt nach den *Click*-Events der Buttons, gefolgt von den Unterprogrammen. Anschließend sind die Funktionen aufgelistet.

○ Oberfläche

Das Programm besteht aus zwei Oberflächen (Formularen). Das Hauptformular ist *frm_Leuchtdichte*. Ein weiteres Formular ist *frm_Kameradaten*.

Für beide Formulare wurde die Eigenschaft *BorderStyle* auf Fixed Single eingestellt. Dadurch ist eine feste Größe für das Formular gegeben. Eine Größenänderung durch den Benutzer ist dann nicht möglich. Über die Eigenschaften *MaximizeBox* und *MinimizeBox* wurde festgelegt, dass ein Maximieren und Minimieren des Fensters nicht möglich ist. Hierfür wurde der Wert für beide Eigenschaften auf False gesetzt.

• frm_Leuchtdichte

Auf dem Formular rechts oben befindet sich die Picture Box *pic_bild*. Die Eigenschaft *BorderStyle* der Picture Box wird auf Fixed 3D eingestellt. Der *SizeMode* bekommt die Eigenschaft *StretchedImage*. Diese bewirkt, dass ein geladenes Bild auf die Größe der Picture Box skaliert wird.

Unter der Picture Box rechts befindet sich der Button *cmd_originalgroese* mit dem ein geladenes Bild in Originalgröße angezeigt werden kann. Die Eigenschaft *SizeMode* erhält dann über den Quellcode den Wert *AutoSize*. Diese sorgt dafür, dass ein Bild in Originalgröße in die Picture Box geladen wird.

Ein Panel, in dem sich die Picture Box befindet, bewirkt, dass sich die Größe der Picture Box nicht verändert und bietet zusätzlich die Möglichkeit über Scrollbars das ganze Bild einzusehen. Dafür muss die Eigenschaft *AutoScroll* des Panels auf true gesetzt sein.

An gleicher Stelle wie der Button *cmd_originalgroese* liegt der Button *cmd_zurueck*, der die Aktion rückgängig macht. Nach Betätigung eines Buttons wird dieser über die *Visible* Eigenschaft unsichtbar und der jeweils andere sichtbar gemacht. Über die Eigenschaft *Enabled* wird der unsichtbare Button deaktiviert und der sichtbare aktiviert. Der Wert false macht einen Button unter der Eigenschaft *Visible* unsichtbar und deaktiviert diesen unter der Eigenschaft *Enabled*. True führt bei Eigenschaft *Visible* zu einer Sichtbarkeit eines Buttons oder aktiviert diesen unter der Eigenschaft *Enabled*. Am Anfang des Programms

sind alle Buttons außer dem Button zum Bild laden über die *Enabled*-Eigenschaft deaktiviert.

Bei Berührung mit dem Mauszeiger auf ein geladenes Bild werden der Grauwert und die Leuchtdichte des Pixels in den Textfeldern *txt_txt_grauwert* und *txt_txt_leuchtdichte* links neben der Picture Box ausgegeben. Zudem gibt das Programm bei Eingabe eines Grauwertes in das Textfeld die dazugehörige Leuchtdichte aus. Vor den Textfeldern liegen Label, um die Textfelder zu beschriften: Für den Grauwert das Label *lbl_lbl_grauwert* und für die Leuchtdichte das Label *lbl_lbl_leuchtdichte*. Die Funktion ist erst nach Berechnung der Leuchtdichte möglich. Dafür erhält die Eigenschaft *Enabled* der Picture Box den Wert *false* und wird nach Berechnung der Leuchtdichte auf *true* gesetzt.

Links neben der Picture Box befindet sich der Button *cmd_bild* zum Laden eines Bildes. Darunter liegen die Buttons *cmd_leuchtdichte* für die Ermittlung der Leuchtdichte und *cmd_speichern*, um die ermittelten Werte in einer Textdatei abspeichern zu können.

Die ermittelte Leuchtdichte eines Bildes wird farbig im Bild angezeigt. Seitlich neben der Picture Box, unterhalb der Textfelder, befindet sich eine Angabe darüber, um welchen Leuchtdichtebereich es sich bei einer gegebenen Farbe handelt.

Die Angabe besteht aus zehn Label *lbl_lbl_F1-lbl_lbl_F10*, die eine Farbe anzeigen. Daneben liegen zehn weitere Label *lbl_txt_min_L1-lbl_txt_minL10* zur Ausgabe des Minimalwertes eines Bereichs. Die Label *lbl_txt_max_L1-lbl_txt_max_L10* geben die dazugehörigen Maximalwerte an. Ein Bindestrich auf jedem der Label *lbl_lbl_strich_1-lbl_lbl_strich_10* trennt die Minimalwerte von den Maximalwerten. Hinter den Maximalwerten ist die Einheit cd/m^2 durch die Label *lbl_lbl_cd_1-lbl_lbl_cd_10* angegeben. Ein Panel, in dem sich die Label für die Minimalwerte, die Maximalwerte und die Bindestriche befinden, sorgt dafür, dass alle Label gleichzeitig aktualisiert werden.

Über die Buttons *cmd_intervallskala*, *cmd_verhaeltnisskala* und *cmd_komplett* lässt sich die Anzeige der Leuchtdichtebereiche ändern. Bei der Intervallskala reicht die Anzeige von der minimal gemessenen Leuchtdichte bis zur maximal

gemessenen Leuchtdichte. Die Verhältnisskala zeigt einen Bereich von null bis zur maximal gemessenen Leuchtdichte. Die komplette Anzeige geht von null bis zur Leuchtdichte, die einem Grauwert von 255 entspricht.

Über den Textfeldern sind die Textfelder *txt_txt_brennweite*, *txt_txt_blende*, *txt_txt_iso* und *txt_txt_belichtung* angeordnet. In ihnen werden die Eigenschaften der Kamera nach Ermittlung jeweils im Textfeld mit Namen der Eigenschaft ausgegeben. Zudem können Werte angegeben oder verändert werden. Die Label *lbl_lbl_brennweite*, *lbl_lbl_blende*, *lbl_lbl_iso* und *lbl_lbl_belichtung* dienen der Beschriftung der Textfelder in denen die Werte ausgegeben werden und stehen jeweils davor.

Ein Label *lbl_txt_pfad* zur Ausgabe des Pfades der geöffneten Bilddatei liegt unter der Picture Box. Auch hier ist wieder ein Label *lbl_lbl_pfad* zur Beschriftung vor dem Label vorhanden. Darunter liegt eine Progress Bar (*prg_bar*) zum Anzeigen des Fortschritts des Programms.

Die Eigenschaften der Steuerelemente werden folgendermaßen eingestellt. Die Label erhalten für *BorderStyle* bis auf die Labels für die Farbe alle den Wert Fixed 3D. Bei den Farblabels wird None gewählt. *AutoSize* bekommt den Wert false. Somit passen sich die Label nicht an den Inhalt an. Sie haben immer dieselbe Größe. Die Farblabels erhalten über *Back Color* alle einen anderen Farbwert. Die Farben stellen einen Farbverlauf da.

Die *TextAlign*-Eigenschaft für Label kann neun unterschiedliche Positionen einnehmen. Die Beschriftungsetikette für den Bindestrich und die Einheit und die Labels zur Anzeige der Farben erhalten den Wert Middle Center. Alle anderen Beschriftungsetiketten haben den Wert Top Left. Das Label zur Ausgabe des Pfades ist auf Middle Left eingestellt. Alle anderen Ausgabetiketten besitzen den Wert Middle Right.

Die Eigenschaft *TextAlign* der Textfelder ist Right. Somit wird der ausgegebene Text rechtsbündig angezeigt. Eine weitere Eigenschaft ist *ReadOnly*. *ReadOnly* gibt an, ob in ein Textfeld Eingaben gemacht werden dürfen. Am Anfang ist *ReadOnly* für alle Textfelder True und wird später über den Quellcode verändert.

Über das Steuerelement Open File Dialog mit dem Namen *cdl_oeffnen* kann eine Bilddatei ausgewählt werden. Save File Dialog ermöglicht es, einen Speicherort zu wählen. Das Steuerelement erhält den Namen *cdl_speichern*. Über die Eigenschaft *Filter* wird für den Open File Dialog angegeben, dass nur Bilddateien mit den Endungen jpg, bmp, gif, png oder tif sichtbar sind. Für den Save File Dialog sind nur Textdateien sichtbar. Zudem wird unter der Eigenschaft *File Name* *.txt eingegeben. Dadurch enthält der Name, unter dem die Werte gespeichert werden sollen, bei Wahl des Speicherortes direkt die Endung txt.

Abbildung 8 zeigt das Formular *frm_Leuchtdichte* mit der Anordnung aller Steuerelemente. Pfeile zeigen die Bezeichnung der Steuerelemente an.

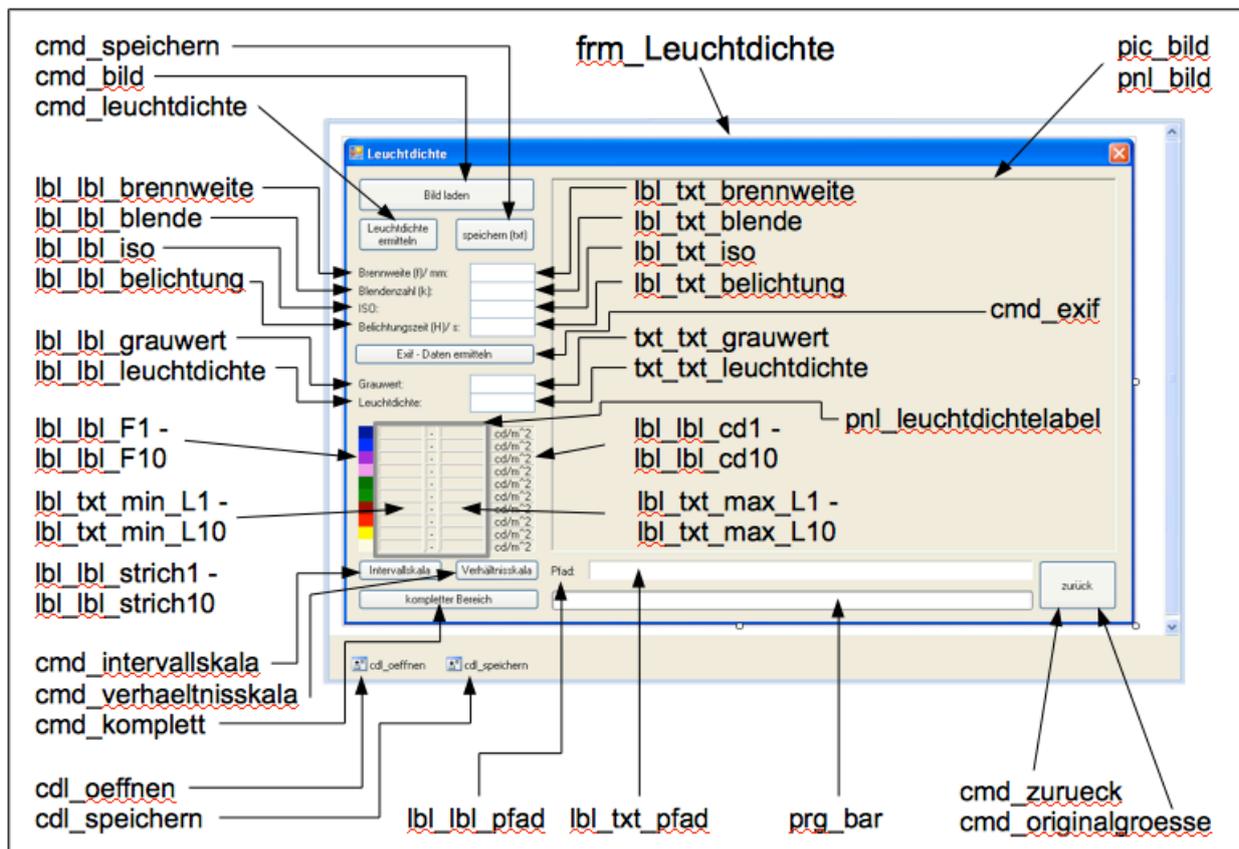


Abbildung 8: Formular *frm_Leuchtdichte*

- frm_Kameradaten

Das Formular *frm_Kameradaten* wird genutzt, um dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, zwischen den EXIF-Daten oder selbst eingegebenen Werten für die Kameraeinstellung zu wählen. Die Werte werden für die Berechnung des Umrechnungsfaktors zur Bestimmung der Leuchtdichte aus den Grauwerten benötigt. Ein Label oben links informiert den Benutzer über die Wahlmöglichkeit.

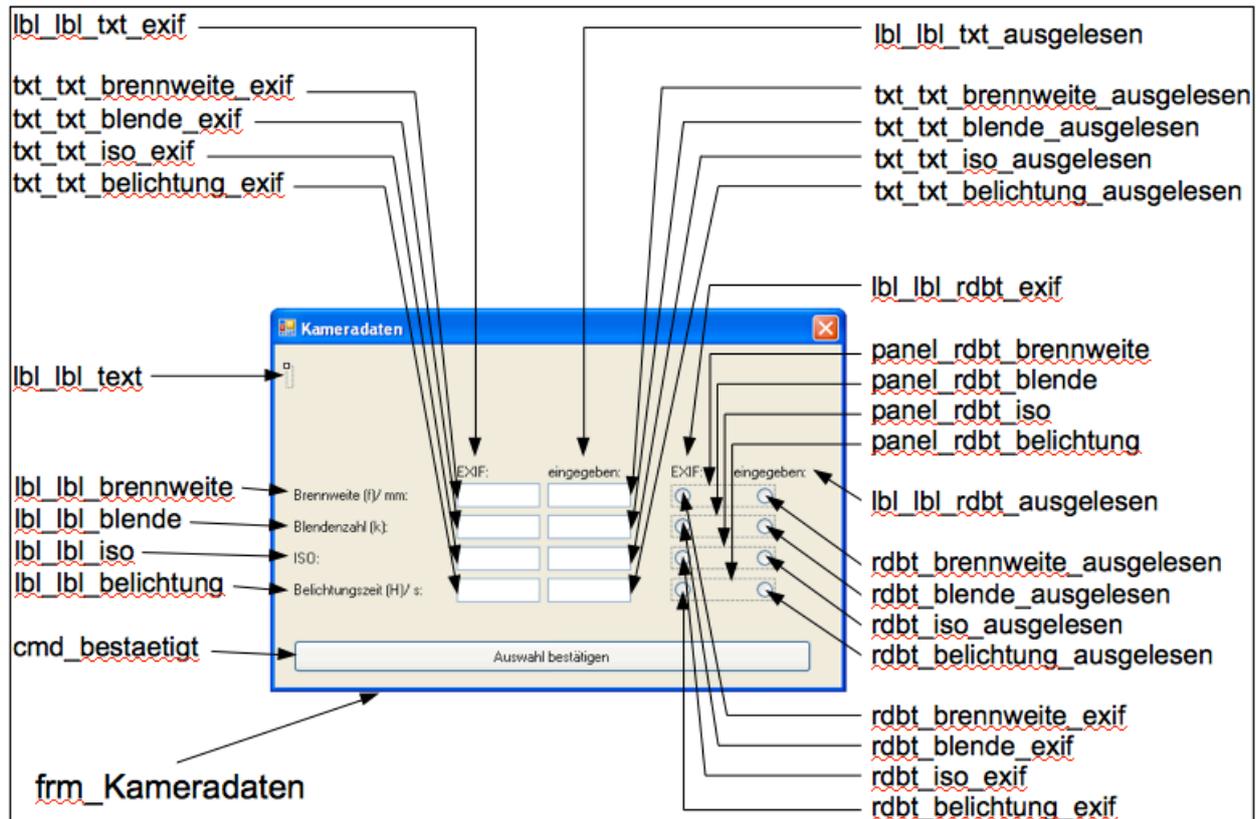


Abbildung 9: Formular *frm_Kameradaten*

Links darunter befinden sich vier weitere Label. Diese enthalten die Beschriftungen Brennweite, Blendenzahl, ISO und Belichtungszeit mit Einheitsangabe. Neben der Beschriftung befinden sich jeweils zwei Textfelder. Die Textfelder dienen der Angabe und Eingabe der Kameradaten. In den ersten Textfeldern werden die aus der EXIF ausgelesenen Daten angegeben. In diesen Textfeldern ist eine Änderung nicht möglich. Die zweiten Textfelder lesen die Werte aus dem Formular *frm_Leuchtdichte* aus. Dort ist eine Eingabe oder Änderung der Werte möglich. Label über den Textfeldern dienen der Beschriftung.

Neben den Textfeldern liegen jeweils zwei Radio Buttons, über die gewählt werden kann, ob der Wert aus den EXIF-Daten oder der manuell eingegebene genutzt werden soll. Zwei darüber liegende Label dienen wieder der Beschriftung.

Um für jeden Parameter der Kamera jeweils einen Wert anwählen zu können, befinden sich die Radio Buttons für jeweils einen Parameter in einem Panel. Über einen Button unter den Label, Textfeldern und Radio Buttons lässt sich die Auswahl bestätigen.

Für die Eigenschaften erhält *TextAlign* der Textfelder den Wert *Right*. Alle weiteren Eigenschaften entsprechen der Voreinstellung des Programms. Die Abbildung 9 zeigt das komplette Formular mit Bezeichnung der Steuerelemente.

○ Variablen

Variablen werden für die Speicherung benötigt. In diesem Kapitel sind alle Variablen und deren Funktion aufgezählt. Es findet eine Unterteilung nach Datentypen statt. Deklariert werden kann eine Variable über den Befehl `Dim Variablenname As Datentyp` oder `Public Variablenname As Datentyp`. `Public` wird bei Variablen genutzt die in allen Formularen zugänglich sein sollen.

• long

Als `long` sind die Variablen *hoehe*, *breite*, *rot*, *gruen*, *blau*, *grauwert*, *vergleichswert* und *skalenpruefer* deklariert. Der Datentyp `long` deklariert ganze Zahlen. Er hat eine Länge von vier Byte. Somit können Zahlen von -2.147.483.648 bis 2.147.483.647 dargestellt werden. Dies ist der größtmögliche Bereich zur Darstellung von ganzen Zahlen.

Um die Koordinaten der Pixel bestimmen zu können, wird die Höhe und die Breite des Bildes benötigt. Die Werte werden in den Variablen *hoehe* und *breite* abgespeichert.

Rot, *gruen*, *blauspeichert* die Farbwerte. Daraus kann dann für ein schwarz/weiß-Bild der Grauwert berechnet werden. Für diesen wird die Variable *grauwert* genutzt.

Bei der Bestimmung der maximalen und minimalen Leuchtdichte kommt die Hilfsvariable *vergleichswert* zum Einsatz. Sie enthält die Leuchtdichte des ersten ausgelesenen Pixels.

Über die Variable *skalenpruefer* wird signalisiert, welche Skala gerade zur Anzeige der Leuchtdichte genutzt wird. Er bekommt je nach Skala einen entsprechenden Zahlenwert zugewiesen.

- decimal

Mit dem Datentyp *decimal* können Dezimalzahlen mit einer Länge von 12 Byte gespeichert werden. Es sind 28 Nachkommastellen möglich.

Mit *decimal* sind die Variablen *umrechnungsfaktor*, *leuchtdichte*, *leuchtdichtemax*, *leuchtdichtemin*, *leuchtdichteintervallintervallskala*, *leuchtdichteintervallverhaeltnisskala*, *leuchtdichteintervallkomplett*, *xkoordinate*, *ykoordinate*, *xanfangskoordinate*, *xendkoordinate*, *yanfangskoordinate*, *yendkoordinate*, *faktorx*, *faktory*, *xanfangskoordinateumgerechnet*, *yanfangskoordinateumgerechnet*, *xendkoordinateumgerechnet*, *yendkoordinateumgerechnet* und die Array-Variablen *bereichminintervallskala(9)*, *bereichmaxintervallskala(9)*, *bereichminverhaeltnisskala(9)*, *bereichmaxverhaeltnisskala(9)*, *bereichminkomplett(9)*, *bereichmaxkomplett(9)* deklariert.

In Array-Variablen können mehrere Werte gespeichert werden. Bei der Deklaration ist nach dem Variablennamen in Klammern die Länge des Arrays angegeben. Ein Array beginnt bei null. Für eine Länge von neun sind somit zehn Speicherplätze gegeben. Die Array-Variablen werden genutzt um die minimalen und die maximalen Werte der zehn Bereiche der unterschiedlichen Skalen zu verwalten. Um einen Wert anzusteuern, wird der Index in Klammern hinter dem Variablenname angegeben.

Für die Berechnung der Leuchtdichte werden alle Einstellungen auf eine Bezugseinstellung umgerechnet. Der *umrechnungsfaktor* enthält den Wert zur Umrechnung.

Der Maximalwert der ermittelten Leuchtdichte wird der Variable *leuchtdichtemax* und der Minimalwert der ermittelten Leuchtdichte der Variablen *leuchtdichtemin* zugewiesen. Die Variable *leuchtdichte* speichert die ermittelte Leuchtdichte.

Leuchtdichteintervallintervallskala, *leuchtdichteintervallverhaeltnisskala* und *leuchtdichteintervallkomplett* werden für die Bestimmung der zehn Bereiche der verschiedenen Skalen benötigt. Das Intervall bestimmt den Abstand zum nächsten Bereich.

In den Variablen *xanfangskordinate*, *yanfangskordinate*, *xendkordinate* und *yendkordinate* sind die Koordinaten für die Zoomfunktion abgelegt. Die Variablen *xkordinate* und *ykordinate* speichern die Koordinaten der Mausposition. Die Koordinaten der Variablen *xkordinate* und *ykordinate* werden benötigt, um die Leuchtdichte des Grauwertes an der Mausposition zu bestimmen und beides über die Textfelder auszugeben. Mit *faktorx* und *faktory* wird ein Wert bestimmt mit dem die Koordinaten der Picture Box auf die der Bitmap umgerechnet werden können. Der Ausschnitt kann dann in der Bitmap mit Originalgröße erfolgen. Dies sichert die Qualität des Bildes, da i.d.R die geladene Bitmap in der Picture Box kleiner ist. *Xanfangskordinateumgerechnet*, *xendkordinateumgerechnet*, *yanfangskordinateumgerechnet* und *yendkordinateumgerechnet* enthalten die umgerechneten Koordinaten auf die Originalgröße.

- string

Die Variablen *dateiname*, *kamera*, *brennweite*, *blende*, *iso*, *belichtung*, *brennweiteexif*, *blendeexif*, *isoexif*, *belichtungexif*, *brennweiteausgelesen*, *blendeausgelesen*, *isoausgelesen* und *belichtungausgelesen* sind als Text über den Datentyp string deklariert. Der Datentyp string speichert Zeichenketten. Bei Addition von Zeichenketten werden diese aneinander gereiht.

