

Bachelorarbeit

"Erstellung und Umsetzung eines Lichtkonzeptes
für ein Satellitenbeobachtungsgerät"

Name Oliver Maak

Matrikelnummer 48878

Betreuer: Dr.-Ing. Stefan Wolf

verantwortlicher Hochschullehrer: Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz

Vorgelegt am: 26.05.201

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Bachelorarbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe. Alle den benutzten Quellen wörtlich und sinngemäß entnommenen Stellen sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Diese Arbeit ist bislang keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden und auch nicht veröffentlicht worden. Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

.....

Ilmenau, den 02.06.2015

I. Gliederung

II. Abkürzungsverzeichnis / Einheiten / Formelzeichen	III
III. Abbildungsverzeichnis	V
Vorwort	VIII
Zusammenfassung	IX
abstract.....	X
1. Einleitung.....	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Gliederung der Arbeit.....	2
2. Vorkenntnisse	3
2.1 Das zu beleuchtende Gerät	3
2.2 Lokale Gegebenheiten.....	4
2.3 Vorgaben	4
3. Lichtkonzept	6
3.1 Leuchtschlauch.....	7
3.2 Ringleuchte.....	8
3.3 Teilkreisleuchte	10
3.4 weitere Beleuchtungselemente	12
3.5 Realisiertes Konzept	13
4. Probenbeschreibung	15
4.1 Erstellen von Testplatinen mit LEDs verschiedener Typen.....	15
4.2 Vergleich der Leuchtdioden	20
4.2.1 Vergleich nach Leistungsklasse.....	20
4.2.2 Vergleich nach Abstrahlcharakteristik	21
4.2.3 Vergleich nach Lichtstärke.....	21
4.2.4 Vergleich nach Wellenlänge	22
4.2.5 Ergebnis	23
4.2.6 Diskussion	24
5. Auswahl des passenden LED – Moduls	25
6. Messung der Leuchtdichten am SBG	26
6.1 Das Messgerät.....	26
6.2 Messumgebung	27

6.3 Lichtstärkeverteilung auf dem Rohr.....	30
6.4 Messungen	32
6.4.1 erste Messung 22.01.2015 15.47 Uhr.....	32
6.4.1.1 Messwerte	33
6.4.1.2 Helligkeitsverläufe entlang einer Messgeraden durch die Testplatte:	40
6.4.1.3 Auswertung der Helligkeitskurven mit Leuchten	42
6.4.1.4 Auswertung der Helligkeitskurven ohne Leuchten	42
6.4.2 zweite Messung 02.04.2015 11.45 Uhr.....	44
6.4.2.1 Messwerte:	45
6.4.2.2 Auswertung der Helligkeitskurven ohne Leuchten	57
6.4.2.3 Auswertung der Helligkeitskurven mit Leuchte	59
7. Test des ausgewählten Moduls	61
7.1 Der optische Eindruck	61
7.2 Test des Kühlkörpers	62
8. Realisierung der Schaltung.....	63
8.1 Die LED-Module.....	63
8.2 Die konstante Stromquelle – LM317	64
8.3 Auswahl des Netzteils	66
9. Konstruktion.....	68
9.1 Das technische Prinzip.....	68
9.2 Justierung	70
9.3 Die Materialien	72
9.3.1 Das elastische Element	72
9.3.2 Der Kühlkörper	73
9.3.3 Die Längenjustierung.....	74
9.4 Die Kopplung zum Gerät.....	74
10. Zusammenfassung	75
11. Aussichten	76
Danksagung	VIII
Literaturverzeichnis	IX
Anhang	X

II. Abkürzungsverzeichnis / Einheiten / Formelzeichen

°	Grad
°C	Grad Celsius
A	Ampere
bzw.	Beziehungsweise
C	Kapazität
cd	Candela
Dr.	Doktor
E	Beleuchtungsstärke
I	Lichtstärke
I_0	Lichtstärke bei $\gamma_