In *dateiname* ist der Pfad der Bilddatei enthalten. In *kamera* wird das Modell aus der EXIF abgelegt. *Brennweite*, *blende*, *iso* und *belichtung* enthält den jeweils vom Benutzer gewählten Wert. Die Variablen mit Endung *exif* enthalten die aus den EXIF-Daten ausgelesenen Werte. Die Variablen mit der Endung *ausgelesen* speichern die vom Benutzer eingegebenen Werte.

- **bitmap**

Der Datentyp *bitmap* deklariert ein Bild. Folgende Bitmaps kommen zum Einsatz. *Bitmap*, *bitmapuebersteuert*, *bitmapkopie*, *bitmapintervallskala*, *bitmapverhaeltnisskala*, *bitmapkomplett* und *bitmapausschnitt*.

Bitmap ist das geladene Bild. In der Variable *bitmapuebersteuert* sind die übersteuerten Pixel rot markiert. In den Bitmaps *bitmapintervallskala*, *bitmapverhaeltnisskala*, *bitmapkomplett* sind die Farbwerte der Pixel je nach Bereich auf den entsprechenden Farbwert gesetzt. *Bitmapkopie* speichert eine Kopie des Bildschirms. Dadurch ist die Anzeige von Grauwert und Leuchtdichte für einen bestimmten, über die Maus ausgelesenen Punkt möglich. Der *bitmapausschnitt* enthält den über die Maus definierten Ausschnitt für die Vergrößerung.

- **boolean**

Boolean kann den Wert *true* oder *false* annehmen. Boolean Variablen sind *uebersteuertpruefer*, *bitmappruefer*, *bitmapkopiepruefer*, *bitmapausschnittpruefer*, *originalgroessepruefer*, *ausschnittpruefer*, *belichtungpruefer*, *blendepruefer* und *isopruefer*.

Uebersteuertpruefer wird auf *true* gesetzt, sobald ein Bild einen übersteuerten Wert aufweist. Die Variable *bitmappruefer* erhält den Wert *true* nach dem die Bitmaps *bitmap*, *bitmapuebersteuert*, *bitmapintervallskala*, *bitmapverhaeltnisskala* und *bitmapkomplett* erstellt sind. Für die Variable *bitmapkopiepruefer* ist der Wert *true* nach Erstellung der *bitmapkopie*. Die Variable *bitmapausschnittpruefer* ist nach Erstellung des *bitmapausschnitttrue*.

Originalgroessepruefer ist *true* nach drücken des Buttons *cmd_originalgroesse*. *Ausschnittpruefer* ist *true*, wenn gerade ein Ausschnitt einer Bitmap in der Picture Box geladen ist. Die Variablen *belichtungpruefer*, *blendeprufer* und *isopruefer* erhalten den Wert *true*, wenn der vom Benutzer zur Berechnung gewählte Parameter numerisch ist.

- color

Der Datentyp `color` speichert den RGB-Wert eines Pixels. Aus diesem Wert lassen sich die Grauwerte der Farben rot, grün und blau ermitteln. Die Variable *farbeist* mit dem Datentyp `Color` deklariert und speichert die RGB-Werte der Pixel.

- MsgBoxResult

Antwortuebersteuert und *antwortkamera* sind als `MsgBoxResult` deklariert. Der Datentyp speichert, welchen Button einer Message Box der Benutzer gedrückt hat. *antwortkamera* speichert den Wert für eine Message Box, die Information darüber gibt, dass das geladene Bild nicht mit der im Rahmen dieser Bachelorarbeit kalibrierten Kamera aufgenommen ist und dadurch die Berechnung der Leuchtdichte möglicherweise nicht stimmt. In *antwortuebersteuert* ist die Antwort für die Message Box abgelegt, die Informationen darüber gibt, dass das Bild übersteuert ist. Der Benutzer hat nach beiden Message Boxes die Möglichkeit, das Programm zu beenden oder weiter fortzufahren.

- Encoding

Mit `Encoding` wird die Variable *enc* deklariert. Diese dient der Enkodierung der EXIF-Daten.

- Bounds

Die `Bounds` werden für den Screenshot benötigt. Sie rufen die primäre Anzeige ab. Die Variable heißt ebenfalls `Bounds`.

- Graphics

Mit `Graphics` sind Teile einer Bitmap nutzbar. Die Variable *grafik* enthält Informationen über den *bitmapausschnitt*.

- **Rectangle**

Der Datentyp Rectangle speichert die Größe eines Rechtecks. Die Variable *rechteck* enthält die Werte der Picture Box und *auswahlrechteck* die Informationen zum gewählten Ausschnitt.

- **IO.StreamWriter**

IO.StreamWriter erstellt die Variable *datei*. Die Variable enthält die Dateibeschreibung (Pfad und Dateinamen) der Datei, in der die Messwerte gespeichert werden sollen. Variablen vom Typ IO.StreamWriter stellen Methoden zum schreibenden Zugriff auf die Datei zur Verfügung.

- **Quellcode**

Die Erläuterung des Quellcodes ist unterteilt in die Formulare *frm_Leuchtdichte* und *frm_Kameradaten*. Zuerst werden im Folgenden die Beschreibungen zu den Click-Events der Buttons aufgeführt, anschließend sind die Unterprogramme erläutert und am Ende alle weiteren Events. Folgende Quellcodes zeigen die Struktur der Klasse für das Formular *frm_Leuchtdichte* und *frm_Kameradaten*.

```
Option Explicit On
'Importe werden fuer das Auslesen der EXIF-Daten benoetigt
Imports System.Drawing.Imaging          'PropertyItems
Imports System.Text                    'Encoding

Public Class frm_Leuchtdichte
    'Deklaration der Variablen
    Public hoehe, breite As Long
    Public rot, gruen, blau, grauvert As Long
    Public farbe As Color
    Public leuchtdichtemax, leuchtdichtemin, leuchtdichte, umrechnungsfaktor As Decimal
    Public vergleichswert, skalenpruefer As Long
    Public kamera, brennweite, blende, iso, belichtung As String
    Public brennweiteexif, blendeexif, isoexif, belichtungexif As String
    Public brennweiteausgelesen, blendeausgelesen, isoausgelesen, belichtungausgelesen As String
    Public uebersteuertpruefer, bitmappruefer, bitmapkopiepruefer, bitmapausschnittpruefer, originalgroessepruefer, ausschnittspruefer As Boolean
    Public bitmap, bitmapuebersteuert, bitmapkopie, bitmapintervallskala, bitmapverhaeltnisskala, bitmapkomplett, bitmapausschnitt As Bitmap
    Public bereichminintervallskala(9), bereichmaxintervallskala(9) As Decimal
    Public bereichminverhaeltnisskala(9), bereichmaxverhaeltnisskala(9) As Decimal
    Public bereichminkomplett(9), bereichmaxkomplett(9) As Decimal
    Dim xkoordinate, ykoordinate, xanfangskoordinate, yanfangskoordinate, xendkoordinate, yendkoordinate As Decimal
    Dim dateiname As String
    Dim grafik As Graphics
    Dim rechteck, auswahlrechteck As Rectangle

    ...
End Class

Public Class frm_Kameradaten
    Public belichtungpruefer, blendepruefer, isopruefer As Boolean

    ...
End Class
```

Buttons dienen i.d.R. der Ausführung von Programmteilen nach Betätigung des Buttons. Der Aufruf erfolgt unter dem Click-Event.

Unterprogramme werden genutzt, wenn ein Quellcode in einem Programm immer wieder zum Einsatz kommt. Dadurch muss der Quellcode nur einmal geschrieben werden. Er lässt sich an entsprechenden Stellen abrufen. Die Namensgebung der Unterprogramme erfolgt nach dem Format `prg_Unterprogrammname`.

Funktionen dienen wie auch Unterprogramme dazu, wiederholenden Quellcode nur einmal aufführen zu müssen. Eine Funktion hat einen Rückgabewert.

Ein Event ist hinter dem Namen des zugehörigen Steuerelement angegeben und gibt Auskunft darüber durch welches Ereignis der folgende Quellcode ausgeführt wird.

- `frm_Leuchtdichte_Load`

Das *Load*-Event eines Formulars führt seine Befehle direkt nach dem Laden des Formulars aus, im Falle des Haupt-Formulars somit beim Starten des Programms. Hier wird der Quellcode, der einmal nach dem Starten des Programms ausgeführt werden soll, platziert. Eine Message Box stellt allgemeine Informationen zu dem Programm, der Kamera und den Kameraeinstellungen in einem Nachrichtenfenster dar.

```
Private Sub frm_Leuchtdichte_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    'gibt Vorabinformationen zum Programm

    MsgBox("Hinweis:" & vbCrLf & vbCrLf & "Das Programm ist für die Kamera: Canon EOS 600D konzipiert" & vbCrLf & vbCrLf & _
        " Kameraeinstellungen sind: " & vbCrLf & "- Vignettierungs - Korrektur: deaktiviert" & vbCrLf & _
        "- rote Augen - Korrektur: deaktiviert" & vbCrLf & "- automatische Belichtungsoptimierung: aus" & vbCrLf & _
        "- Weißabgleichs - Korrektur: Shift - Wert: 0/ 0, BKT - Wert: 0/ 0" & vbCrLf & "- Weißabgleich: Tageslichttauglich" & vbCrLf & _
        "- Messmethode: Mehrfeldmessung" & vbCrLf & "- AEB: 0" & vbCrLf & "- Blitzlicht: ohne" & vbCrLf & _
        "- Qualität: hoch fein" & vbCrLf & "- Bildstil: monochrom (schwarz/ weiß)" & vbCrLf & "- Farbraum: sRGB" & vbCrLf & _
        "- Livebild - Aufnahme: Aktiv" & vbCrLf & "- Autofokus - Modus: Live - Modus" & vbCrLf & _
        "- Seitenverhältnis: 3:2 (die Picture Box ist auf 3:2 angepasst)" & vbCrLf & vbCrLf & _
        "Bei Abweichungen kann es zu fehlerhaften Leuchtdichten kommen!", vbInformation, "Information")
End Sub
```

- frm_Leuchtdichte_FormClosed

FormClosed führt seine Befehle nach Beendigung des Programms aus. Im *FormClosed Event* des Formulars *frm_Leuchtdichte* wird das Programm *prg_bitmapschliesser* aufgerufen.

```
Private Sub frm_Leuchtdichte_FormClosed(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.FormClosedEventArgs) Handles Me.FormClosed
    'ruft das Programm prg_bitmapschließer auf

    Call prg_bitmapschliesser()
End Sub
```

- cmd_bild_Click

Der Button *cmd_bild* dient dem Laden eines Bildes in die Picture Box. Zu Beginn der Programmausführung werden alle Einstellungen zurückgesetzt. Das Programm setzt die Progress Bar zurück. Alle booleschen Variablen erhalten den Wert *false*. Alle Buttons sind deaktiviert. Die Buttons für die Wahl der Skala und der Button zur Ermittlung der EXIF-Daten werden über die *Visible*-Eigenschaft unsichtbar gestellt. Der Button zur Bestimmung der Originalgröße ist sichtbar und der Button *cmd_zurueck* unsichtbar. Für die Textfelder der Parameter der Kamera und das Textfeld *txt_txt_grauwert* ist die Eingabe deaktiviert. Der Inhalt aller Textfelder und Label, die zur Ausgabe verwendet werden, wird gelöscht.

Die *Enabled*-Eigenschaft der Picture Box muss auf *false* gesetzt werden, dadurch ist die Bestimmung der Leuchtdichte über die Maus und eine Ausschnittvergrößerung erst nach Ermittlung der Leuchtdichte möglich. Ein eventuell vorhandenes Bild wird durch den Wert *nothing* für die Eigenschaft *image* gelöscht. *SizeMode* der Picture Box erhält den Wert *StretchedImage* und die Eigenschaft *AutoScroll* des Panels den Wert *false*, damit ein geladenes Bild an die Picture Box angepasst wird. Sind bereits Bitmaps vorhanden, schließt das Programm diese über das Unterprogramm *prg_bitmapschliesser*. Ein Refresh macht die Änderungen direkt sichtbar.

Im ersten Schritt zum Laden eines Bildes öffnet sich der Open File Dialog über den eine Bilddatei anwählbar ist. Die Variable *dateiname* speichert den Pfad und den Dateinamen und gibt diese über das Label *lbl_txt_pfad* aus. Wird die Auswahl abgebrochen, wird das Programm beendet.

Für die gewählte Datei werden die Bitmaps *bitmap*, *bitmapuebersteuert*, *bitmapintervallskala*, *bitmapverhaeltinsskala* und *bitmapkomplett* erstellt. Die boolesche Variable *bitmappruefer* erhält den Wert *true* und der Variable zur Skalenprüfung wird ein Wert von *null* zugewiesen. Dies steht für das Originalbild. Das Unterprogramm *prg_exif* bestimmt die EXIF-Daten.

Nach Auswahl des Bildes kann die Höhe und Breite der Bitmap bestimmt werden. Zwei verschachtelte Schleifen lesen die Farbwerte für die Pixel aus. Dies geschieht über den Programmaufruf des Programms *prg_grauwert*. Nach Einlesen einer Zeile wird die Fortschrittsanzeige der Progress Bar erhöht und ein Refresh dieser durchgeführt.

Eine If-Abfrage prüft, ob es sich beim geladenen Bild um ein schwarz/ weiß-Foto handelt. Ist das Bild ein schwarz/ weiß-Bild, prüft eine weitere If-Abfrage, ob ein Grauwert übersteuert ist.

Übersteuerte Grauwerte werden in der Bitmap *bitmapuebersteuert* rot markiert. Die Variable *uebersteuert* erhält den Wert *true*.

Bei einem Farbfoto wird der Benutzer über eine Message Box informiert, das Programm geschlossen, der Button zum Laden eines Bildes aktiviert und das Bild in die Picture Box geladen.

Ist ein Bild übersteuert erhält der Benutzer nach Auslesen aller Pixeleine Information darüber, die Bitmap *bitmapuebersteuert* wird in die Picture Box geladen und ein Refresh und ein Systemstopp durchgeführt. Eine weitere Message Box fragt, ob der Benutzer trotzdem weiter fortfahren möchte. Das Ergebnis speichert die Variable *antwortuebersteuert*.

Möchte der Benutzer fortfahren werden die Buttons *cmd_bild*, *cmd_leuchtdichte*, *cmd_originalgroesse* und *cmd_exif* aktiviert und der Button *cmd_exif* sichtbar. Die Textfelder der Kameraeinstellungen können geändert werden.

Ist ein Fortfahren des Programms nicht gewünscht, erhält der Button zum Laden eines Bildes für die *Enabled*-Eigenschaft den Wert *true*. Das Programm wird geschlossen.

Anschließend prüft das Programm, ob es sich beim Kameramodell um eine Canon EOS 600D handelt. Handelt es sich um einen anderen Kamerateyp, gibt eine Message Box einen Hinweis darauf, dass die berechnete Leuchtdichte möglicherweise nicht stimmt und fragt den Benutzer, ob dieser fortfahren möchte. Die Antwort speichert die Variable *antwortkamera*. Handelt es sich um ein anderes Kameramodell wird der Benutzer ebenfalls gefragt, ob er fortfahren möchte. Die Antwort speichert ebenfalls die Variable *antwortkamera*.

Möchte der Benutzer fortfahren werden die Buttons *cmd_bild*, *cmd_leuchtdichte*, *cmd_originalgroese* und *cmd_exif* aktiviert. Der Button zur Bestimmung der EXIF-Daten muss vorher sichtbar gemacht werden. Die Textfelder der Kameraparameter sind zur Eingabe freigegeben.

Möchte der Benutzer nicht fortfahren werden dieselben Buttons deaktiviert. Der Button zur Bestimmung der EXIF-Daten ist unsichtbar. Die Textfelder der Kameraparameter sind für die Eingabe gesperrt.

Bei Verwendung der Kamera Canon EOS 600D läuft das Programm ohne Rückfrage weiter. Der Quellcode ist derselbe wie beim Fortfahren, wenn es sich um ein anderes Kameramodell handelt oder wenn kein Kameramodell vorhanden ist.

Der letzte Programmteil lädt die Bitmap *bitmap* in die Picture Box. Anschließend erfolgt ein Refresh und es wird ein Screenshot des Bildschirms gemacht. Die Variable *bitmapkopiepruefer* erhält den Wert true.

```
Private Sub cmd_bild_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_bild.Click
    '# Der Abschnitt laedt ein Bild und prueft auf Uebersteuerung und ob das Bild schwarz/weiß ist

    '#Zuruecksetzen aller Parameter
    'setzt die Progress Bar zurueck
    'setzt die Boolean Variablen zurueck
    'setzt die Eigenschaften Enabled und Visible der Buttons zurueck
    'deaktiviert die Textfelder
    'loescht den Inhalt aller Label und Textfelder
    'setzt die Eigenschaften der Picture Box und des dazugehoerigen Panels zurueck
    'schliesst alle Bitmaps

    prg_bar.Value = 0

    bitmappruuefer = False
    bitmappkopiepruefer = False
    bitmapausschnittpruefer = False
    uebersteuertpruefer = False
    frm_Kameradaten.belichtungpruefer = False
    frm_Kameradaten.blendepruefer = False
    frm_Kameradaten.isopruefer = False

    cmd_bild.Enabled = False
    cmd_leuchtdichte.Enabled = False
    cmd_speichern.Enabled = False
    cmd_originalgrosse.Visible = True
    cmd_zurueck.Visible = False
    cmd_originalgrosse.Enabled = False
    cmd_zurueck.Enabled = False
    cmd_intervallskala.Visible = False
    cmd_verhaeltnisskala.Visible = False
    cmd_komplett.Visible = False
    cmd_intervallskala.Enabled = False
    cmd_verhaeltnisskala.Enabled = False
    cmd_komplett.Enabled = False
    cmd_exif.Visible = False
    cmd_exif.Enabled = False

    txt_txt_grauwert.ReadOnly = True
    txt_txt_belichtung.ReadOnly = True
    txt_txt_blende.ReadOnly = True
    txt_txt_brennweite.ReadOnly = True
    txt_txt_iso.ReadOnly = True

    txt_txt_grauwert.Text = ""
    txt_txt_leuchtdichte.Text = ""
    txt_txt_brennweite.Text = ""
    txt_txt_iso.Text = ""
    txt_txt_blende.Text = ""
    txt_txt_belichtung.Text = ""
    lbl_txt_pfad.Text = ""
    Call prg_labelloescher()
    frm_Kameradaten.txt_txt_belichtung ausgelesen.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_belichtung_exif.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_blende ausgelesen.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_blende_exif.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_brennweite ausgelesen.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_brennweite_exif.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_iso ausgelesen.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_iso_exif.Text = ""
    belichtungausgelesen = ""
    blendeausgelesen = ""
    brennweiteausgelesen = ""
    isoausgelesen = ""

    pic_bild.Enabled = False
    pic_bild.Image = Nothing
    pic_bild.SizeMode = PictureBoxSizeMode.StretchImage
    pnl_bild.AutoScroll = False
    pic_bild.Width = 580
    pic_bild.Height = 386

    Call prg_bitmapschliesser()

    Me.Refresh()
```

```

'oeffnet ein Fenster zur Auswahl des Bildes und speichert den Pfad
'erzeugt aus dem Pfad die Bitmaps
'setzt den skalenpruefer auf null fuer Original
'git den Pfad auf dem entsprechenden Label aus

If cdi_oeffnen.ShowDialog() = DialogResult.Cancel Then
    cmd_bild.Enabled = True
    Exit Sub
End If

Me.Refresh()

dateiname = cdi_oeffnen.FileName

bitmap = New Bitmap(dateiname)
skalenpruefer = 0
bitmapuebersteuert = New Bitmap(dateiname)
bitmapintervallskala = New Bitmap(dateiname)
bitmapverhaeltnisskala = New Bitmap(dateiname)
bitmapkomplett = New Bitmap(dateiname)
bitmappruefer = True
lbl_txt_pfad.Text = dateiname

'ruft das Programm prg_exif auf
'ermittelt Breite und Hoehe der Bitmap
'prueft mit zwei verschachtelten For - Schleifen, ob es sich um ein schwarz/weiß Bild handelt
'ist das Bild nicht schwarz/weiß bekommt der Benutzer eine Nachricht und das Programm wird geschlossen
'ist das Bild schwarz/ weiß wird geprüft ob es uebersteuert ist
'ist das Bild uebersteuert bekommt der Benutzer eine Nachricht und kann das Programm beenden oder weiter fortfahren
'setzt den Fortschritt der Progress Bar hoch

Call prg_exif()

hoehe = bitmap.Height
breite = bitmap.Width

For x = 0 To hoehe - 1 Step 1
    For y = 0 To breite - 1 Step 1
        Call prg_grauwert(x, y)

        If rot = gruen And rot = blau And gruen = blau Then
            If grauwert = 255 Then
                uebersteuertpruefer = True
                bitmapuebersteuert.SetPixel(y, x, Color.Red)
            End If
        Else
            MsgBox("Das von Ihnen gewählte Bild ist kein schwarz/weiß Bild" & vbCrLf & _
                "Bitte wählen Sie ein schwarz/weiß Bild aus!", vbCritical, "Warnung")
            pic_bild.Image = bitmap
            cmd_bild.Enabled = True
            Exit Sub
        End If
    Next y
    prg_bar.Value = ((x + 1) / (hoehe + 1)) * 100
    prg_bar.Refresh()
Next x

Dim antwortuebersteuert As MsgBoxResult
If uebersteuertpruefer = True Then
    MsgBox("Das Bild ist uebersteuert", vbCritical, "Warnung")
    pic_bild.Image = bitmapuebersteuert
    Me.Refresh()
    System.Threading.Thread.Sleep(1000)
    antwortuebersteuert = MsgBox("wOchten Sie trotzdem fortfahren?", vbCritical + vbYesNo, "Warnung")
End If

If antwortuebersteuert = MsgBoxResult.Yes Then
    cmd_bild.Enabled = True
    cmd_leuchtdichte.Enabled = True
    cmd_originalgroesse.Enabled = True
    cmd_exif.Visible = True
    cmd_exif.Enabled = True

    txt_txt_belichtung.ReadOnly = False
    txt_txt_blende.ReadOnly = False
    txt_txt_brennweite.ReadOnly = False
    txt_txt_iso.ReadOnly = False
End If

If antwortuebersteuert = MsgBoxResult.No Then
    cmd_bild.Enabled = True
    Exit Sub
End If

```

```

'prueft das Kameramodell
'handelt es sich um ein anderes Modell oder liegen keine Angabe vor erhält der Benutzer eine Nachricht
'der Benutzer hat die Möglichkeit weiter fortzufahren oder das Programm zu beenden
'entsprechend der Entscheidung werden die Buttons eingestellt und die Read Only Eigenschaft der Textfelder

If kamera <> "Canon EOS 600D" Then
    Dim antwortkamera As MsgBoxResult

    If kamera = "" Then
        antwortkamera = MsgBox("Das Programm ist konzipiert für die Kamera: Canon EOS 600D" & vbCrLf & _
            "Das gewählte Bild wurde mit einer anderen Kamera aufgenommen" & vbCrLf & vbCrLf & _
            "Die Werte für die Leuchtdichten sind möglicherweise nicht korrekt" & vbCrLf & vbCrLf & _
            "Möchten Sie trotzdem fortfahren?", vbInformation + vbYesNo, "Information")
    Else
        antwortkamera = MsgBox("Das Programm ist konzipiert für die Kamera: Canon EOS 600D" & vbCrLf & _
            "Das gewählte Bild wurde mit einer Kamera: " & kamera & " aufgenommen" & vbCrLf & vbCrLf & _
            "Die Werte für die Leuchtdichten sind möglicherweise nicht korrekt" & vbCrLf & vbCrLf & _
            "Möchten Sie trotzdem fortfahren?", vbInformation + vbYesNo, "Information")
    End If

    If antwortkamera = MsgBoxResult.Yes Then
        cmd_bild.Enabled = True
        cmd_leuchtdichte.Enabled = True
        cmd_originalgroesse.Enabled = True
        cmd_exif.Visible = True
        cmd_exif.Enabled = True

        txt_txt_belichtung.ReadOnly = False
        txt_txt_blende.ReadOnly = False
        txt_txt_brennweite.ReadOnly = False
        txt_txt_iso.ReadOnly = False
    End If

    If antwortkamera = MsgBoxResult.No Then
        cmd_bild.Enabled = True
        cmd_leuchtdichte.Enabled = False
        cmd_originalgroesse.Enabled = False
        cmd_exif.Visible = False
        cmd_exif.Enabled = False

        txt_txt_belichtung.ReadOnly = True
        txt_txt_blende.ReadOnly = True
        txt_txt_brennweite.ReadOnly = True
        txt_txt_iso.ReadOnly = True
    End If
End If

Else
    cmd_bild.Enabled = True
    cmd_leuchtdichte.Enabled = True
    cmd_originalgroesse.Enabled = True
    cmd_exif.Visible = True
    cmd_exif.Enabled = True

    txt_txt_belichtung.ReadOnly = False
    txt_txt_blende.ReadOnly = False
    txt_txt_brennweite.ReadOnly = False
    txt_txt_iso.ReadOnly = False
End If

'laedt das Bild in die Pictur Box fuehrt ein Refresh durch und macht ein Screenshot

pic_bild.Image = bitmap
Me.Refresh()
bitmapkopie = Ikt_screenshot()
bitmapkopiepruefer = True
End Sub

```

- `cmd_leuchtdichte_Click`

Der Button `cmd_Leuchtdichte` dient der Bestimmung der Leuchtdichte aller Pixel. Am Anfang des Programms werden wieder alle Parameter zurückgesetzt. Die Progress Bar erhält für die `Value`-Eigenschaft den Wert null. Die Variablen `belichtungspruefer`, `blendep RUEFER` und `isopruefer` erhalten den Wert false. Evtl. vorhandene Inhalte aller Label für die Ausgabe und aller Textfelder beider Formulare, außer der Textfelder für die Kameradaten auf dem Formular `frm_Leuchtdichte`, werden gelöscht. Alle Buttons sind deaktiviert. In die Textfelder der Kameraeigenschaften und das Textfeld zur Aus- und Eingabe eines Grauwertes ist eine Eingabe nicht möglich.

Sind alle Parameter zurückgesetzt ermittelt das Programm `prg_exif` die EXIF-Daten. Für die Textfelder der Kameraeinstellungen auf dem Formular `frm_Leuchtdichte` wird einzeln für jedes Textfeld geprüft, ob eine Zahl vorhanden ist. Ist eine Zahl im Textfeld, erhält die entsprechende Variable mit der Namensendung ausgelesen den eingegebenen Wert.

Weitere If-Anweisungen prüfen für jede Kameraeinstellung, ob ein Wert in der EXIF vorhanden ist. Ist ein Wert vorhanden wird für das Formular `frm_Kameradaten` die Eigenschaft `checked` des entsprechenden Radio Button für EXIF auf true gesetzt. Andernfalls erhält der Radio Button für manuell eingegebene Werte den Wert true.

Die Werte der EXIF-Daten werden an die entsprechenden Textfelder auf dem Formular `frm_Formulardaten` übergeben und die aus den Textfeldern ausgelesenen Werte auf dem Formular `frm_Leuchtdichte` an die Textfelder für die ausgelesenen Werte auf dem Formular `frm_Kameradaten`. Im letzten Schritt lädt das Programm das Formular `frm_Kameradaten`. Die weitere Ermittlung der Leuchtdichte erfolgt dann über den Button `cmd_bestatigt` des Formulars `frm_Kameradaten`.

```

Private Sub cmd_leuchtdichte_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_leuchtdichte.Click
    '#Zuruecksetzen aller Parameter
    '#setzt die Progress Bar zurueck
    '#setzt die Boolean Variablen zurueck
    '#setzt die Eigenschaften Enabled und Visible der Buttons zurueck
    '#deaktiviert die Textfelder
    '#loescht den Inhalt aller Label und Textfelder

    prg_bar.Value = 0

    frm_Kameradaten.belichtungpruefer = False
    frm_Kameradaten.blendepruefer = False
    frm_Kameradaten.isoeruefer = False

    txt_txt_grauwert.Text = ""
    txt_txt_leuchtdichte.Text = ""
    Call prg_labelloescher()
    frm_Kameradaten.txt_txt_belichtung_ausgelesen.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_belichtung_exif.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_blende_ausgelesen.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_blende_exif.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_brennweite_ausgelesen.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_brennweite_exif.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_iso_ausgelesen.Text = ""
    frm_Kameradaten.txt_txt_iso_exif.Text = ""

    cmd_bild.Enabled = False
    cmd_leuchtdichte.Enabled = False
    cmd_speichern.Enabled = False
    cmd_originalgroesse.Enabled = False
    cmd_zurueck.Enabled = False
    cmd_leuchtdichte.Enabled = False
    cmd_speichern.Enabled = False
    cmd_originalgroesse.Enabled = False
    cmd_zurueck.Enabled = False
    cmd_intervallskala.Enabled = False
    cmd_verhaeltnisskala.Enabled = False
    cmd_komplett.Enabled = False
    cmd_exif.Enabled = False

    txt_txt_belichtung.ReadOnly = True
    txt_txt_blende.ReadOnly = True
    txt_txt_brennweite.ReadOnly = True
    txt_txt_iso.ReadOnly = True
    txt_txt_grauwert.ReadOnly = True
    '#oeffnet das Programm prg_exif
    '#liest die Werte in den Textfeldern der Kamereigenschaften aus
    '#setzt die Checked Eigenschaft der Radio Buttons des Formulars frm_Kameradaten fuer EXIF auf True, wenn EXIF - Daten vorhanden sind
    '#sind keine EXIF - Daten vorhanden wird fuer die Radio Buttons des Formulars frm_Kameradaten fuer ausgelesen Checked auf true gesetzt
    '#gibt die EXIF - Daten und die ausgelesenen Werte in entsprechenden Textfeld auf dem Kameraformular aus
    '#oeffnet das Formular Kameradaten

    Call prg_exif()

    If IsNumeric(txt_txt_belichtung.Text) Then
        belichtungausgelesen = txt_txt_belichtung.Text
    End If

    If IsNumeric(txt_txt_blende.Text) Then
        blendeausgelesen = txt_txt_blende.Text
    End If

    If IsNumeric(txt_txt_brennweite.Text) Then
        brennweiteausgelesen = txt_txt_brennweite.Text
    End If

    If IsNumeric(txt_txt_iso.Text) Then
        isoausgelesen = txt_txt_iso.Text
    End If

    If belichtungexif = "" Then
        frm_Kameradaten.rdbt_belichtung_ausgelesen.Checked = True
    Else
        frm_Kameradaten.rdbt_belichtung_exif.Checked = True
    End If

    If blendeexif = "" Then
        frm_Kameradaten.rdbt_blende_ausgelesen.Checked = True
    Else
        frm_Kameradaten.rdbt_blende_exif.Checked = True
    End If

    If brennweiteexif = "" Then
        frm_Kameradaten.rdbt_brennweite_ausgelesen.Checked = True
    Else
        frm_Kameradaten.rdbt_brennweite_exif.Checked = True
    End If

    If isoexif = "" Then
        frm_Kameradaten.rdbt_iso_ausgelesen.Checked = True
    Else
        frm_Kameradaten.rdbt_iso_exif.Checked = True
    End If

    frm_Kameradaten.txt_txt_belichtung_ausgelesen.Text = belichtungausgelesen
    frm_Kameradaten.txt_txt_blende_ausgelesen.Text = blendeausgelesen
    frm_Kameradaten.txt_txt_brennweite_ausgelesen.Text = brennweiteausgelesen
    frm_Kameradaten.txt_txt_iso_ausgelesen.Text = isoausgelesen

    frm_Kameradaten.txt_txt_belichtung_exif.Text = belichtungexif
    frm_Kameradaten.txt_txt_blende_exif.Text = blendeexif
    frm_Kameradaten.txt_txt_brennweite_exif.Text = brennweiteexif
    frm_Kameradaten.txt_txt_iso_exif.Text = isoexif

    frm_Kameradaten.Show()
End Sub

```

- `cmd_speichern_Click`

Über den Button `cmd_speichern` hat der Benutzer die Möglichkeit die Messwerte als txt Datei abzuspeichern. Vor dem ersten Schritt wird die Progress Bar zurückgesetzt. Alle Buttons werden deaktiviert. Die Textfelder der Kameradaten und das Textfeld `txt_txt_grauwert` erhalten für `ReadOnly` den Wert `true`.

Im ersten Schritt öffnet sich der Save File Dialog. Dort kann der Benutzer den Pfad, unter dem die Messdaten gespeichert werden sollen, auswählen und einen Namen bestimmen. Wird unter dem Save File Dialog Cancel ausgewählt, beendet sich das Programm. Ist ein Pfad und ein Dateiname gewählt, erhält die Variable `datei` diese Werte, über die StreamWriter-Methoden ist dann die Ausgabe in die Datei möglich.

Zwei verschachtelte For-Schleifen bestimmen Pixel für Pixel die Leuchtdichte. Den Grauwert bestimmt das Unterprogramm `prg_grauwert`. Das Unterprogramm `prg_leuchtdichteterminer` bestimmt daraus die Leuchtdichte und schreibt den Wert in den StreamWriter.

Sind alle Pixel einer Zeile ausgelesen, schreibt der StreamWriter einen Zeilenumbruch. Die Progress Bar erhöht sich. Sind die Pixel des kompletten Bildes bestimmt, schließt sich der StreamWriter.

Nach Speicherung der Werte werden die Buttons wieder freigegeben. Für den Button `cmd_originalgroesse` und `cmd_zuruck` prüft das Programm, welcher Button im Vorfeld sichtbar und freigegeben war und macht diesen wieder sichtbar und gibt ihn frei. Für die Textfelder der Kameraeinstellungen und das Textfeld `txt_txt_grauwert` sind Eingaben wieder möglich.

```
Private Sub cmd_speichern_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_speichern.Click
    '#Zuruecksetzen aller Parameter
    'setzt die Progress Bar zurueck
    'deaktiviert die Buttons und die Textfelder

    prg_bar.Value = 0

    cmd_bild.Enabled = False
    cmd_leuchtdichte.Enabled = False
    cmd_speichern.Enabled = False
    cmd_originalgroesse.Enabled = False
    cmd_zurueck.Enabled = False
    cmd_intervallskala.Enabled = False
    cmd_verhaeltnisskala.Enabled = False
    cmd_komplett.Enabled = False
    cmd_exif.Enabled = False

    txt_txt_grauwert.ReadOnly = True
    txt_txt_belichtung.ReadOnly = True
    txt_txt_blende.ReadOnly = True
    txt_txt_brennweite.ReadOnly = True
    txt_txt_iso.ReadOnly = True
    txt_txt_grauwert.ReadOnly = True

    'oeffnet ein Fenster um den Speicherort zu waehlen
    'ermittelt über zwei verschachtelte For - Schleifen pixelweise die Leuchtdichte
    'schreibt jeden Wert in die Datei

    cdi_speichern.FileName = cdi_oeffnen.FileName & ".txt"

    If cdi_speichern.ShowDialog = DialogResult.Cancel Then
        Exit Sub
    End If

    Dim datei As IO.StreamWriter = New IO.StreamWriter(cdi_speichern.FileName)

    For x = 0 To hoehe - 1 Step 1
        For y = 0 To breite - 1 Step 1
            Call prg_grauwert(x, y)
            Call prg_leuchtdichteermittler()

            datei.Write(leuchtdichte & ";")
        Next y
        prg_bar.Value = (x / hoehe) * 100
        datei.WriteLine()
    Next x
    datei.Close()

    'gibt die Buttons und die Textfelder wieder frei

    cmd_bild.Enabled = True
    cmd_leuchtdichte.Enabled = True
    cmd_speichern.Enabled = True
    cmd_intervallskala.Enabled = True
    cmd_verhaeltnisskala.Enabled = True
    cmd_komplett.Enabled = True
    cmd_exif.Enabled = True
    If originalgroessepruefer = False Then
        cmd_zurueck.Enabled = True
    Else
        cmd_originalgroesse.Enabled = True
    End If

    txt_txt_grauwert.ReadOnly = False
    txt_txt_belichtung.ReadOnly = False
    txt_txt_blende.ReadOnly = False
    txt_txt_brennweite.ReadOnly = False
    txt_txt_iso.ReadOnly = False
    txt_txt_grauwert.ReadOnly = False
End Sub
```

- `cmd_originalgroesse_Click`

Mit Hilfe des Buttons `cmd_originalgroesse` ist es dem Benutzer erlaubt, die in die Picture Box geladene Bitmap in Originalgröße anzeigen zu lassen. Der `originalgroessepruefer` bekommt den Wert `true`. Die Progress Bar wird zurückgesetzt. Für die Anzeige der Originalgröße ist im ersten Schritt die Eigenschaft `AutoScroll` des Panels `true`, wodurch es dem Benutzer erlaubt ist, im Bild zu scrollen. Die Eigenschaft `SizeMode` der Picture Box erhält den Wert `AutoSize`. Dadurch wird das Bild in Originalgröße in die Picture Box geladen.

Im ersten Schritt ist die Bitmap ohne veränderte Grauwerte der Pixel in der Picture Box abgelegt. Ein Refresh des Bildschirms und eine Programmpause sorgen dafür, dass über die Funktion `fkt_screenshot` eine Kopie des Bildschirms erstellt werden kann. Im Anschluss daran lädt das Unterprogramm `prg_skalenpruefer` die passende Bitmap in die Picture Box.

Am Ende erhält der Button für die Originalgröße für die Eigenschaften `Visible` und `Enabled` den Wert `false`. Der Button `cmd_zurueck` wird sichtbar und aktiviert.

Die Progress Bar zeigt den Fortschritt des Programms an. Der Fortschritt kann über die Eigenschaft `Value` verändert werden. Eine Änderung findet an drei Stellen im Programmteil statt.

```
Private Sub cmd_originalgroesse_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_originalgroesse.Click
    'setzt den originalgroessepruefer auf true und die Progress Bar zurueck
    'aktiviert den Auto Scroll des Panels der Picture Box
    'setzt für die Picture Box die Groesse auf Auto Size
    'laedt das Originalbild und erstellt ein Screenshot
    'oeffnet das Programm prg_skalenpruefer
    'gibt den Button cmd_zurueck frei und macht ihn sichtbar
    'deaktiviert den Button cmd_originalgroesse und macht ihn unsichtbar
    'im Verlauf wird die Fortschrittsanzeige der Progress Bar erhoeht

    originalgroessepruefer = True

    prg_bar.Value = 0

    pnl_bild.AutoScroll = True
    pic_bild.SizeMode = PictureBoxSizeMode.AutoSize

    pic_bild.Image = bitmap
    Me.Refresh()
    System.Threading.Thread.Sleep(500)
    bitmapkopie = fkt_screenshot()

    prg_bar.Value = 50

    Call prg_skalenpruefer()

    cmd_zurueck.Visible = True
    cmd_zurueck.Enabled = True
    cmd_originalgroesse.Visible = False
    cmd_originalgroesse.Enabled = False

    prg_bar.Value = 100
End Sub
```

- `cmd_zurueck_Click`

Der Button `cmd_zurueck` wird benötigt, um die Aktion über den Button `cmd_originalgroesse` und eine Ausschnittvergrößerung rückgängig zu machen. Die booleschen Variablen `originalgroessepruefer` und `ausschnittpruefer` bekommen den Wert `false`. Die Progress Bar bekommt für die `Value` Eigenschaft den Wert `null`.

`Cmd_zurueck` setzt die Eigenschaft `AutoScroll` des Panels auf `false`. Ein scrollen ist dadurch nicht mehr möglich. Die Eigenschaft `SizeMode` der Picture Box wird auf `StretchedImage` gestellt, wodurch das Bild an die Größe der Picture Box angepasst wird.

Das Programm lädt die Bitmap ohne veränderte Grauwerte der Pixel in die Picture Box, um anschließend über die Funktion `fkt_screenshot` eine Kopie des Bildschirms zu erstellen. Ein Refresh des Bildschirms und eine Programmpause sorgen dafür, dass das Bild beim Screenshot geladen ist. Der Screenshot wird benötigt, um den Grauwert der Koordinate zu bestimmen, an der sich der Zeiger der Maus befindet. Das Unterprogramm `prg_skalenpruefer` sucht die richtige Bitmap und lädt diese in die Picture Box.

Der Button für die Originalgröße muss auf sichtbar und aktiviert geändert werden. Der Button `cmd_zurueck` muss unsichtbar und deaktiviert sein.

Die Progress Bar zeigt den Fortschritt des Programms an. Sie wird an drei Stellen im Programm geändert.

```
Private Sub cmd_zurueck_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_zurueck.Click
    'setzt den originalgroessepruefer auf false und die Progress Bar zurueck
    'deaktiviert den Auto Scroll des Panels der Picture Box
    'setzt für die Picture Box die Groesse auf Stretched Image
    'laedt das Originalbild und erstellt ein Screenshot
    'oeffnet das Programm prg_skalenpruefer
    'deaktiviert den Button cmd_zurueck und macht ihn unsichtbar
    'gibt den Button cmd_originalgroesse frei und macht ihn sichtbar
    'im Verlauf wird die Fortschrittsanzeige der Progress Bar erhoeht

    originalgroessepruefer = False
    ausschnittspruefer = False

    prg_bar.Value = 0

    pnl_bild.AutoScroll = False
    pic_bild.Width = 580
    pic_bild.Height = 386
    pic_bild.SizeMode = PictureBoxSizeMode.StretchImage

    pic_bild.Image = bitmap
    Me.Refresh()
    System.Threading.Thread.Sleep(500)
    bitmapkopie = fkt_screenshot()

    prg_bar.Value = 50

    Call prg_skalenpruefer()

    cmd_zurueck.Visible = False
    cmd_zurueck.Enabled = False
    cmd_originalgroesse.Visible = True
    cmd_originalgroesse.Enabled = True

    prg_bar.Value = 100
End Sub
```

- `cmd_intervallskala_Click`,
`cmd_verhaeltnisskala_Click`,
`cmd_komplett_Click`

Der Quellcode für die Buttons `cmd_intervallskala`, `cmd_verhaeltnisskala` und `cmd_komplett` unterscheidet sich nur geringfügig. Der Aufbau ist bei allen gleich. Über die Buttons lässt sich die Skala zur Anzeige der Leuchtdichte verändern.

Im ersten Schritt bekommt die Variable `skalenpruefer` den entsprechenden Wert zugewiesen. Anschließend deaktiviert sich der Button der gewählten Skala und die Buttons der anderen Skalen aktivieren sich. Die Inhalte der Label für die Beschriftung der Bereiche werden gelöscht. Eine Abfrage prüft, ob die Variable `ausschnittspruefer` den Wert `false` hat. Ist der Wert `false` wird die entsprechende Bitmap in die Picture Box geladen. Andernfalls lädt das Programm `prg_ausschnittspruefer` die richtige Bitmap in die Picture Box. Im letzten Schritt werden die Label `lbl_txt_min_L1-lbl_txt_min_L10` und `lbl_txt_max_L1-lbl_txt_max_L10` mit den entsprechenden Werten der Skala beschriftet.

```
Private Sub cmd_intervallskala_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_intervallskala.Click
    'setzt die Variable skalenpruefer auf eins fuer Intervallskala und sperrt den Button
    'ruft das Programm prg_labelloescher auf
    'prueft ob eine Ausschnittsvergroesserung besteht
    'ruft bei bestehender Ausschnittsvergroesserung das Programm prg_ausschnittspruefer auf
    'ist keine Ausschnittsvergroesserung vorhanden wird die bitmapintervallskala in die Picture Box geladen
    'beschriftet die Label lbl_txt_min und lbl_txt_max fuer die intervallskala

    skalenpruefer = 1
    cmd_intervallskala.Enabled = False
    cmd_verhaeltnisskala.Enabled = True
    cmd_komplett.Enabled = True

    Call prg_labelloescher()

    If ausschnittspruefer = False Then
        pic_bild.Image = bitmapintervallskala
    Else
        Call prg_ausschnittspruefer()
    End If

    lbl_txt_min_L1.Text = Format(bereichsminintervallskala(0), "0.0")
    lbl_txt_min_L2.Text = Format(bereichsminintervallskala(1), "0.0")
    lbl_txt_min_L3.Text = Format(bereichsminintervallskala(2), "0.0")
    lbl_txt_min_L4.Text = Format(bereichsminintervallskala(3), "0.0")
    lbl_txt_min_L5.Text = Format(bereichsminintervallskala(4), "0.0")
    lbl_txt_min_L6.Text = Format(bereichsminintervallskala(5), "0.0")
    lbl_txt_min_L7.Text = Format(bereichsminintervallskala(6), "0.0")
    lbl_txt_min_L8.Text = Format(bereichsminintervallskala(7), "0.0")
    lbl_txt_min_L9.Text = Format(bereichsminintervallskala(8), "0.0")
    lbl_txt_min_L10.Text = Format(bereichsminintervallskala(9), "0.0")
    lbl_txt_max_L1.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(0), "0.0")
    lbl_txt_max_L2.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(1), "0.0")
    lbl_txt_max_L3.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(2), "0.0")
    lbl_txt_max_L4.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(3), "0.0")
    lbl_txt_max_L5.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(4), "0.0")
    lbl_txt_max_L6.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(5), "0.0")
    lbl_txt_max_L7.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(6), "0.0")
    lbl_txt_max_L8.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(7), "0.0")
    lbl_txt_max_L9.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(8), "0.0")
    lbl_txt_max_L10.Text = Format(bereichsmaxintervallskala(9), "0.0")
End Sub
```

```

Private Sub cmd_verhaeltnisskala_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_verhaeltnisskala.Click
' setzt die Variable skalenpruefer auf zwei fuer verhaeltnisskala und sperrt den Button
' ruft das Programm prg_labelloescher auf
' prueft ob eine Ausschnittsvergroesserung besteht
' ruft bei bestehender Ausschnittsvergroesserung das Programm prg_ausschnittspruefer auf
' ist keine Ausschnittsvergroesserung vorhanden wird die bitmapverhaeltnisskala in die Picture Box geladen
' beschriftet die Label lbl_txt_min und lbl_txt_max fuer die verhaeltnisskala

skalenpruefer = 2
cmd_intervallskala.Enabled = True
cmd_verhaeltnisskala.Enabled = False
cmd_komplett.Enabled = True

Call prg_labelloescher()

If ausschnittspruefer = False Then
pic_bild.Image = bitmapverhaeltnisskala
Else
Call prg_ausschnittspruefer()
End If

lbl_txt_min_L1.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(0), "0.0")
lbl_txt_min_L2.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(1), "0.0")
lbl_txt_min_L3.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(2), "0.0")
lbl_txt_min_L4.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(3), "0.0")
lbl_txt_min_L5.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(4), "0.0")
lbl_txt_min_L6.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(5), "0.0")
lbl_txt_min_L7.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(6), "0.0")
lbl_txt_min_L8.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(7), "0.0")
lbl_txt_min_L9.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(8), "0.0")
lbl_txt_min_L10.Text = Format(bereichminverhaeltnisskala(9), "0.0")
lbl_txt_max_L1.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(0), "0.0")
lbl_txt_max_L2.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(1), "0.0")
lbl_txt_max_L3.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(2), "0.0")
lbl_txt_max_L4.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(3), "0.0")
lbl_txt_max_L5.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(4), "0.0")
lbl_txt_max_L6.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(5), "0.0")
lbl_txt_max_L7.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(6), "0.0")
lbl_txt_max_L8.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(7), "0.0")
lbl_txt_max_L9.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(8), "0.0")
lbl_txt_max_L10.Text = Format(bereichmaxverhaeltnisskala(9), "0.0")
End Sub

```

```

Private Sub cmd_komplett_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_komplett.Click
' setzt die Variable skalenpruefer auf drei fuer den kompletten Bereich und sperrt den Button
' ruft das Programm prg_labelloescher auf
' prueft ob eine Ausschnittsvergroesserung besteht
' ruft bei bestehender Ausschnittsvergroesserung das Programm prg_ausschnittspruefer auf
' ist keine Ausschnittsvergroesserung vorhanden wird die bitmapkomplett in die Picture Box geladen
' beschriftet die Label lbl_txt_min und lbl_txt_max fuer den kompletten Bereich

skalenpruefer = 3
cmd_intervallskala.Enabled = True
cmd_verhaeltnisskala.Enabled = True
cmd_komplett.Enabled = False

Call prg_labelloescher()

If ausschnittspruefer = False Then
pic_bild.Image = bitmapkomplett
Else
Call prg_ausschnittspruefer()
End If

lbl_txt_min_L1.Text = Format(bereichminkomplett(0), "0.0")
lbl_txt_min_L2.Text = Format(bereichminkomplett(1), "0.0")
lbl_txt_min_L3.Text = Format(bereichminkomplett(2), "0.0")
lbl_txt_min_L4.Text = Format(bereichminkomplett(3), "0.0")
lbl_txt_min_L5.Text = Format(bereichminkomplett(4), "0.0")
lbl_txt_min_L6.Text = Format(bereichminkomplett(5), "0.0")
lbl_txt_min_L7.Text = Format(bereichminkomplett(6), "0.0")
lbl_txt_min_L8.Text = Format(bereichminkomplett(7), "0.0")
lbl_txt_min_L9.Text = Format(bereichminkomplett(8), "0.0")
lbl_txt_min_L10.Text = Format(bereichminkomplett(9), "0.0")
lbl_txt_max_L1.Text = Format(bereichmaxkomplett(0), "0.0")
lbl_txt_max_L2.Text = Format(bereichmaxkomplett(1), "0.0")
lbl_txt_max_L3.Text = Format(bereichmaxkomplett(2), "0.0")
lbl_txt_max_L4.Text = Format(bereichmaxkomplett(3), "0.0")
lbl_txt_max_L5.Text = Format(bereichmaxkomplett(4), "0.0")
lbl_txt_max_L6.Text = Format(bereichmaxkomplett(5), "0.0")
lbl_txt_max_L7.Text = Format(bereichmaxkomplett(6), "0.0")
lbl_txt_max_L8.Text = Format(bereichmaxkomplett(7), "0.0")
lbl_txt_max_L9.Text = Format(bereichmaxkomplett(8), "0.0")
lbl_txt_max_L10.Text = Format(bereichmaxkomplett(9), "0.0")
End Sub

```

- cmd_exif

Bei Betätigung des Buttons zur Bestimmung der EXIF-Daten lädt dieses das Unterprogramm zur Bestimmung der EXIF-Daten. Anschließend werden die Inhalte der Textfelder für die Kameraeigenschaften gelöscht. Ein Refresh sorgt dafür, dass die Änderung direkt sichtbar ist. Wenn kein Wert für eine Einstellung vorhanden ist, gibt das Textfeld „keine Ang.“ aus. Liegt ein Wert vor, erfolgt die Ausgabe des Wertes im entsprechenden Textfeld.

```
Private Sub cmd_exif_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_exif.Click
    'ruft das Programm prg_exif auf
    'loescht den Inhalt in den Textfeldern
    'fuehrt einen Refresh durch
    'prueft ob ein Wert vorhanden ist und laedt diesen in das entsprechende Textfeld

    Call prg_exif()

    txt_txt_brennweite.Text = ""
    txt_txt_iso.Text = ""
    txt_txt_blende.Text = ""
    txt_txt_belichtung.Text = ""

    Me.Refresh()

    If belichtungexif = "" Then
        txt_txt_belichtung.Text = "keine Ang."
    Else
        txt_txt_belichtung.Text = belichtungexif
    End If

    If blendeexif = "" Then
        txt_txt_blende.Text = "keine Ang."
    Else
        txt_txt_blende.Text = blendeexif
    End If

    If brennweiteexif = "" Then
        txt_txt_brennweite.Text = "keine Ang."
    Else
        txt_txt_brennweite.Text = brennweiteexif
    End If

    If isoexif = "" Then
        txt_txt_iso.Text = "keine Ang."
    Else
        txt_txt_iso.Text = isoexif
    End If
End Sub
```

- prg_exif

Das Unterprogramm dient der Bestimmung der EXIF-Daten. Es liest über eine Case-Struktur den Kameranamen, die Brennweite, die ISO-Einstellung, die Blendenzahl und die Belichtungszeit aus den EXIF-Daten der Bilddatei aus.

```
Private Sub prg_exif()  
    'bestimmt die EXIF - Daten wenn vorhanden  
  
    Dim enc As Encoding = Encoding.Default  
  
    kamera = String.Empty  
    brennweiteexif = String.Empty  
    isoexif = String.Empty  
    blendeexif = String.Empty  
    belichtungexif = String.Empty  
  
    For Each Info As PropertyItem In bitmap.PropertyItems  
        Select Case Info.Id  
            Case 272  
                kamera = enc.GetString(Info.Value, 0, Info.Len - 1)  
            Case 37386  
                brennweiteexif = BitConverter.ToInt32(Info.Value, 0) / BitConverter.ToInt32(Info.Value, 4)  
            Case 34855  
                isoexif = BitConverter.ToInt16(Info.Value, 0)  
            Case 33437  
                blendeexif = BitConverter.ToInt32(Info.Value, 0) / BitConverter.ToInt32(Info.Value, 4)  
            Case 33434  
                belichtungexif = BitConverter.ToInt32(Info.Value, 0) / BitConverter.ToInt32(Info.Value, 4)  
        End Select  
    Next  
End Sub
```

- `prg_labelloescher`

Das Programm `prg_labelloescher` löscht beim Aufruf für die Label `lbl_txt_min_L1-lbl_txt_min_L10` und `lbl_txt_max_L1-lbl_txt_max_L10` den Textinhalt über die Eigenschaft `Text`. Ein Refresh und eine Programmpause sorgen dafür, dass die Änderung sichtbar ist. Die Programmpause ist in Millisekunden angegeben.

```
Private Sub prg_labelloescher()  
    'loescht den Inhalt aller lbl_txt_min und lbl_txt_max  
    'fuehrt einen Refresh und einen Systemstop durch  
  
    lbl_txt_min_L1.Text = ""  
    lbl_txt_min_L2.Text = ""  
    lbl_txt_min_L3.Text = ""  
    lbl_txt_min_L4.Text = ""  
    lbl_txt_min_L5.Text = ""  
    lbl_txt_min_L6.Text = ""  
    lbl_txt_min_L7.Text = ""  
    lbl_txt_min_L8.Text = ""  
    lbl_txt_min_L9.Text = ""  
    lbl_txt_min_L10.Text = ""  
    lbl_txt_max_L1.Text = ""  
    lbl_txt_max_L2.Text = ""  
    lbl_txt_max_L3.Text = ""  
    lbl_txt_max_L4.Text = ""  
    lbl_txt_max_L5.Text = ""  
    lbl_txt_max_L6.Text = ""  
    lbl_txt_max_L7.Text = ""  
    lbl_txt_max_L8.Text = ""  
    lbl_txt_max_L9.Text = ""  
    lbl_txt_max_L10.Text = ""  
    Me.Refresh()  
    System.Threading.Thread.Sleep(1000)  
End Sub
```

- prg_bitmapschliesser

Das Programm schließt die Bitmaps *bitmap*, *bitmapintervallskala*, *bitmapverhaeltniskala*, *bitmapkomplett* und *bitmapuebersteuert*, wenn die Variable *bitmappruefertrue* ist. Ist die Variable *bitmapkopiepruefertrue* wird die Bitmap *bitmapkopie* geschlossen. Die Bitmap *bitmapausschnitt* wird geschlossen, wenn die Variable *bitmapausschnittpruefertrue* ist.

```
Public Sub prg_bitmapschliesser()  
    'prueft ob Bitmaps vorhanden sind und schliesst vorhandene  
  
    If bitmappruefer = True Then  
        bitmap.Dispose()  
        bitmapintervallskala.Dispose()  
        bitmapverhaeltnisskala.Dispose()  
        bitmapkomplett.Dispose()  
        bitmapuebersteuert.Dispose()  
    End If  
  
    If bitmapkopiepruefer = True Then  
        bitmapkopie.Dispose()  
    End If  
  
    If bitmapausschnittpruefer = True Then  
        bitmapausschnitt.Dispose()  
    End If  
End Sub
```

- `prg_skalenpruefer`

Das Unterprogramm erhält durch die Variable *skalenpruefer* die Information, welche Skala für die Anzeige der Leuchtdichteverteilung gewählt ist. Eine Case-Struktur wählt die entsprechende Skala aus und lädt die passende Bitmap in die Picture Box.

```
Private Sub prg_skalenpruefer()  
    'prueft welche Skala geladen ist und laedt das entsprechende Bild in die Picture Box  
  
    Select Case skalenpruefer  
        Case 0  
            pic_bild.Image = bitmap  
        Case 1  
            pic_bild.Image = bitmapintervallskala  
        Case 2  
            pic_bild.Image = bitmapverhaeltnisskala  
        Case 3  
            pic_bild.Image = bitmapkomplett  
    End Select  
End Sub
```

- `prg_ausschnittpruefer`

Das Unterprogramm *prg_ausschnittpruefer* wird benötigt, um den Ausschnitt in der gewählten Skala in die Picture Box zu laden. Es prüft, welchen Wert die Variable *skalenpruefer* besitzt. Eine Case-Struktur sucht die passende Skala und lädt den Ausschnitt mit entsprechender Skalenanzeige in die Picture Box.

```
Private Sub prg_ausschnittspruefer()  
    'prueft welche Skala geladen ist und laedt den entsprechenden Ausschnitt in die Picture Box  
  
    Select Case skalenpruefer  
        Case 1  
            grafik.DrawImage(bitmapintervallskala, rechteck, auswahlrechteck, GraphicsUnit.Pixel)  
        Case 2  
            grafik.DrawImage(bitmapverhaeltnisskala, rechteck, auswahlrechteck, GraphicsUnit.Pixel)  
        Case 3  
            grafik.DrawImage(bitmapkomplett, rechteck, auswahlrechteck, GraphicsUnit.Pixel)  
    End Select  
    pic_bild.Image = bitmapausschnitt  
End Sub
```

- `prg_umrechnungsfaktor`

Das Programm `prg_umrechnungsfaktor` besteht aus einer Programmierzeile. Diese enthält die Formel zur Umrechnung auf Bezugseinstellung. Bei Aufruf berechnet das Programm den Faktor für die Umrechnung.

```
Public Sub prg_umrechnungsfaktor()  
    'berechnet den Umrechnungsfaktor fuer die Bezugseinstellung  
  
    umrechnungsfaktor = belichtung / 0.25 * (22 / blende) ^ 2 * iso / 400  
End Sub
```

- `prg_grauwert`

Das Unterprogramm `prg_grauwert` bestimmt für ein schwarz/ weiß-Bild im ersten Schritt den Farbwert eines Pixels. Aus diesem werden die Grauwerte für die Farben rot, grün und blau bestimmt und daraus aus dem Mittelwert der Grauwert gebildet. Dem Programm müssen bei Aufruf die Werte für die x-Koordinate und die y-Koordinate übergeben werden.

```
Public Sub prg_grauwert(ByVal x As Long, ByVal y As Long)  
    'ermittelt aus einer ausgelesenen Farbe die Farbwerte rot, gruen und blau  
    'bestimmt den Grauwert  
  
    farbe = bitmap.GetPixel(y, x)  
  
    rot = farbe.R  
    gruen = farbe.G  
    blau = farbe.B  
  
    grauwert = (rot + gruen + blau) / 3  
End Sub
```

- `prg_leuchtdichteermittler`

Das Programm `prg_leuchtdichteermittler` berechnet die Leuchtdichte aus einem gegebenen Grauwert. Hierfür wird die Funktion `fkt_leuchtdichteermittler` genutzt.

```
Public Sub prg_leuchtdichteermittler()  
    'berechnet die Leuchtdichte aus einem gegebenen Grauwert  
  
    leuchtdichte = fkt_leuchtdichteermittler(grauwert)  
End Sub
```

- `fkt_leuchtdichteermittler`

Die Funktion `fkt_leuchtdichteermittler` enthält die Formel zur Berechnung der Leuchtdichte aus einem gegebenen Grauwert. Der Grauwert muss an die Funktion übergeben werden. Als Rückgabewert resultiert die Leuchtdichte.

```
Public Function fkt_leuchtdichteermittler(ByVal x As Decimal)
    'Funktion zur Berechnung der Leuchtdichte aus einem Grauwert

    fkt_leuchtdichteermittler = (0.0000000000340689079146255 * x ^ 6 _
        - 0.0000000176948900918079 * x ^ 5 _
        + 0.00000328458260545617 * x ^ 4 _
        - 0.000239285505216458 * x ^ 3 _
        + 0.00647790432958573 * x ^ 2 _
        + 0.386624551727436 * x) / umrechnungsfaktor

End Function
```

- `fkt_screenshot`

Die Funktion benötigt das Programm, um einen Screenshot des Bildschirms zu erstellen. Über den Screenshot ist für eine Mausposition auf der Picture Box der Grauwert an dieser Stelle bestimmbar.

Im ersten Schritt werden die Bildschirmdaten ausgelesen. Anschließend erstellt die Funktion eine neue Bitmap mit der Breite und der Höhe des Bildschirms. Im letzten Schritt wird der Screenshot erzeugt und in der vorher erstellten Bitmap *bitmapkopie* abgelegt und diese im Anschluss verlassen.

```
Public Function fkt_screenshot() As Bitmap
    'bestimmt die Daten vom Bildschirm und erstellt einen Screenshot

    Dim Bounds = Screen.PrimaryScreen.Bounds
    bitmapkopie = New Bitmap(Bounds.Width, Bounds.Height)
    Graphics.FromImage(bitmapkopie).CopyFromScreen(Bounds.Location, New Point(0, 0), Bounds.Size)
    Return bitmapkopie
End Function
```

- `txt_txt_grauwert_TextChanged`

Das *Text Changed*-Event erfolgt bei Änderung des entsprechenden Textfeldes. Im *Text Changed*-Event des Textfeldes *txt_txt_grauwert* prüft eine Abfrage, ob ein numerischer Wert im Textfeld vorhanden ist. Ist ein numerischer Wert vorhanden, wird dieser ausgelesen und in der Variablen *grauwert* abgelegt, aus dem Grauwert die Leuchtdichte bestimmt und im Textfeld *txt_txt_leuchtdichte* ausgegeben. Das Format bestimmt, dass die Ausgabe mit einer Nachkommastelle erfolgt.

```
Private Sub txt_txt_grauwert_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles txt_txt_grauwert.TextChanged
    'liest bei einer Änderung im Textfeld den Grauwert aus
    'prüft ob dieser numerisch ist
    'berechnet bei numerischem Grauwert die Leuchtdichte und gibt diese im entsprechenden Feld aus

    If IsNumeric(txt_txt_grauwert.Text) Then
        grauwert = txt_txt_grauwert.Text
        leuchtdichte = fkt_leuchtdichteermittler(grauwert)
        txt_txt_leuchtdichte.Text = Format(leuchtdichte, "0.0")
    End If
End Sub
```

- `pic_bild_MouseMove`

Das *MouseMove*-Event führt den Quellcode beim Bewegen der Maus auf der Picture Box aus. Wird die Maus über die Picture Box bewegt, ermittelt das Programm die x-Koordinate und die y-Koordinate der aktuellen Mausposition. Daraus ermittelt die *Get Pixel* Methode den Farbwert aus der Bitmap *bitmapkopie* und bestimmt den Grauwert. Aus dem Grauwert kann die Leuchtdichte berechnet werden. Im Anschluss gibt das Textfeld *txt_txt_grauwert* den Grauwert und das Textfeld *txt_txt_leuchtdichte* die Leuchtdichte aus.

```
Private Sub pic_bild_MouseMove(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles pic_bild.MouseMove
    'liest die aktuellen Bildschirmkoordinaten aus
    'ermittelt den Grauwert und gibt diesen im entsprechenden Textfeld aus

    xkoordinate = MousePosition.X
    ykoordinate = MousePosition.Y

    farbe = bitmapkopie.GetPixel(xkoordinate, ykoordinate)
    rot = farbe.R
    gruen = farbe.G
    blau = farbe.B

    grauwert = (rot + gruen + blau) / 3

    txt_txt_grauwert.Text = grauwert
End Sub
```

- `pic_bild_MouseDown`

Das *MouseDown*-Event der Picture Box wird bei Drücken der rechten Maustaste ausgeführt. Das *MouseDown*-Event wird für die Erstellung der Ausschnittvergrößerung benötigt. Es liest die x-Koordinate und y-Koordinate der aktuellen Mausposition in der Picture Box aus.

```
Private Sub pic_bild_MouseDown(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles pic_bild.MouseDown
    'liest die x und y - Koordinate der Picture Box der Mausposition aus

    xanfangskordinate = e.X
    yanfangskordinate = e.Y
End Sub
```

- `pic_bild_MouseUp`

MouseUp führt den Quellcode bei loslassen der geklickten Maustaste aus. Das *MouseUp*-Event beendet die Ausschnittvergrößerung.

Die Ausschnittvergrößerung soll nur funktionieren, wenn ein Bild in der Größe der Picture Box in dieser geladen ist. Dafür wird geprüft ob die *SizeMode*-Eigenschaft der Picture Box auf Stretch Image steht. In diesem Fall ist kein Bild in Originalgröße geladen.

Ist die Eigenschaft *SizeMode* auf Stretch Image gesetzt, liest das Programm die x-Koordinate und y-Koordinate aus. Da eine Ausschnittvergrößerung nur möglich ist, wenn die Diagonale oder das Rechteck mit der Maus von der oberen linken Ecke zur unteren rechten Ecke gezogen wurde, prüft das Programm, ob die Endkoordinaten größer als die Anfangskordinaten sind.

Sind die Koordinaten korrekt, berechnet das Programm Umrechnungsfaktoren für die x-Werte und y-Werte. Dadurch kann der Ausschnitt später aus der Bitmap in Originalgröße generiert werden.

Mit den Faktoren bestimmt das Programm neue x-Koordinaten und y-Koordinaten. Im nächsten Schritt werden zwei Rechtecke erstellt, eines in der Größe der Picture Box und eines mit der Größe der über den Umrechnungsfaktor bestimmten Koordinaten.

Nachfolgend muss eine Bitmap mit der Größe der Picture Box erzeugt und die Variable *bitmapausschnittpruefer* auf true gesetzt werden. Über die Variable *grafik* lässt sich der Ausschnitt erzeugen.

Ist der Ausschnitt erzeugt, lädt das Programm die Bitmap *bitmapausschnitt* in die Picture Box und ein Systemstopp wird durchgeführt. Die Funktion *fmt_screenshot* erzeugt eine Kopie vom Bildschirm, um den Grauwert mit der Maus bestimmen zu können.

Anschließend lädt das Programm *prg_ausschnittspruefer* den Ausschnitt mit der passenden Skala in die Picture Box. Im letzten Schritt erhalten die Eigenschaften *Enabled* und *Visible* des Buttons für die Originalgröße den Wert false. Der Button *cmd_zurueck* wird freigegeben und sichtbar.

```
Private Sub pic_bild_MouseUp(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles pic_bild.MouseUp
    'prueft ob die Picture Box im Stretched Image Modus ist, da eine Ausschnittsvergroesserung der Originalgrosse nicht moeglich ist
    'setzt die Variable ausschnittspruefer auf true
    'liest die x und y - Koordinaten der Mausposition auf der Picture Box aus
    'prueft ob die Endkoordinaten groesser sind als die Anfangskordinaten
    'ermittelt einen Umrechnungsfaktor der Koordinaten auf die Bitmap in Originalgrosse
    'bestimmt die auf die Originalgrosse umgerechneten Koordinaten
    'erstellt ein Rechteck in der Grosse der Picture Box
    'erstellt ein Rechteck in der Grosse des ueber die Maus gewaehiten Bereichs
    'erzeugt die Bitmap bitmapausschnitt
    'setzt den bitmapausschnittpruefer auf true
    'erzeugt den Ausschnitt und laedt diesen in die Picture Box
    'fuehrt ein Refresh und ein Systemstop durch und erzeugt ein Screenshot
    'ruft das Programm prg_ausschnittspruefer auf
    'deaktiviert den Button cmd_originalgrosse und macht ihn unsichtbar
    'aktiviert den Button cmd_zurueck und macht ihn sichtbar

    If pic_bild.SizeMode = PictureBoxSizeMode.StretchImage Then
        ausschnittspruefer = True
        xendkoordinate = e.X
        yendkoordinate = e.Y

        If xendkoordinate > xanfängskoordinate And yendkoordinate > yanfangskoordinate Then
            Dim faktorx As Decimal = bitmap.Width / pic_bild.Width
            Dim faktory As Decimal = bitmap.Height / pic_bild.Height

            Dim xanfängskoordinateumgerechnet As Decimal = xanfängskoordinate * faktorx
            Dim yanfangskoordinateumgerechnet As Decimal = yanfangskoordinate * faktory
            Dim xendkoordinateumgerechnet As Decimal = xendkoordinate * faktorx - xanfängskoordinateumgerechnet
            Dim yendkoordinateumgerechnet As Decimal = yendkoordinate * faktory - yanfangskoordinateumgerechnet

            rechteck = New Rectangle(0, 0, pic_bild.Width, pic_bild.Height)
            auswahlrechteck = New Rectangle(xanfängskoordinateumgerechnet, yanfangskoordinateumgerechnet, _
                xendkoordinateumgerechnet, yendkoordinateumgerechnet)

            bitmapausschnitt = New Bitmap(pic_bild.Width, pic_bild.Height)
            bitmapausschnittpruefer = True
            grafik = Graphics.FromImage(bitmapausschnitt)

            grafik.DrawImage(bitmap, rechteck, auswahlrechteck, GraphicsUnit.Pixel)
            pic_bild.Image = bitmapausschnitt
            Me.Refresh()
            System.Threading.Thread.Sleep(500)
            bitmapkopie = fmt_screenshot()

            Call prg_ausschnittspruefer()

            cmd_originalgrosse.Visible = False
            cmd_originalgrosse.Enabled = False
            cmd_zurueck.Visible = True
            cmd_zurueck.Enabled = True
        End If
    End If
End Sub
```

- pnl_bild_Scroll

Beim Scrollen im Panel lädt das Programm die Bitmap ohne geänderte Pixelwerte in die Picture Box und erstellt ein Screenshot mit der Funktion *fkt_screenshot*. Ein Refresh und eine Programmpause sorgen dafür, dass beim Screenshot die gewünschte Bitmap geladen ist. Das Programm *prg_skalenpruefer* lädt die Bitmap mit der ausgewählten Skala in die Picture Box. Die Progress Bar zeigt den Fortschritt an. Am Anfang erhält sie für die Eigenschaft *Value* den Wert null.

```
Private Sub pnl_bild_Scroll(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.ScrollEventArgs) Handles pnl_bild.Scroll
    'setzt die Progress Bar zurueck
    'laedt beim Scrollen das Originalbild in die Picture Box
    'fuehrt ein Refresh und ein Systemstop durch und erstellt ein Screenshot
    'laedt das Programm skalenpruefer
    'setzt den Fortschritt der Progress Bar waehrend des Programmverlaufs hoch

    prg_bar.Value = 0

    pic_bild.Image = bitmap
    Me.Refresh()
    System.Threading.Thread.Sleep(500)
    bitmapkopie = fkt_screenshot()

    prg_bar.Value = 50

    Call prg_skalenpruefer()

    prg_bar.Value = 100
End Sub
```

- frm_Kameradaten_Load

Das *Load*-Event des Formulars *frm_Kameradaten* besteht aus einer Anweisung. Diese beschriftet bei Aufruf des Formulars das Label *lbl_lbl_text*.

```
Private Sub frm_Kameradaten_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    'Beschriftet das Label lbl_lbl_text

    lbl_lbl_text.Text = "Möchten Sie die EXIF - Daten oder die ausgelesenen Daten nutzen?" & vbCrLf & _
        "Unter ausgelesen haben Sie die Möglichkeit Werte einzugeben oder zu ändern!"
End Sub
```

- frm_Kameradaten_FormClosed

Das *FormClosed*-Event des Formulars *frm_Kameradaten* prüft, ob das Formular vom Benutzer geschlossen wurde. Hat der Benutzer das Formular geschlossen, aktiviert sich der Button zum Laden eines Bildes und der Button zur Bestimmung der Leuchtdichte auf dem Hauptformular. Die *ReadOnly*-Eigenschaft der Textfelder für die Kameraeigenschaften auf dem Formular *frm_Leuchtdichte* erhalten den Wert *false*.

```
Private Sub frm_Kameradaten_FormClosed(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.FormClosedEventArgs) Handles Me.FormClosed
    'prüft ob das Formular vom Benutzer geschlossen wurde
    'gibt die Buttons cmd_bild und cmd_leuchtdichte auf dem Formular frm_Leuchtdichte frei,
    'wenn das Formular frm_Kameradaten geschlossen wurde

    If e.CloseReason = CloseReason.UserClosing Then
        frm_Leuchtdichte.cmd_bild.Enabled = True
        frm_Leuchtdichte.cmd_leuchtdichte.Enabled = True
        frm_Leuchtdichte.txt_txt_brennweite.ReadOnly = False
        frm_Leuchtdichte.txt_txt_blende.ReadOnly = False
        frm_Leuchtdichte.txt_txt_iso.ReadOnly = False
        frm_Leuchtdichte.txt_txt_belichtung.ReadOnly = False
    End If
End Sub
```

- cmd_bestatigt

Der Button *cmd_bestatigt* setzt den Programmteil des Buttons *cmd_Leuchtdichte* fort, nachdem der Benutzer Kameradaten für die Berechnung der Leuchtdichte ausgewählt hat. Nach Bestätigung des Buttons wird dieser gesperrt.

Im ersten Schritt werden die Inhalte aller Textfelder des Formulars ausgelesen. Über If-Abfragen wird geprüft, welche Radio Buttons aktiviert sind. Für einen aktivierten Radio Button bekommt der Wert der Variable ohne Zusatz den Wert der Variablen mit dem Namenszusatz *exif* oder *ausgelesen* je nach Radio Button zugewiesen. Im dazugehörigen Textfeld wird geprüft, ob ein numerischer Inhalt vorhanden ist. Ist ein numerischer Inhalt vorhanden, erhält die entsprechende

Prüfungsvariable den Wert *true*. Die Brennweite dient nur als Information für den Benutzer, eine Prüfung des Textfeldes findet nicht statt.

Eine weitere Abfrage stellt fest, ob eine der Prüfungsvariablen den Wert *false* besitzt. In diesem Fall erhält der Anwender eine Information, dass die Angaben von ISO, Blende und Belichtung zur Bestimmung der Leuchtdichte benötigt wird und dass einer oder mehrere Werte nicht vorhanden oder nicht numerisch sind. Das Programm schließt sich, der Button für die Bestätigung wird freigegeben und der Benutzer gebeten, numerische Werte anzugeben.

Eine weitere If-Abfrage prüft, ob eine der Variablen *belichtung*, *blende* und *iso* den Wert *null* besitzt. Ist eine der Variablen *null* erhält der Benutzer eine Information über eine Message Box, die darüber informiert, dass eine Berechnung bei einem Wert von *null* für eine oder mehrere Variablen nicht möglich ist. Der Benutzer wird gebeten, einen anderen Wert einzugeben. Der Button zur Bestätigung aktiviert sich und das Programm wird geschlossen.

Nachfolgend bestimmt das Unterprogramm *prg_umrechnungsfaktor* den Umrechnungsfaktor. Danach wird das Formular *frm_Kameradaten* geschlossen und ein Refresh vom Formular *frm_Leuchtdichte* durchgeführt. Die Textfelder auf dem Hauptformular geben die entsprechenden Variablen aus. Für die Brennweite prüft das Programm, ob ein Wert vorhanden ist. Andernfalls wird im Textfeld „keine Ang.“ ausgegeben. Ein Refresh des Formulars *frm_Leuchtdichte* sorgt für direkte Sichtbarkeit der Änderung.

Der nächste Programmblock bestimmt die minimale und maximale Leuchtdichte. Hierfür steuern zwei verschachtelte for-Schleifen die Koordinaten aller Pixel nacheinander an. Das Unterprogramme *prg_grauwert* des Formulars *frm_Leuchtdichte* bestimmt den Grauwert. Das Unterprogramm *prg_leuchtdichteermittler* des Formulars *frm_Leuchtdichte* ermittelt daraus die Leuchtdichte.

Eine If-Abfrage prüft, ob es sich um den ersten Schleifendurchlauf handelt. Dort wird der Wert der Leuchtdichte der Variablen *vergleichswert* zugewiesen. Handelt es sich um den zweiten Schleifendurchlauf, erhält die Variable *leuchtdichtemin* den Wert des Vergleichswertes und die Variable *leuchtdichtemax* den Wert der *leuchtdichte*, wenn der Vergleichswert kleiner als die

Leuchtdichte ist. Andernfalls erfolgt die Zuordnung umgekehrt. In allen anderen Schleifendurchläufen wird der Wert der Leuchtdichte der Variable *leuchtdichtemin* zugewiesen, wenn dieser kleiner ist. Der Variablen *leuchtdichtemax* wird er zugewiesen, wenn er größer als dieser ist. Nach Beendigung einer Zeile zeigt die Progress Bar den Fortschritt an.

Nach Bestimmung der maximalen und minimalen Leuchtdichten können die Bereiche festgelegt werden. Die Minimal- und Maximalwerte für die unterschiedlichen Skalen werden bestimmt. Der Leuchtdichtebereich kann für die Intervallskala durch das Verhältnis zwischen der maximalen Leuchtdichte abzüglich der minimalen Leuchtdichte zu zehn bestimmt werden. Für die Verhältnisskala ergibt sich der Leuchtdichtebereich aus dem Verhältnis zwischen dem Maximalwert der Leuchtdichte zu zehn. Für den kompletten Bereich muss das Verhältnis aus der Leuchtdichte für einen Grauwert von 255 zu zehn bestimmt werden.

Die Minimal- und Maximalwerte der verschiedenen Skalen werden in Array Variablen mit Index von null bis neun abgespeichert. Index null entspricht dem ersten Bereich. Für die Bestimmung der Bereiche kommen For-Schleifen zum Einsatz.

Die erste Schleife bestimmt die Minimalwerte. Sie läuft von null bis neun. Bestimmt wird ein Wert eines Index durch die Leuchtdichte addiert mit dem Leuchtdichteintervall der entsprechenden Skala multipliziert mit dem entsprechenden Index.

Die Maximalwerte werden über eine zweite For-Schleife bestimmt. Die Schleife läuft von null bis acht. Berechnet wird ein Wert eines Indexes durch Subtrahieren des Wertes 0,1 von der minimalen Leuchtdichte des Indexes minus eins. Der Maximalwert des zehnten Bereichs entspricht der maximalen Leuchtdichte.

Nach der Bestimmung aller Bereiche für alle Skalen werden die Label *lbl_txt_min_L1-lbl_txt_min_L10* und *lbl_txt_max_L1-lbl_txt_max_L10* mit den Werten für die Intervallskala beschriftet und die Variable *skalenpruefer* erhält den Wert eins. Der Button zum Umschalten auf die Intervallskala deaktiviert sich.

Zwei verschachtelte For-Schleifen bestimmen über die Programme *prg_grauwert* und *prg_leuchtdichte* die Leuchtdichte. In drei Case-Strukturen werden die Leuchtdichten in die entsprechenden Bereiche der verschiedenen Skalen einsortiert und dort der Pixel auf den jeweiligen Farbwert gesetzt. Nach jeder Zeile erhöht sich der Fortschritt der Progress Bar.

Nach Auslesen aller Pixel prüft das Programm, ob sich die Skalen unterscheiden. Hierfür wird geprüft, ob der Minimalwert der Leuchtdichte gleich null oder der Maximalwert ungleich der Leuchtdichte bei einem Grauwert von 255 ist. Unterscheiden sich mindestens zwei der drei Skalen voneinander, macht das Programm die Buttons zum Wechsel der Skala sichtbar und aktiviert die Buttons für die Verhältnisskala und den kompletten Bereich. Wenn der Minimalwert gleich null ist und der Maximalwert der Leuchtdichte der Leuchtdichte bei einem Grauwert von 255 entspricht sind die Skalen alle gleich. Die Buttons bleiben unsichtbar und werden nicht aktiviert.

Zudem werden die Buttons *cmd_bild*, *cmd_leuchtdichte* und *cmd_speichern* wieder aktiviert. Entspricht der Wert der Variable *originalgroessepruefer* gleich true wird auch der Button *cmd_originalgroesse* aktiviert. Andernfalls bleibt dieser deaktiviert und der Button *cmd_zurueck* ist aktiviert. Der Button zum Ermitteln der EXIF-Daten und der Button für die Bestätigung des Formulars *frm_Kameradaten* werden ebenfalls aktiviert.

Die *ReadOnly*-Eigenschaft der Textfelder erhält den Wert false. Die Eigenschaft *Image* der Picture Box bekommt den Wert nothing. Anschließend lädt das Programm die Bitmap *bitmapintervallskala* in die Picture Box und die *Enabled*-Eigenschaft wird auf true gesetzt. Um die Änderungen sichtbar zu machen führt das Programm ein Refresh durch. Im letzten Schritt bekommt der Anwender eine Information über die Möglichkeit der Ausschnittvergrößerung.

```

Private Sub cmd_bestaetigt_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cmd_bestaetigt.Click
    'deaktiviert den Button
    'liest die Textfelder ausgelesen aus
    'ermittelt welcher Radio Button gedrueckt wurde und weist dementsprechend die EXIF oder ausgelesen Variable der Hauptvariable zu
    'prueft fuer die Variablen die zur Berechnung genutzt werden sollen, ob diese numerisch sind
    'die Variablen belichtungpruefer, blendepruefer und isopruefer halten fest, ob eine numerische Variable vorhanden ist
    'prueft ob fuer Belichtung, Blende und ISO ein numerischer Wert vorhanden ist
    'ist ein Wert nicht vorhanden bekommt der Benutzer eine Information, das Programm wird beendet und der Button aktiviert
    'prueft ob ein Wert null ist
    'gibt dem Benutzer bei vorhandenem Nullwert eine Information, beendet das Programm und aktiviert den Button
    'gibt die Variablen in den entsprechenden Textfeldern auf dem Faormular frm_Leuchtdichte aus

    cmd_bestaetigt.Enabled = False

    frm_Leuchtdichte.belichtungausgelesen = txt_txt_belichtung_ausgelesen.Text
    frm_Leuchtdichte.blendeausgelesen = txt_txt_blende_ausgelesen.Text
    frm_Leuchtdichte.brennweiteausgelesen = txt_txt_brennweite_ausgelesen.Text
    frm_Leuchtdichte.isoausgelesen = txt_txt_iso_ausgelesen.Text

    If rdbt_belichtung_exif.Checked = True Then
        frm_Leuchtdichte.belichtung = frm_Leuchtdichte.belichtungexif
        If IsNumeric(txt_txt_belichtung_exif.Text) Then
            belichtungpruefer = True
        End If
    End If

    If rdbt_belichtung_ausgelesen.Checked = True Then
        frm_Leuchtdichte.belichtung = frm_Leuchtdichte.belichtungausgelesen
        If IsNumeric(txt_txt_belichtung_ausgelesen.Text) Then
            belichtungpruefer = True
        End If
    End If

    If rdbt_blende_exif.Checked = True Then
        frm_Leuchtdichte.blende = frm_Leuchtdichte.blendeexif
        If IsNumeric(txt_txt_blende_exif.Text) Then
            blendepruefer = True
        End If
    End If

    If rdbt_blende_ausgelesen.Checked = True Then
        frm_Leuchtdichte.blende = frm_Leuchtdichte.blendeausgelesen
        If IsNumeric(txt_txt_blende_ausgelesen.Text) Then
            blendepruefer = True
        End If
    End If

    If rdbt_brennweite_exif.Checked = True Then
        frm_Leuchtdichte.brennweite = frm_Leuchtdichte.brennweiteexif
    End If

    If rdbt_brennweite_ausgelesen.Checked = True Then
        frm_Leuchtdichte.brennweite = frm_Leuchtdichte.brennweiteausgelesen
    End If

    If rdbt_iso_exif.Checked = True Then
        frm_Leuchtdichte.iso = frm_Leuchtdichte.isoexif
        If IsNumeric(txt_txt_iso_exif.Text) Then
            isopruefer = True
        End If
    End If

    If rdbt_iso_ausgelesen.Checked = True Then
        frm_Leuchtdichte.iso = frm_Leuchtdichte.isoausgelesen
        If IsNumeric(txt_txt_iso_ausgelesen.Text) Then
            isopruefer = True
        End If
    End If

    If belichtungpruefer = False Or blendepruefer = False Or isopruefer = False Then
        MsgBox("Für die Berechnung der Leuchtdichte wird die:" & vbCrLf & _
            "- Iso" & vbCrLf & "- Blende und" & vbCrLf & "- Belichtungszeit" & vbCrLf & "benötigt" & vbCrLf & _
            "Es liegen für einen oder mehrere Parameter keine Werte vor oder der Wert/ die Werte ist/ sind nicht numerisch!" & vbCrLf
            "Bitte geben Sie die Parameter numerisch an!", vbInformation, "Information")
        cmd_bestaetigt.Enabled = True
        Exit Sub
    End If

    If frm_Leuchtdichte.belichtung = 0 Or frm_Leuchtdichte.blende = 0 Or frm_Leuchtdichte.iso = 0 Then
        MsgBox("Einer oder meherere Parameter haben den Wert null!" & vbCrLf & _
            "Bitte geben Sie für den Parameter/ die Parameter einen anderen Wert an!", vbInformation, "Information")
        cmd_bestaetigt.Enabled = True
        Exit Sub
    End If

```

```
'ruft das Programm zur Berechnung des Umrechnungsfaktors auf
'verbirgt das Formular frm_Kameradaten und fuehrt einen Refresh durch
'gibt die Werte fuer Belichtung, Blende und ISO auf dem Formular frm_Leuchtdichte aus
'fuer die Brennweite wird geprueft ob ein Wert vorhanden ist und eventuell keine Angabe ausgegeben

Call frm_Leuchtdichte.prg_umrechnungsfaktor()

Me.Hide()
frm_Leuchtdichte.Refresh()

frm_Leuchtdichte.txt_txt_belichtung.Text = frm_Leuchtdichte.belichtung
frm_Leuchtdichte.txt_txt_blende.Text = frm_Leuchtdichte.blende
frm_Leuchtdichte.txt_txt_iso.Text = frm_Leuchtdichte.iso

If frm_Leuchtdichte.brennweite <> "" Then
    frm_Leuchtdichte.txt_txt_brennweite.Text = frm_Leuchtdichte.brennweite
Else
    frm_Leuchtdichte.txt_txt_brennweite.Text = "keine Ang."
End If

frm_Leuchtdichte.Refresh()

'bestimmt die minimale und die maximale Leuchtdichte ueber zwei verschachtelte For - Schleifen
'die Variable vergleichswert erhaelst die Leuchtdichte vom ersten Schleifendurchlauf

For x = 0 To frm_Leuchtdichte.hoehe - 1 Step 1
    For y = 0 To frm_Leuchtdichte.breite - 1 Step 1
        Call frm_Leuchtdichte.prg_grauwert(x, y)
        Call frm_Leuchtdichte.prg_leuchtdichteermittler()

        If x = 0 And y = 0 Then
            frm_Leuchtdichte.leuchtdichte = frm_Leuchtdichte.vergleichswert
        End If

        If x = 0 And y = 1 Then
            If frm_Leuchtdichte.vergleichswert < frm_Leuchtdichte.leuchtdichte Then
                frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemin = frm_Leuchtdichte.vergleichswert
                frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax = frm_Leuchtdichte.leuchtdichte
            Else
                frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemin = frm_Leuchtdichte.leuchtdichte
                frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax = frm_Leuchtdichte.vergleichswert
            End If
        End If

        If x <> 0 And y <> 0 Or x = 0 And y <> 1 Then
            If frm_Leuchtdichte.leuchtdichte < frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemin Then
                frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemin = frm_Leuchtdichte.leuchtdichte
            End If

            If frm_Leuchtdichte.leuchtdichte > frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax Then
                frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax = frm_Leuchtdichte.leuchtdichte
            End If
        End If
    Next y
    frm_Leuchtdichte.prg_bar.Value = (x / frm_Leuchtdichte.hoehe) * 100
Next x
```

```
'ruft das Programm prg_umrechnungsfaktor auf
'bestimmt die Bereiche fuer die Skalen

Call frm_Leuchtdichte.prg_umrechnungsfaktor()

Dim leuchtdichteintervallintervallskala As Decimal = (frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax - frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemin) / 10

For i = 0 To 9 Step 1
    frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(i) = frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemin + i * leuchtdichteintervallintervallskala
Next i

For j = 0 To 8 Step 1
    frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(j) = frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(j + 1) - 0.1
Next j

frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(9) = frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax

Dim leuchtdichteintervallverhaeltnisskala As Decimal = frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax / 10

For i = 0 To 9 Step 1
    frm_Leuchtdichte.bereichminverhaeltnisskala(i) = i * leuchtdichteintervallverhaeltnisskala
Next i

For j = 0 To 8 Step 1
    frm_Leuchtdichte.bereichmaxverhaeltnisskala(j) = frm_Leuchtdichte.bereichminverhaeltnisskala(j + 1) - 0.1
Next j

frm_Leuchtdichte.bereichmaxverhaeltnisskala(9) = frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax

Dim leuchtdichteintervallkomplett As Decimal = (frm_Leuchtdichte.fkt_leuchtdichteermittler(255)) / 10

For i = 0 To 9 Step 1
    frm_Leuchtdichte.bereichminkomplett(i) = i * leuchtdichteintervallkomplett
Next i

For j = 0 To 8 Step 1
    frm_Leuchtdichte.bereichmaxkomplett(j) = frm_Leuchtdichte.bereichminkomplett(j + 1) - 0.1
Next j

frm_Leuchtdichte.bereichmaxkomplett(9) = frm_Leuchtdichte.fkt_leuchtdichteermittler(255)

'beschriftet die Label lbl_txt_min und lbl_txt_max fuer die intervallskala
'setzt die Variable skalenpruefer auf eins fuer Intervallskala
'sperre den Button der Intervallskala

frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L1.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(0), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L2.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(1), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L3.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(2), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L4.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(3), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L5.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(4), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L6.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(5), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L7.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(6), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L8.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(7), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L9.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(8), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_min_L10.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichminintervallskala(9), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L1.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(0), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L2.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(1), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L3.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(2), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L4.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(3), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L5.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(4), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L6.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(5), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L7.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(6), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L8.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(7), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L9.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(8), "0.0")
frm_Leuchtdichte.lbl_txt_max_L10.Text = Format(frm_Leuchtdichte.bereichmaxintervallskala(9), "0.0")

frm_Leuchtdichte.skalenpruefer = 1
frm_Leuchtdichte.cmd_intervallskala.Enabled = False
```

```

'setzt fuer alle drei Skalen mit zwei verschachtelten For - Schleifen
'jeden Pixel fuer den entsprechenden Bereich auf die entsprechende Farbe

For x = 0 To frm_Leuchtdichte.hoehe - 1 Step 1
  For y = 0 To frm_Leuchtdichte.breite - 1 Step 1
    Call frm_Leuchtdichte.prg_grauwert(x, y)
    Call frm_Leuchtdichte.prg_leuchtdichteermittler()

    Select Case frm_Leuchtdichte.leuchtdichte
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(0) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(9)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.DarkBlue)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(1) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(1)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.Blue)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(2) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(2)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.DarkViolet)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(3) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(3)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.Violet)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(4) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(4)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.DarkGreen)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(5) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(5)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.Green)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(6) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(6)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.DarkRed)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(7) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(7)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.Red)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(8) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(8)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.Yellow)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(9) To frm_Leuchtdichte.bereichsintervallskala(9)
        frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala.SetPixel(y, x, Color.LightYellow)
    End Select

    Select Case frm_Leuchtdichte.leuchtdichte
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(0) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(9)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.DarkBlue)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(1) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(1)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.Blue)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(2) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(2)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.DarkViolet)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(3) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(3)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.Violet)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(4) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(4)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.DarkGreen)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(5) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(5)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.Green)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(6) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(6)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.DarkRed)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(7) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(7)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.Red)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(8) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(8)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.Yellow)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(9) To frm_Leuchtdichte.bereichsverhaeltnisskala(9)
        frm_Leuchtdichte.bitmapverhaeltnisskala.SetPixel(y, x, Color.LightYellow)
    End Select

    Select Case frm_Leuchtdichte.leuchtdichte
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(0) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(9)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.DarkBlue)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(1) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(1)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.Blue)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(2) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(2)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.DarkViolet)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(3) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(3)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.Violet)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(4) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(4)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.DarkGreen)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(5) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(5)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.Green)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(6) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(6)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.DarkRed)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(7) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(7)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.Red)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(8) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(8)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.Yellow)
      Case frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(9) To frm_Leuchtdichte.bereichsunkomplett(9)
        frm_Leuchtdichte.bitmapkomplett.SetPixel(y, x, Color.LightYellow)
    End Select

    Next y
    frm_Leuchtdichte.prg_bar.Value = 0
    frm_Leuchtdichte.prg_bar.Value = (x / frm_Leuchtdichte.hoehe) * 100
  Next x

```

```
'gibt die Buttons wieder frei und macht sie sichtbar
'gibt die Textfelder frei
'laedt das Leuchtdichtebild in die Picture Box
'loescht die Picture Box und laedt anschliessend die bitmapintervallskala
'setzt hier die Picture Box die Enabled Eigenschaft auf true
'zuehrt einen Refresh durch
'gibt Informationen zur Ausschnittsvergrosseung

frm_Leuchtdichte.cmd_bild.Enabled = True
frm_Leuchtdichte.cmd_leuchtdichte.Enabled = True
frm_Leuchtdichte.cmd_speichern.Enabled = True
If frm_Leuchtdichte.originalgrossepruefer = False Then
    frm_Leuchtdichte.cmd_zurueck.Enabled = True
Else
    frm_Leuchtdichte.cmd_originalgrosse.Enabled = True
End If
Dim leuchtdichte255 As Decimal = frm_Leuchtdichte.fkt_leuchtdichteermittler(255)
If frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemin <> 0 Or _
frm_Leuchtdichte.leuchtdichtemax <> leuchtdichte255 Then
    frm_Leuchtdichte.cmd_intervallskala.Visible = True
    frm_Leuchtdichte.cmd_verhaeltnisskala.Visible = True
    frm_Leuchtdichte.cmd_komplett.Visible = True
    frm_Leuchtdichte.cmd_verhaeltnisskala.Enabled = True
    frm_Leuchtdichte.cmd_komplett.Enabled = True
End If
frm_Leuchtdichte.cmd_exif.Enabled = True
cmd_bestaetigt.Enabled = True

frm_Leuchtdichte.txt_txt_grauwert.ReadOnly = False
frm_Leuchtdichte.txt_txt_belichtung.ReadOnly = False
frm_Leuchtdichte.txt_txt_blende.ReadOnly = False
frm_Leuchtdichte.txt_txt_brennweite.ReadOnly = False
frm_Leuchtdichte.txt_txt_iso.ReadOnly = False

frm_Leuchtdichte.pic_bild.Image = Nothing
frm_Leuchtdichte.pic_bild.Image = frm_Leuchtdichte.bitmapintervallskala
frm_Leuchtdichte.pic_bild.Enabled = True
frm_Leuchtdichte.Refresh()

MsgBox("Über ziehen einer Diagonale oder eines Rechteckecks bei gedrückter Maustaste" & vbCrLf & _
    "und Beginn in der oberen linken Ecke zur unteren rechten Ecke" & vbCrLf & _
    "kann ein Bereich vergrößert dargestellt werden!", vbInformation, "Information")
End Sub
```

- `txt_txt_brennweite_ausgelesen_TextChanged`,
`txt_txt_blende_ausgelesen_TextChanged`,
`txt_txt_iso_ausgelesen_TextChanged`,
`txt_txt_belichtung_ausgelesen_TextChanged`

Der Quellcode für die Textfelder `txt_txt_brennweite_ausgelesen`, `txt_txt_blende_ausgelesen`, `txt_txt_iso_ausgelesen`, `txt_txt_belichtung_ausgelesen` unterscheidet sich minimal. Findet in einem der Textfelder eine Änderung statt, erhält die Eigenschaft `Checked` des entsprechenden Radio Buttons den Wert `true`.

```
Private Sub txt_txt_brennweite_ausgelesen_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles _  
txt_txt_brennweite_ausgelesen.TextChanged  
    'setzt die Eigenschaft Checked bei Änderung des Textfeldes auf true  
  
    rdbt_brennweite_ausgelesen.Checked = True  
End Sub  
-----  
Private Sub txt_txt_blende_ausgelesen_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles _  
txt_txt_blende_ausgelesen.TextChanged  
    'setzt die Eigenschaft Checked bei Änderung des Textfeldes auf true  
  
    rdbt_blende_ausgelesen.Checked = True  
End Sub  
-----  
Private Sub txt_txt_iso_ausgelesen_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles _  
txt_txt_iso_ausgelesen.TextChanged  
    'setzt die Eigenschaft Checked bei Änderung des Textfeldes auf true  
  
    rdbt_iso_ausgelesen.Checked = True  
End Sub  
-----  
Private Sub txt_txt_belichtung_ausgelesen_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) _  
Handles txt_txt_belichtung_ausgelesen.TextChanged  
    'setzt die Eigenschaft Checked bei Änderung des Textfeldes auf true  
  
    rdbt_belichtung_ausgelesen.Checked = True  
End Sub
```

5 Versuchsdurchführung

In diesem Kapitel werden die Versuchsdurchführungen und die Messergebnisse vorgestellt. Kapitel 5.1 beschreibt die Untersuchungen zur Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel. In Kapitel 5.2 ist die Versuchsdurchführung zur Aufnahme der Strahlung der Ulbricht-Kugel mit der Spiegelreflexkamera beschrieben. Bei allen Messungen herrschte eine hinreichend konstante Labortemperatur von 24,8°C.

5.1 Untersuchungen zur Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel

Für die Messungen wurden die Netzteile so konfiguriert, dass sie eine konstante Ausgangsspannung zur Verfügung stellen, deren Größe mit einer Genauigkeit im Bereich einiger Millivolt eingestellt werden konnte. Die Ulbricht-Kugel wurde erst nach dem Einschalten der Netzteile angeschlossen.

Die Ausgangsspannung der Netzgeräte wurde während der Versuche mit einem Multimeter überwacht.

Die Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel kann durch Variation der Versorgungsspannung und der Stellung der Einstellspindel in einem weiten Bereich variiert werden. Beides kann der Bedienungsanleitung der Ulbricht-Kugel entnommen werden (Bedienungsanleitung: Ulbricht-Kugel).

Tabelle 1 zeigt die mit dem Radiospektrometer gemessenen Leuchtdichtewerte für die untersuchten Kombinationen von Versorgungsspannung und Spindeleinstellung.

Bevor Messungen an der Ulbricht-Kugel erfolgen können, muss diese eine Stunde in Betrieb gewesen sein. Erfolgt eine Änderung der Spannung, ist ein Fortsetzen der Messung nach einer halben Stunde möglich.

Für die Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel wurden die Spannungs- und Spindeleinstellungen nacheinander eingestellt und die Leuchtdichte mit dem Spektrometer bestimmt.

Tabelle 1: Leuchtdichte in Abhängigkeit von Spannungs- und Spindeleinstellungen der Ulbricht-Kugel

Spannung U Volt	Spindeleinstellung	Leuchtdichte L cd/m²
7,4	0,779	3000
7,4	0,691	2500
7,4	0,612	2000
7,4	0,571	1750
7,4	0,529	1500
7,4	0,484	1250
7,4	0,431	1000
7,4	0,367	750
7,4	0,291	500
7,4	0,239	400
7,4	0,145	300
7,4	0,077	250
4,2	0,876	450
4,2	0,796	400
4,2	0,660	300
4,2	0,532	200
4,2	0,396	100
4,2	0,351	90
4,2	0,329	80
4,2	0,304	70
4,2	0,273	60
4,2	0,225	50
4,2	0,151	40
4,2	0,038	30
2,7	0,860	60
2,7	0,802	55
2,7	0,750	50
2,7	0,699	45
2,7	0,650	40
2,7	0,603	35
2,7	0,558	30
2,7	0,509	25
2,7	0,458	20
2,7	0,314	10
2,7	0,294	9
2,7	0,124	5

Für die Messungen wurde der Laborraum weitgehend abgedunkelt. Lediglich im Nebenraum war die Beleuchtung eingeschaltet. Im Messlabor war nur eine schwache Orientierungsleuchte eingeschaltet. Es wurde überprüft, dass das restliche Licht im Labor keinen Einfluss auf die gemessenen Leuchtdichtewerte hatte.

Die Spindeleinstellung der Ulbricht-Kugel hat keine Einheit. Die Einstellung erfolgt über eine Mikrometerschraube. Eine Umdrehung der Mikrometerschraube entspricht einer Verschiebung von 25 mm. Abbildung 10 zeigt die Spindel der Ulbricht-Kugel für eine Spindeleinstellung von 0,314.



Abbildung 10: Spindeleinstellung 0,314 an der Ulbricht - Kugel

Für die Messungen wurde das Radiospektrometer über die Software SpecWin Pro 2.1.7 beta angesteuert und ausgelesen. Bei den Messungen muss darauf geachtet werden, dass der Umschalter an der Teleskopoptik in Stellung „Measure“ gebracht wird. Vor Beginn der Messung wurden in der Steuersoftware folgende Einstellungen vorgenommen:

Über den Button Konfiguration wird das Spektrometer CAS 140 CT VIS / ausgewählt. Schnittstelle ist das CAS140/120-USB. Unter dem Punkt Messplätze wurde die Kalibrierdatei TOP 060 010142T1 IS 2013-06 ausgewählt. Im Menüpunkt Parameter wurde die Integrationszeit bei den Messungen jeweils angepasst, so dass sich ein Messsignal hinreichender Größe ergab und die Messsoftware mindestens ein Signal von 20000 counts anzeigte. Die automatische Anpassung der Integrationszeit war deaktiviert.

Die Pulsbreite erhielt einen Wert von 0 ms. Die Einstellung der Dichtefilter wurde auf none gesetzt. Der Wert für die Mittelungen betrug 10. Resampling wurde aktiviert: Der Startwert betrug 380 nm, der Stoppwert 780 nm und die Schrittweite 1 nm.

Unter der Einstellung TOP wurde die Blende auf eins eingestellt. Das Sichtfeld beträgt null Grad. Der Messabstand (von der Frontplatte der Teleskopoptik bis zu der Kugelnah) betrug 460 mm und musste ebenfalls im Menü eingegeben werden. Die Messfleckgröße, die mit der Messblende 1 erreicht wurde, betrug 6 mm. Dies wurde durch Vergleich der im Okular der Teleskopoptik sichtbaren Messmarke (innerster Kreis der Messmarke, siehe Abbildung 2a) mit der Skala eines vor die Austrittsöffnung der Ulbricht-Kugel gehaltenen Lineals bestimmt (siehe Abbildung 2b).

Unter Einzelmessungen wurden die Messungen für jede Einstellung gestartet und unter dem Button Speichern auf die Festplatte gesichert. Rechts über dem Diagramm zeigte das Programm die gemessene Leuchtdichte an.

5.2 Versuchsdurchführung für die Aufnahme der strahlenden Fläche der Ulbricht-Kugel mit der Spiegelreflexkamera

Für die Versuchsdurchführung wurde die Ulbricht-Kugel bei unterschiedlichen Leuchtdichte- und Kameraeinstellungen fotografiert. Alle Einstellungen sind in der Tabelle 2 aufgeführt. Bei gleicher Einstellung wurden Aufnahmen in unterschiedlichen Abständen von 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm und 45 cm zwischen der Vorderfläche des Objektivs der Kamera und der Öffnung der Ulbricht-Kugel aufgenommen.

Wie zuvor war der Laborraum weitgehend abgedunkelt. Das vorhandene Restlicht hatte keinen Einfluss auf die aufgenommenen Fotos.

Nach der Aufnahme der Bilder wurde der Grauwert in den Bildteilen ermittelt, die die strahlende Öffnung der Ulbricht-Kugel umfassen. Hierzu wurde für jedes Bild der Grauwert bestimmt, der in diesem Bild am häufigsten auftritt. Da die strahlende Fläche der Ulbricht-Kugel nur in der Mitte des Bildes abgebildet wurde und der äußere Rand schwarz ist, wurden hierbei die niedrigen Grauwerte am Bildrand nicht berücksichtigt

Tabelle 2: Leuchtdichte- und Kameraeinstellungen

Leuchtdichte der Ulbricht - Kugel	Brennweite	ISO	Blendenzahl	Belichtungs- zeit
L cd/ m ²	f mm		K	H s
9	18	400	5,6	0,125
9	18	400	5,6	0,25
9	18	400	5,6	1
9	18	400	11	0,125
9	18	400	11	0,25
9	18	400	11	1
9	18	400	11	2
9	18	400	11	4
9	18	400	22	0,125
9	18	400	22	0,25
9	18	400	22	1
9	18	400	22	2
9	18	400	22	4
9	18	800	5,6	0,125
9	18	800	5,6	0,25
9	18	800	11	0,125
9	18	800	11	0,25
9	18	800	11	1
9	18	800	11	2
9	18	800	22	0,125
9	18	800	22	0,25
9	18	800	22	1
9	18	800	22	2
9	18	800	22	4
9	18	1600	5,6	0,125
9	18	1600	5,6	0,25
9	18	1600	11	0,125
9	18	1600	11	0,25
9	18	1600	11	1
9	18	1600	22	0,125
9	18	1600	22	0,25
9	18	1600	22	1
9	18	1600	22	2
9	18	1600	22	4
9	18	3200	5,6	0,125
9	18	3200	11	0,125
9	18	3200	11	0,25

9	18	3200	22	0,125
9	18	3200	22	0,25
9	18	3200	22	1
9	18	3200	22	2
9	55	400	5,6	0,125
9	55	400	5,6	0,25
9	55	400	5,6	1
9	55	400	11	0,125
9	55	400	11	0,25
9	55	400	11	1
9	55	400	11	2
9	55	400	11	4
9	55	400	22	0,125
9	55	400	22	0,25
9	55	400	22	1
9	55	400	22	2
9	55	400	22	4
9	55	800	5,6	0,125
9	55	800	5,6	0,25
9	55	800	11	0,125
9	55	800	11	0,25
9	55	800	11	1
9	55	800	11	2
9	55	800	22	0,125
9	55	800	22	0,25
9	55	800	22	1
9	55	800	22	2
9	55	800	22	4
9	55	1600	5,6	0,125
9	55	1600	5,6	0,25
9	55	1600	11	0,125
9	55	1600	11	0,25
9	55	1600	11	1
9	55	1600	22	0,125
9	55	1600	22	0,25
9	55	1600	22	1
9	55	1600	22	2
9	55	1600	22	4
9	55	3200	5,6	0,125
9	55	3200	11	0,125
9	55	3200	11	0,25
9	55	3200	22	0,125
9	55	3200	22	0,25
9	55	3200	22	1

9	55	3200	22	2
19	18	400	5,6	0,125
19	18	400	5,6	0,25
19	18	400	11	0,125
19	18	400	11	0,25
19	18	400	11	1
19	18	400	11	2
19	18	400	22	0,125
19	18	400	22	0,25
19	18	400	22	1
19	18	400	22	2
19	18	400	22	4
19	18	800	5,6	0,125
19	18	800	5,6	0,25
19	18	800	11	0,125
19	18	800	11	0,25
19	18	800	11	1
19	18	800	22	0,125
19	18	800	22	0,25
19	18	800	22	1
19	18	800	22	2
19	18	800	22	4
19	18	1600	5,6	0,125
19	18	1600	11	0,125
19	18	1600	11	0,25
19	18	1600	22	0,125
19	18	1600	22	0,25
19	18	1600	22	1
19	18	1600	22	2
19	18	3200	11	0,125
19	18	3200	11	0,25
19	18	3200	22	0,125
19	18	3200	22	0,25
19	18	3200	22	1
19	55	400	5,6	0,125
19	55	400	5,6	0,25
19	55	400	11	0,125
19	55	400	11	0,25
19	55	400	11	1
19	55	400	11	2
19	55	400	22	0,125
19	55	400	22	0,25
19	55	400	22	1
19	55	400	22	2

19	55	400	22	4
19	55	800	5,6	0,125
19	55	800	5,6	0,25
19	55	800	11	0,125
19	55	800	11	0,25
19	55	800	11	1
19	55	800	22	0,125
19	55	800	22	0,25
19	55	800	22	1
19	55	800	22	2
19	55	800	22	4
19	55	1600	5,6	0,125
19	55	1600	11	0,125
19	55	1600	11	0,25
19	55	1600	22	0,125
19	55	1600	22	0,25
19	55	1600	22	1
19	55	1600	22	2
19	55	3200	11	0,125
19	55	3200	11	0,25
19	55	3200	22	0,125
19	55	3200	22	0,25
19	55	3200	22	1

Die Bestimmung des am häufigsten vorkommenden Grauwerts erfolgte mit einem zu diesem Zweck erstellten Auswerteprogramm, das in der Sprache Visual Basic geschrieben wurde. Für die weitere Auswertung wurden die Ergebnisse nach Excel exportiert. Mit Hilfe des Programms wurde von jedem Bild für jeden Grauwert die Häufigkeit bestimmt und als Textdatei abgespeichert. Die Werte wurden dabei durch ein Komma und die Bilder durch eine neue Zeile getrennt, so dass ein Import der Textdatei in Excel auf einfache Weise möglich war. Kapitel 4.1 beschreibt den Aufbau des Programms.

Die Textdatei wird in Excel importiert. Zum Importieren muss über den Reiter Daten → externe Daten → Textdatei importieren ... die vom Programm gespeicherte Textdatei ausgewählt und anschließend der Button importieren angewählt werden. Der Vorgang lässt sich durch auswählen des Buttons Weiter fortsetzen. Daraufhin ist das Trennzeichen anwählbar. Der Haken für Tabstopp

wird entfernt und bei Semikolon gesetzt. Der letzte Schritt kann über den Button fertig stellen abgeschlossen werden.

Nach Import der Daten werden die Spalten nacheinander mit den Namen Leuchtdichte, Brennweite, ISO, Blende, Belichtung, Übersteuert, den Grauwerten von 0-255, maximale Häufigkeit und Grauwert beschriftet. Anschließend kann für jede Zeile und somit für jedes Bild der Maximalwert bestimmt und mittels bedingter Formatierung in der Zeile rot markiert werden.

Der Maximalwert für jedes Bild lässt sich über die Excel-Funktion *max* bestimmen.

Nach hervorheben des Maximalwertes muss dieser nacheinander in jeder Zeile gesucht und der dazugehörige Grauwert bestimmt werden. In der Spalte Grauwert wird der Wert notiert. Niedrige Grauwerte werden in die Bestimmung des maximalen Grauwertes nicht mit einbezogen, da diese nur außerhalb der strahlenden Öffnung der Ulbricht-Kugel auftreten können.

6 Ergebnisse

Für die Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Leuchtdichte und Grauwert muss die Funktionsweise der Kamera genauer betrachtet werden. Dadurch sind Rückschlüsse darauf möglich, wie die Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel, die Belichtungszeit, die ISO-Einstellung und die Blende in den Grauwert im digitalen Bild eingehen

Die Leuchtdichte ist abstandsunabhängig. (Ris 1992) Das zeigen die Aufnahmen bei gleicher Einstellung mit unterschiedlichen Abständen von 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm und 45 cm zwischen der Vorderfläche des Objektivs der Kamera und der Öffnung der Ulbricht-Kugel, dabei allen Abständen derselbe Grauwert resultiert. Damit ist auch sichergestellt, dass die Bildverarbeitungsfunktionen der Kamera auch bei unterschiedlicher Objektgröße bei gleicher Leuchtdichte keine weitere Skalierung des Grauwerts vornehmen.

Die Belichtungszeit gibt an, wie lange während einer Aufnahme der Verschluss der Kamera geöffnet bleibt. Bei doppelter Belichtungszeit ergibt sich bei gleicher

Szene somit die doppelte Belichtung, wenn die Blendenzahl nicht verändert wird.

Die ISO-Einstellung ist ein Maß für die Lichtempfindlichkeit. Je höher die ISO-Einstellung ist, desto höher ist die Lichtempfindlichkeit. Dieses wird durch eine elektronische Verstärkung des Sensorsignals erreicht. Ob sich bei Veränderung der ISO-Einstellung um einen Faktor die gleichen Grauwerte ergeben wie bei Anwendung einer um den gleichen Faktor verlängerten Belichtungszeit wurde ebenfalls untersucht.

Der Durchmesser der Blende wird in der Fotografie üblicherweise als Blendenzahl angegeben. Die Blendenzahl errechnet sich aus dem Verhältnis zwischen der Brennweite des Objektivs und dem Durchmesser der Eintrittspupille. Ist die Blendenzahl groß, kommt somit weniger Licht und bei kleiner Blendenzahl mehr Licht durch das Objektiv. In der Fotografie sind Blendenstufen üblich, die so festgelegt sind, dass die Erhöhung der Blendenzahl um eine Stufe eine Halbierung der Belichtung des Sensors bewirkt. Hierzu muss die Blendenzahl um einen Faktor $\sqrt{2}$ ansteigen. Um dieselbe Belichtung des Sensors zu erhalten muss bei Vergrößerung der Blende um eine Blendenstufe die Belichtungszeit verdoppelt, bei Verkleinerung der Blende um eine Blendenstufe hingegen halbiert werden. (Emling 2008)

Um zu überprüfen, ob der Grauwert bei unveränderter Farbtemperatur lediglich von der Belichtung in der Sensorebene abhängt, wird im Folgenden der Begriff der effektiven Leuchtdichte L_{eff} eingeführt. Weist eine Szene, die mit den Kameraeinstellungen (Belichtungszeit h , Blendenzahl k) aufgenommen wird, die Leuchtdichte L_U auf, so ist L_{eff} diejenige Leuchtdichte, die bei standardisierten Kameraeinstellungen (t' , k') die gleiche Belichtung in der Sensorebene erzeugt. Als Standardeinstellungen wird eine Belichtungszeit von $t'=0,25$ s und eine Blendenzahl von $k'=22$ gewählt. Die effektive Leuchtdichte L_{eff} lässt sich aus der Leuchtdichte L_U , der Belichtungszeit h und der Blendenzahl k nach Gleichung (6.1) berechnen.

$$L_{\text{eff}} = L_U \cdot \frac{t}{0,25 \text{ s}} \cdot \left(\frac{22}{k}\right)^2 \quad (6.1)$$

Um auch den Einfluss unterschiedlicher ISO-Einstellungen untersuchen zu können, wird darüber hinaus eine ISO-gewichtete effektive Leuchtdichte $L_{\text{eff,ISO}}$ definiert:

$$L_{\text{eff,ISO}} = L_{\text{eff}} \cdot \frac{\text{ISO}}{400} = L_U \cdot \frac{t}{0,25s} \cdot \left(\frac{22}{k}\right)^2 \cdot \frac{\text{ISO}}{400} \quad (6.2)$$

Die ISO-gewichtete effektive Leuchtdichte $L_{\text{eff,ISO}}$ ist somit die Leuchtdichte, die bei Aufnahme mit der Standard-Kameraeinstellung ($h'=0,25$, $k'=200$, ISO 400) in der Szene vorliegen müsste, um am Sensor-Ausgang das gleiche Signal zu erzeugen, das bei Aufnahme einer Szene der Leuchtdichte L_U mit den Einstellungen (t , k , ISO) entsteht.

Im Folgenden wurde untersucht, ob bei Umschaltung der Belichtungszeit, der Blendenzahl und der ISO-Einstellung durch die Kamera zusätzliche Korrekturen am Bildsignal vorgenommen werden. Dies würde eine Kalibrierung deutlich erschweren. Zu diesem Zweck wurde die ISO-gewichtete effektive Leuchtdichte aufgetragen über dem Grauwert.

Das Diagramm 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Grauwert und ISO-gewichteter effektiver Leuchtdichte für die unterschiedlichen Belichtungszeiten, unterschiedlichen ISO-Einstellungen und unterschiedlichen Blendenzahlen. Zusätzlich wird der Zusammenhang zwischen Grauwert und effektiver Leuchtdichte für unterschiedliche Leuchtdichten an der Ulbricht-Kugel aufgetragen.

Im Diagramm lässt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Grauwert und effektiver Leuchtdichte erkennen. Unabhängig davon, ob die Änderung der ISO-gewichteten effektiven Leuchtdichte durch Variation der Belichtungszeit, der Blendenzahl oder der ISO-Einstellung verursacht wurde, ergeben sich in guter Übereinstimmung Grauwerte, die einem eindeutigen funktionalen Zusammenhang folgen. Auch eine Variation der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel führt zum gleichen funktionalen Zusammenhang. Somit ist der Nachweis erbracht, dass die Grauwerte im aufgenommenen Bild ausschließlich von der ISO-gewichteten effektiven Leuchtdichte abhängen. Weitere Korrekturfunktionen werden durch die kamerainterne Bildverarbeitung offensichtlich nicht eingesetzt. Somit wird es möglich, aus den Grauwerten mit einer eindeutigen Umrechnungsfunktion die Leuchtdichte L_U der aufgenommenen Szene zu bestimmen.

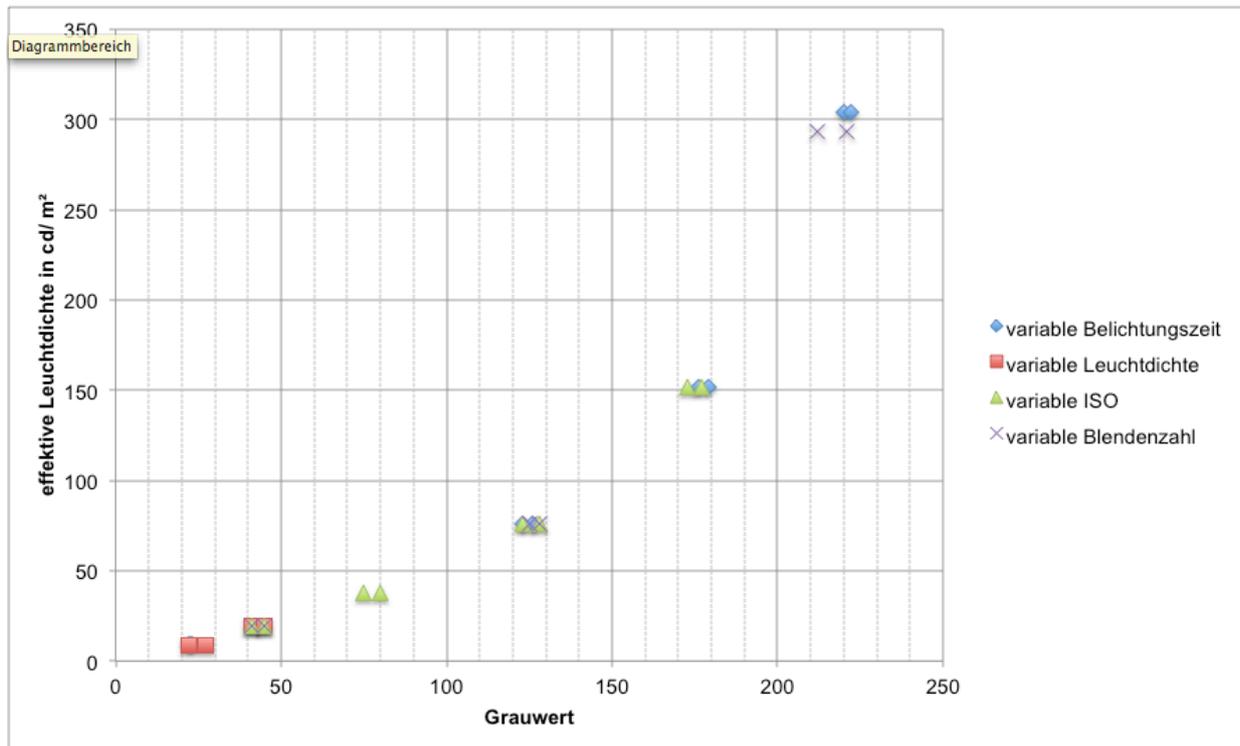


Diagramm 1: Zusammenhang zwischen ISO-gewichteter effektiver Leuchtdichte und Grauwert bei Variation verschiedener Einstellparameter der Kamera und Variation der Quell-Leuchtdichte

Nachfolgend wurde noch der Zusammenhang mit der Brennweite untersucht. Bei Änderung der Brennweite verändert sich die Lage der Linse und somit die des Brennpunktes. Dies führt dazu, dass sich der Bildausschnitt verändert. Abbildung 11 zeigt dies schematisch. Die Bestrahlungsstärke am CCD-Sensor der Kamera dürfte sich allerdings nicht verändern, wenn die gleiche Blendeneinstellung verwendet wird.

Werden die Grauwerte der Bilder, die der Einstellungen mit einer Brennweite von 55 mm mit denen von 18 mm verglichen, so zeigt sich eine Grauwertdifferenz von 1-15. Im Mittel beträgt die Änderung 6. Das Diagramm 2 zeigt die Brennweite 55 mm und 18 mm im Vergleich zueinander. Auf der x-Achse ist der Grauwert und auf der y-Achse die effektive Leuchtdichte aufgetragen. Die effektive Leuchtdichte lässt sich über die Formel (6.2) berechnen. Das Diagramm zeigt, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den bei beiden unterschiedlichen Brennweiten vorliegenden Grauwerten zu verzeichnen ist, wenn eine vergleichbare Kameraeinstellung gewählt wird (also die gleiche effektive Leuchtdichte vorliegt). Somit kann davon ausgegangen werden, dass

der Grauwert bei unveränderten Einstellungen der Kamera nicht signifikant von der Brennweite abhängt.

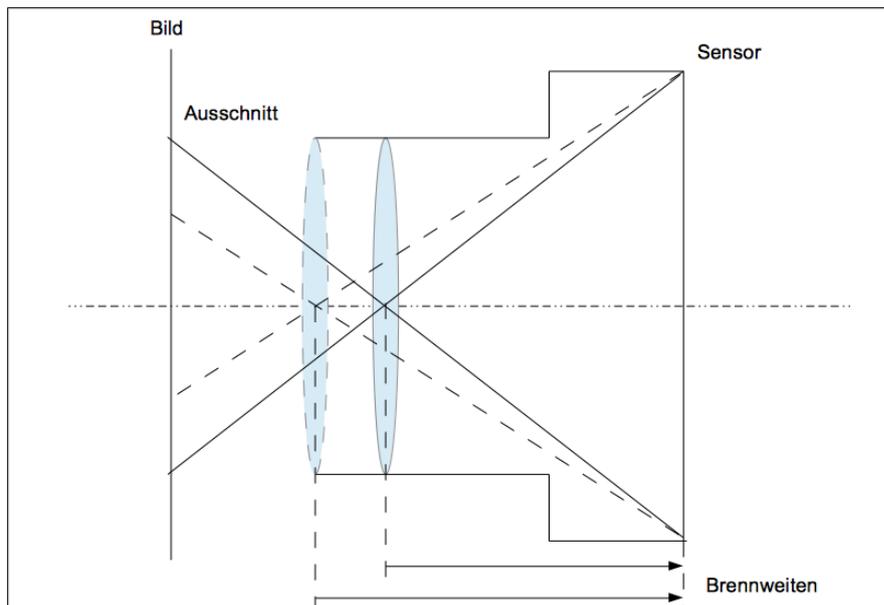


Abbildung 11: Änderung des Ausschnitts bei Änderung der Blende

In Diagramm 3 wird der funktionale Zusammenhang zwischen ISO-gewichteter effektiver Leuchtdichte und Grauwert durch eine Ausgleichskurve angenähert. Diese wurde mit Hilfe von Excel als Polynom 6. Grades angefitet. Dabei wurde ein Bestimmtheitsmaß von 0,958 erreicht.

Ziel bei Ermittlung der Ausgleichskurve ist es, eine Funktion zu finden, die möglichst genau jeden Messpunkt trifft, aber dabei auch einen möglichst glatten und monotonen Kurvenverlauf aufweist. Der Kurvenverlauf sollte glatt sein, weil die Messwerte immer eine Streuung aufweisen. Streuungen können beispielsweise durch Messungenauigkeiten, Messfehler und Ungenauigkeiten der Messgeräte entstehen. Je größer der Grad des Polynoms ist, desto besser passt sich die Ausgleichskurve an die Messwerte an. Bei zu hohem Grad passt sich die Kurve aber auch an die Streuungen an. Der Kurvenverlauf ist nicht mehr glatt. Ist der Grad zu niedrig werden nicht alle Messpunkte hinreichend genau erfasst. Der Kurvenverlauf ist dann zu ungenau. Die mit Excel ermittelte Ausgleichsfunktion ist in Gleichung (6.3) angegeben. Sie gibt den Wert der angenäherten ISO-gewichteten effektiven Leuchtdichte $L_{\text{eff.P}}$ in Abhängigkeit vom Grauwert x an.

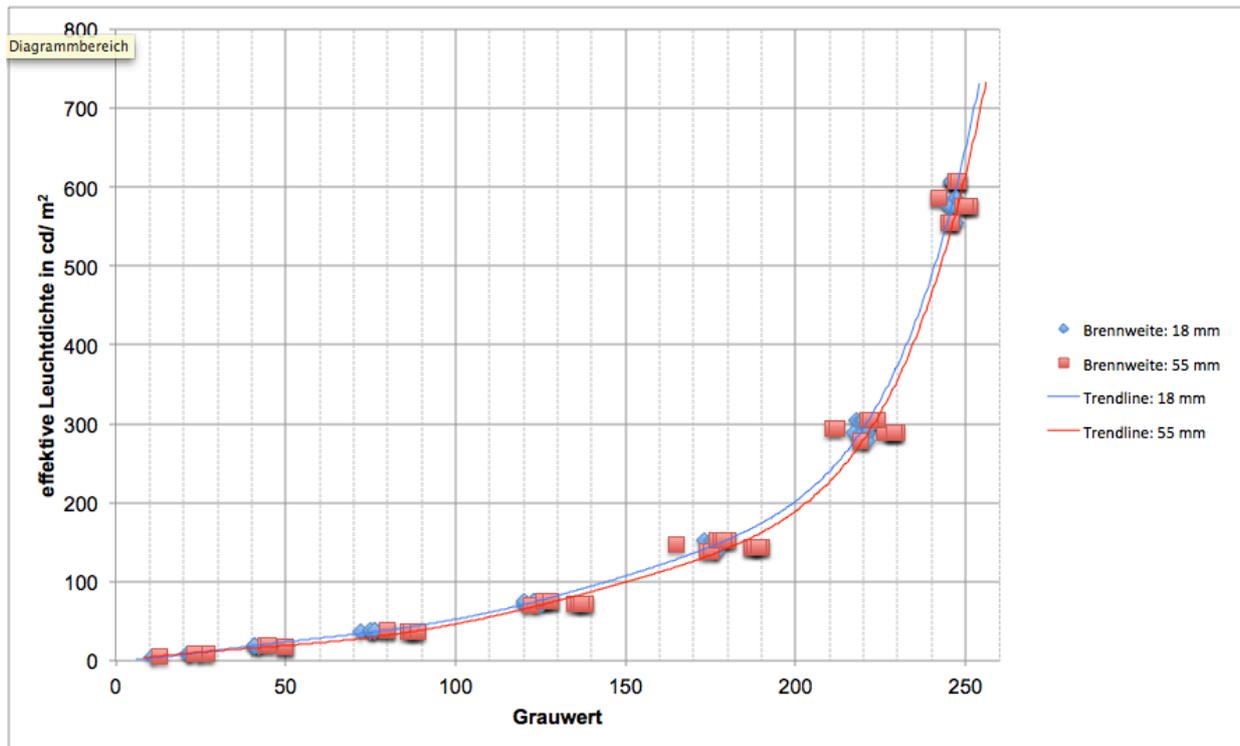


Diagramm 2: Vergleich der eff. Leuchtdichten bei den Brennweiten 18 mm und 55 mm

Um zu untersuchen, ob andere Polynomgrade u.U. noch eine bessere Anpassung liefern, wurden weitere Ausgleichsfunktionen mit Hilfe von Matlab untersucht. Excel konnte hierfür nicht eingesetzt werden, da der maximale Polynomgrad in Excel auf 6 begrenzt ist. Abbildung 12 zeigt sechs über Matlab erstellte Anpasskurven. Untersucht wurden polynomische Anpasskurven vom 4. bis zum 9. Grad. Es ist zu sehen, dass bei niedrigen Graden die Kurve zu ungenau ist. Sichtbar ist auch der nicht mehr glatte Kurvenverlauf bei höheren Graden.

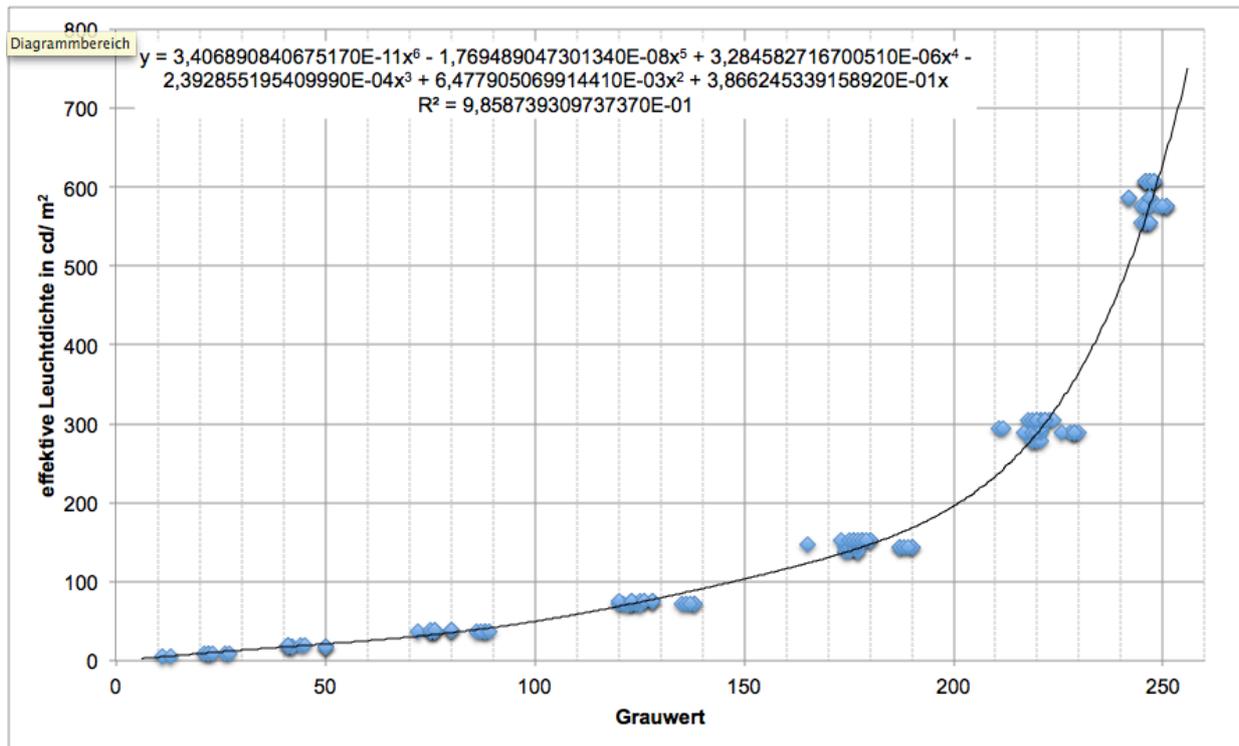


Diagramm 3: Approximation der Messwerte durch ein Polynom 6. Grades

Abbildung 13 zeigt den MATLAB Quellcode zur Erstellung eines Diagramms. Die Vektorvariable x enthält die Grauwerte. In der Variablen y sind die dazugehörigen effektiven Leuchtdichten abgespeichert.

$$\begin{aligned}
 L_{eff,P} &= 3,406890840675170 \times 10^{-11}x^6 \\
 &\quad - 1,769489047301340 \times 10^{-8}x^5 \\
 &\quad + 3,284582716700510 \times 10^{-6}x^4 \\
 &\quad - 2,392855195409990 \times 10^{-4}x^3 \\
 &\quad + 6,477905069914410 \times 10^{-3}x^2 \\
 &\quad + 3,866245339158920 \times 10^{-1}x
 \end{aligned} \tag{6.3}$$

Die Funktion Polyfit ermittelt die Koeffizienten eines Polynoms. Die Variable e speichert die Werte. Diese werden für die Annäherung über kleinste Quadrate benötigt. In Klammern muss hinter der polyfit-Funktion der Vektor für die x -Werte, der Vektor für die y -Werte und der gewünschte Grad angegeben werden.

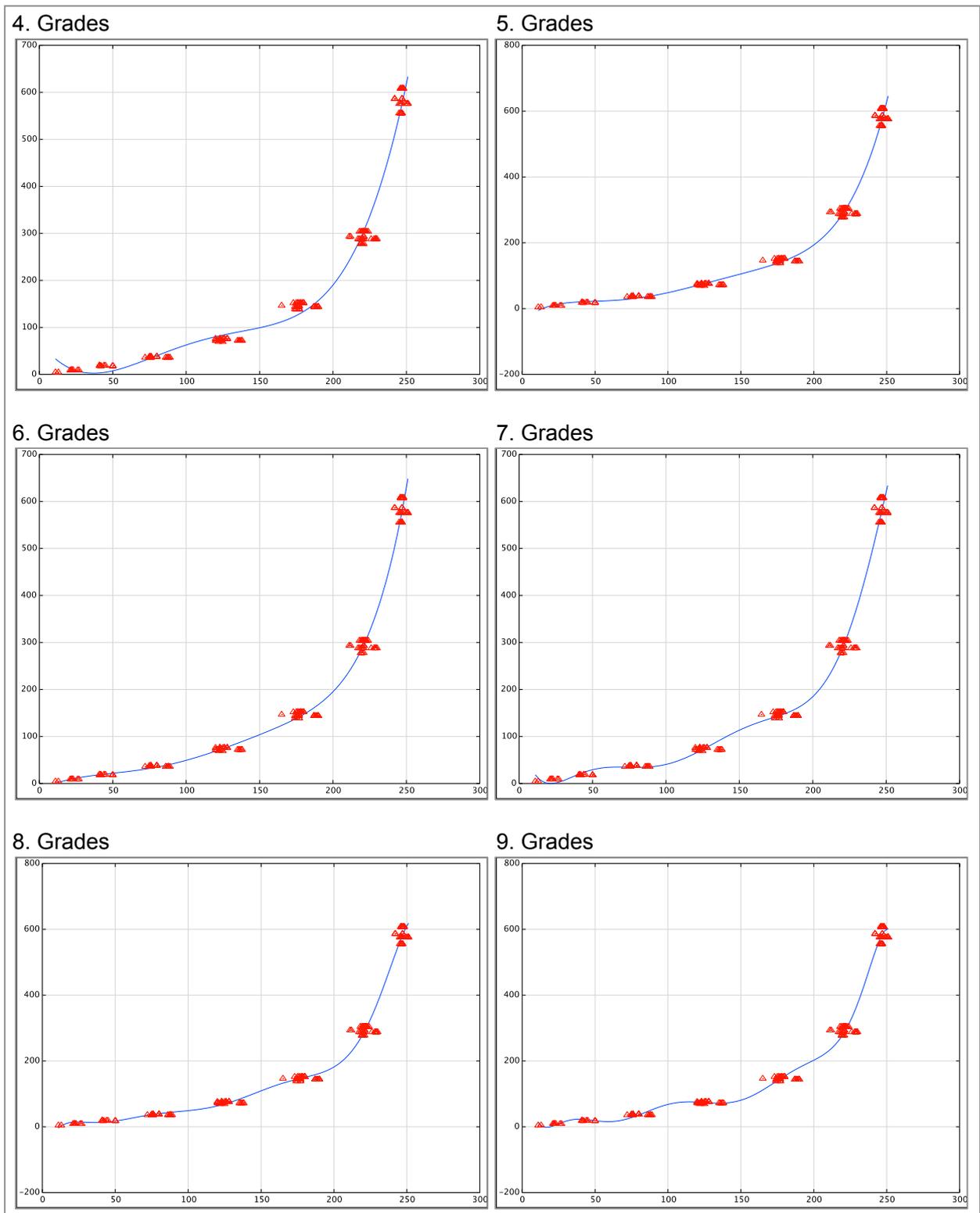


Abbildung 12: Vergleich verschiedener Anpasskurven (Polynome 4. bis 9. Grades)

Über die Funktion `polyval` lassen sich die y-Werte bestimmen. In Klammern hinter der Funktion muss der Vektor mit den Koeffizienten der Potenzfunktion und der Vektor der x-Werte angegeben werden.

Über plot sind die Werte als Diagramm darstellbar. In Klammern ist angegeben, dass die x-Werte und die y-Werte als rote Dreiecke dargestellt werden. Zudem wird die erstellte Trendlinie geplottet.

Die Funktion linspace erzeugt einen Vektor mit gleichmäßig verteilten Werten beliebiger Länge. Hinter der Funktion in Klammern ist der Minimal- und Maximalwert des Vektors angegeben.

```
% Grauwerte
x = [11 13 21 22 22 23 26 27 41 41 41 42 42 44 45 50 50 50 72 75 75 75 76 76 76 76 80 80 80 86 87 88 88 89 120 120 121 122 123
123 123 123 123 124 125 125 126 126 128 128 128 135 136 137 138 138 165 173 174 174 175 175 175 176 176 176 176 177 177 177
177 177 178 178 179 180 180 187 187 188 188 189 190 190 211 212 217 218 218 219 219 219 219 220 220 220 220 220 221 221 221 221
221 221 222 222 222 223 224 226 228 229 229 229 230 242 242 245 245 246 246 246 246 246 246 246 246 246 247 247 247 247 247
247 247 247 247 248 248 248 248 249 250 251 251 251];

% effektive Leuchtdichten
y = [4.5 4.5 9 9 9.5 9.5 9 9 18 19 18 18 19 18 18 18 36 36 36 38 36 36 38 38 38 38 38 36 36 36 36 36 72 76 72 69.45153061
72 72 76 76 76 72 69.45153061 76 76 76 76 76 72 72 72 72 146.619898 152 144 138.9030612 144 152 138.9030612 144 144 144
152 152 138.9030612 138.9030612 144 146.619898 152 152 152 152 152 152 144 144 144 144 144 293.2397959 293.2397959 288 288
304 288 304 277.8061224 277.8061224 277.8061224 288 288 304 304 277.8061224 288 293.2397959 293.2397959 304 304 304 304 304 304
304 304 288 288 288 288 288 288 586.4795918 586.4795918 576 555.6122449 555.6122449 576 576 576 608 608 608 608 555.6122449
555.6122449 555.6122449 555.6122449 576 586.4795918 586.4795918 608 608 608 608 608 608 608 576 576 576 576 576];

e=polyfit(x,y,6);
xi=linspace(min(x),max(x));
yi=polyval(e,xi);
plot(xi,yi,'x',y,'ro'), grid on
```

Abbildung 13: Quellcode MATLAB

Excel bietet die Möglichkeit sich für die Trendlinie eine Prognose für den vorausgegangenen und den weiteren Kurvenverlauf anzeigen zulassen. Der Grauwertbereich erstreckt sich von 0-255. Für eine Prognose von fünf Perioden für den weiteren Kurvenverlauf ist ein Grauwert von 255 erreicht und somit ausreichend. Der Grauwert von null wird mit der maximal möglichen Prognose von fünf Perioden nicht erreicht, daher wird der maximal mögliche Wert für die Prognose gewählt.

Für einen Grauwert von null müsste sich eine Leuchtdichte von annähernd null ergeben. Die Trendlinie sollte somit durch den Punkt (0/0) verlaufen. Über Optionen der Trendlinie wird deswegen für den Schnittpunkt null eingestellt. Diese Einstellung sorgt dafür, dass die Trendlinie an ihrem Minimalpunkt die x-Achse schneidet. Da zuvor über die Prognose für den vorangegangenen Kurvenverlauf die Trendlinie so weit wie möglich zum Nullpunkt der x-Achse verschoben wird, verläuft die Trendlinie annähernd durch den Punkt (0/0).

Mit der ermittelten Anpassfunktion ist man nun in der Lage, aus jedem beliebigen Grauwert die ISO-gewichtete effektive Leuchtdichte zu bestimmen. Aus dieser kann dann bei Kenntnis der Kameraeinstellungen (h , k , ISO) die Leuchtdichte L_U der aufgenommenen Szene berechnet werden. Hierzu wird Gleichung (6.2) nach L_U umgestellt:

$$L_U = \frac{0,25 s \cdot \left(\frac{22}{k}\right)^2 \cdot 400}{t \cdot \text{ISO}} \quad (6.4)$$

Somit ist es nun möglich, aus den Grauwerten der aufgenommenen Bilder auf die an den entsprechenden Szenenpunkten vorliegende Leuchtdichte zu schließen. Die so kalibrierte Spiegelreflexkamera kann also als Leuchtdichtekamera eingesetzt werden.

Um die Genauigkeit der so gemessenen Leuchtdichtewerte zu überprüfen, wurden die mit der Spiegelreflexkamera gemessenen Werte mit denen das Radiospektrometer auf unabhängige Weise bestimmten Werten verglichen. Der Betrag der relativen Abweichung in Prozent ist in Diagramm 4 gezeigt.

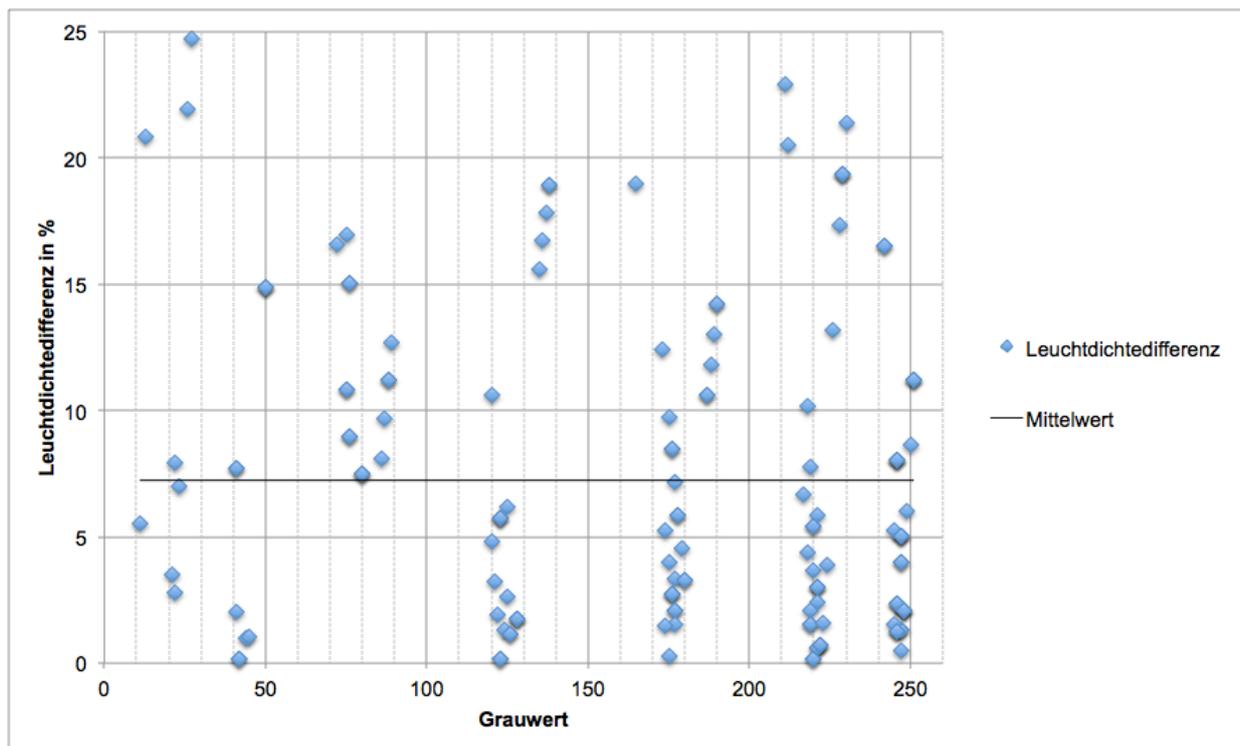


Diagramm 4: Betrag der relativen Abweichung zwischen der mit der kalibrierten Kamera bestimmten Leuchtdichte und der mit dem Radiospektrometer gemessenen Leuchtdichte

Es ist zu erkennen, dass die Streuung der Grauwerte recht ähnlich ist. Im Mittel resultiert eine Abweichung von 7,2 %.

7 Diskussion

Im Vergleich zu den schon bestehenden Arbeiten werden in dieser Arbeit Aufnahmen mit unterschiedlichen Blenden- und ISO- Einstellungen gemacht. Dadurch wird die Leuchtdichte für jede Einstellkombination bestimmbar.

Streuungen der Messwerte können verschiedene Ursachen haben: Komprimierungsartefakte, abweichende Werte für Belichtung und Blende, Rauschen, Vignettierung, Streulicht, unterschiedliche und/oder schwankende Sensortemperaturen.

Komprimierungsartefakte entstehen bei der Umwandlung der aufgenommenen Bilddaten in ein komprimiertes JPEG-Bild. Bei Speicherung als JPEG entstehen die Komprimierungsartefakte bereits in der Kamera.

Die Anzeige eines Messwertes auf einem Messgerät kann Ungenauigkeiten aufweisen. Der angezeigte Wert weicht dann vom tatsächlichen ab.

Die reproduzierbare Einstellung der Belichtungszeit und der Blendenzahl hängen von den mechanischen Toleranzen der Kamera ab. Es kann dazu führen, dass die real vorliegenden Werte von den gewählten abweichen. Bei mehreren Aufnahmen hintereinander können daher Streuungen der Ergebnisse resultieren.

Rauschen entsteht unter anderem als Quantisierungsrauschen bei der Digitalisierung. Zudem gibt es Rauschen, das durch Schwankungen bei der Sensor-Herstellung entsteht. Die Pixel haben eine unterschiedliche Empfindlichkeit. Diese Form des Rauschens wird als Fixed Pattern noise (FPN) bezeichnet. Fixed Pattern Rauschen ist oft durch den Hersteller der Kamera berücksichtigt und beseitigt. Weitere Rauschquellen sind Photonen-Rauschen, Dunkelrauschen, Resetrauschen und thermisches Rauschen. Sie werden als weißes Rauschen oder auch statistisches Rauschen bezeichnet.

Vignettierung führt zu einem Leuchtdichteabfall zum Rand hin. Streulicht entsteht durch Reflexionen im Kameraobjektiv. Durch diese Reflexionen kann es wie auch bei Überbelichtung zu Blooming kommen. Unterschiedliche Sensortemperaturen können zu Rauschen führen. (Wueller und Gabele 2009; Hoger 2009)

Luxmeter und Leuchtdichtemesser lassen sich in Klassen unterteilen, die die erreichbare Messgenauigkeit angeben. Es gibt Geräte in den Klassen B, L, A und C. Ein Gerät der Klasse B hat eine mittlere Genauigkeit. Geräte der Klasse L arbeiten mit höchster Genauigkeit. Geräte der Klasse A mit hoher Genauigkeit und Geräte der Klasse C mit geringer Genauigkeit. Der Gesamtfehler von Geräten der Klasse B beträgt 10 %. (Ris 1992)

Der Mittelwert der Leuchtdichtedifferenz zwischen der gemessenen Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel und der über die Potenzfunktion bestimmten, liegt mit einem Wert von 7,2 % im Bereich des Gesamtfehlers eines Gerätes der Klasse B. Die Abweichungen sind somit recht gering und die im Rahmen dieser Arbeit kalibrierte Kamera stellt ein orts aufgelöstes Leuchtdichtemessgerät dar, dessen Präzision und Reproduzierbarkeit für eine Vielzahl von Anwendungen ausreicht.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Leuchtdichte nimmt eine zentrale Rolle in der optischen Messtechnik ein. Die einfache und präzise Bestimmung der örtlichen Leuchtdichteverteilung wird mit dem Aufkommen strukturierter Beleuchtungsquellen, wie z.B. LED-Strahlern immer wichtiger, um z.B. die Augensicherheit neuartiger Beleuchtungssysteme bewerten zu können.

Nach Voruntersuchungen von Nolting und Dittmar mit einer einfachen digitalen Sucherkamera konnte im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden, dass eine reproduzierbare und hinreichend präzise Leuchtdichtemessung mittels einer kalibrierten CCD-Kamera möglich ist. (Nolting und Dittmar 2014) Hierzu wurde für die Spiegelreflexkamera Canon EOS 600D mit dem Objektiv Canon Zoom Lens EF-S 18-55 mm der Zusammenhang zwischen den Grauwerten der monochromen Bilddaten und der Leuchtdichte der aufgenommenen Szenerie bei einer konstanten spektralen Zusammensetzung untersucht. Die Abhängigkeit

von den Einstellparametern Belichtungszeit, Blendenzahl und ISO-Einstellung konnte quantifiziert werden.

Im Ergebnis wurde eine Anpassungsfunktion (Polynom 6. Grades) ermittelt, mit deren Hilfe eine Bestimmung der Leuchtdichte aus den Grauwerten des monochromen Bildes reproduzierbar und hinreichend präzise möglich wird. Die erreichbare Genauigkeit macht eine Einstufung des Systems in die Messgeräteklasse B möglich, die durch einen Gesamtfehler von 10 % charakterisiert ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine komfortable Auswertungs-Software erstellt, mit der aus aufgenommenen monochromen Fotos unter automatischer Einbeziehung der Einstellparameter der Kamera orts aufgelöste Leuchtdichteverteilungen bestimmt werden können.

Die kalibrierte CCD-Kamerabietet somit eine äußerst kostengünstige Alternative zu den sehr teuren kommerziell erhältlichen Leuchtdichtekameras. Zudem ist gegenüber spektralen Verfahren, wie sie mit dem Radiospektrometer möglich sind, die örtliche Leuchtdichteverteilung auswertbar. Auch werden Mittelungen über einen gewünschten Messerfassungswinkel möglich.

Das entwickelte kalibrierte Messsystem ist derzeit nur anwendbar, wenn die spektrale Zusammensetzung der zu untersuchenden Strahlung eine Plancksche Verteilung der Farbtemperatur 2000 K aufweist, da die Kalibrierung nur für diese spektrale Zusammensetzung vorgenommen wurde. Kommt Strahlung einer anderen konstanten spektralen Zusammensetzung zur Anwendung, ist das Messsystem für Relativmessungen noch einsetzbar, der Umrechnungsfaktor zwischen den sich ergebenden Messwerten und den mit einem Radiospektrometer ermittelbaren muss dann allerdings einmalig bestimmt werden. Die Bestimmung der Umrechnungsfaktoren für Plancksche Strahlungsquellen unterschiedlicher Farbtemperatur ist Gegenstand einer weiterführenden Arbeit, die z.Zt. in Planung ist. Auch ist es u.U. möglich, aus den Bilddaten der drei Spektralkanäle R, G und B den Umrechnungsfaktor zu berechnen. Auch hierzu ist eine weiterführende Arbeit in Planung.

9 Literaturverzeichnis

Bedienungsanleitung Canon EOS 600D.

Bedienungsanleitung: Photo Research; A division of Kollmorgen Coporation 300 No. Hollywood Way Burbank, Calif 91505.

Bildauflösende Leuchtdichtemeßkamera LMK 96/98.

Grauwert, der. Onlineverfügbar unter <http://www.duden.de/rechtschreibung/Grauwert>, zuletzt geprüft am 23.08.2014.

Baer, Roland (1990): Beleuchtungstechnik. 1. Aufl. Berlin, München: Verl. Technik.

Banda, Siegfried (2002): Lichttechnische Berechnungen. Grundlagen - Verfahren - Eigenschaften; 10 Tab. Renningen: Expert-Verl. (Reihe Technik).

Norm DIN EN 14255-1:2005: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung.

Norm DIN EN 5031-1:1982-03: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik.

Dotzel, Günther (1989): Leuchtdichtemessung der Fahrbahnbeleuchtung/ Measuring the luminance of street illumination using a CCD-camera. In: *Vortragsband des 12. DECUS München e.V. Symposiums :Kongreßzentrum Karlsruhe*, S. 583–596.

Emling, Rainer (2008): Digitalfotografie. Das große Einsteigerbuch. 3. Aufl. Hannover: Humboldt (Freizeit & Hobby).

Gall, Dietrich (2007): Grundlagen der Lichttechnik. Kompendium. 2. Aufl. München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg: Pflaum (Licht und Beleuchtung).

Hentschel, Hans-Jürgen; Bernitz, Franz (2002): Licht und Beleuchtung. Grundlagen und Anwendungen der Lichttechnik. 5. Aufl. Heidelberg: Hüthig.

Hoger, Tim (2009): Leuchtdichtemessung vor Ort mit der Digitalkamera. In: *Tagungsband zur ersten gemeinsamen Tagung von ITAI und EVU: 18. EVU Jahrestagung*, S. 71–76.

Kotowicz, Adam (2005): Leuchtdichtevertellungen an Hochdruckbogenentladungslampen für Kfz-Scheinwerfer und optische Parameter von Brennermaterialien. Dissertation. Technische Universität Berlin, Berlin.

Marchesi, Jost J. (1987): Professionelle Beleuchtungstechnik. D. broncolor-Handbuch ; Lichttheorie, Belichtungsmessung, Filtertechnik. Schaffhausen: Verl. Photogr.

Nolting, Jürgen (2006): Radiometrische und photometrische Messungen. In: *DOZ - DEUTSCHE OPTIKERZEITUNG UND BRILLE & MODE* (11), S. 30–37.

Nolting, Jürgen; Dittmar, Günter (2005): Radiometrische Grundbegriffe. In: *DOZ - DEUTSCHE OPTIKERZEITUNG UND BRILLE & MODE* (10), S. 34–38.

Nolting, Jürgen; Dittmar, Günter (2014): Sicherheit vor optischer Strahlung - Bestimmung des korrekten Grenzwertes für die thermische Netzhautgefährdung. In: *sicher ist sicher - Arbeitsschutz aktuell*(06), S. 322–326.

Präkel, David; Malpas, Phil; Macleod, Steve (2010): Basiswissen Fotografie. Analog & digital. München: Addison Wesley (dpi).

Ris, Hans R. (1992): Beleuchtungstechnik für Praktiker. Grundlagen - Lampen - Leuchten - Planung - Messung. Berlin, Offenbach, Aarau/Schweiz: Vde-Verl.; AT-Verl.

Schmidt, Franz (2004): Dynamische orts aufgelöste Leuchtdichtemessungen auf Straßen und in Tunneln. Hg. v. Techno Team Bildverarbeitungs GmbH. Techno Team Bildverarbeitungs GmbH (Ilmenau). Ilmenau.

Schwabedissen, Eric (2008): Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik. Tagung Leonberg, 3. und 4. Juni 2008 ; [mit CD-ROM]. Nichtred. Ms.-Dr. Düsseldorf: VDI-Verl. (VDI-Berichte, 2038).

Wueller, Dietmar (2009): Nutzung der digitalen Kamera als Leuchtdichtmessgerät. Hg. v. Image Engineering. Image Engineering (Frechen). Frechen.

Wueller, Dietmar; Gabele, Heike (2009): Digitale Standard-Spiegelreflexkameras als Leuchtdichtmessgeräte im mesopischen Bereich

In: *Tagungsband zur ersten gemeinsamen Tagung von ITAI und EVU: 18. EVU Jahrestagung*, S. 47–59.

Zieseniss, Carl-Heinz (1991): Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann. Lampen, Leuchten und ihre Anwendung. 4. Aufl. Heidelberg: Hüthig.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Überprüfung der Leuchtdichte der Ulbricht-Kugel	12
Abbildung 2: Testmarke der Teleskopoptik vom Radiospektrometer	13
Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Aufnahme der strahlenden Fläche der Ulbricht-Kugel mit der Spiegelreflexkamera	14
Abbildung 4: Bedienelemente der Kamera (Quelle: Bedienungsanleitung Canon EOS 600D)	16
Abbildung 5: Bedienelemente der Kamera (Quelle: Bedienungsanleitung Canon EOS 600D)	17
Abbildung 6: Bedienelemente des Objektivs (Quelle: Bedienungsanleitung Canon EOS 600D)	18
Abbildung 7: frm_Auswertung_Leuchtdichte	21
Abbildung 8: Formular frm_Leuchtdichte	28
Abbildung 9: Formular frm_Kameradaten	29
Abbildung 10: Spindeleinstellung 0,314 an der Ulbricht - Kugel	75
Abbildung 11: Änderung des Ausschnitts bei Änderung der Blende	85
Abbildung 12: Quellcode MATLAB	89
Abbildung 13: Vergleich verschiedener Anpasskurven (Polynome 4. bis 9. Grades) ...	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Leuchtdichte in Abhängigkeit von Spannungs- und Spindeleinstellungen der Ulbricht-Kugel	74
Tabelle 2: Leuchtdichte- und Kameraeinstellungen	77

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Zusammenhang zwischen ISO-gewichteter effektiver Leuchtdichte und Grauwert bei Variation verschiedener Einstellparameter der Kamera und Variation der Quell-Leuchtdichte	84
Diagramm 2: Vergleich der eff. Leuchtdichten bei den Brennweiten 18 mm und 55 mm	86
Diagramm 3: Approximation der Messwerte durch ein Polynom 6. Grades	87
Diagramm 4: Betrag der relativen Abweichung zwischen der mit der kalibrierten Kamera bestimmten Leuchtdichte und der mit dem Radiospektrometer gemessenen Leuchtdichte	90

Formelverzeichnis

(2.1): Leuchtdichte bei senkrechter Beleuchtung	5
(2.2): Leuchtdichte bei schräger Beleuchtung	5
(2.3): Leuchtdichte für einen 200-ASA-Film.....	6
(6.1): effektive Leuchtdichte	82
(6.2): ISO-gewichtete effektive Leuchtdichte	83
(6.3): Potenzfunktion.....	87
(6.4): Gleichung (6.2) nach L_U umgestellt.....	90

Anhang

Daten CD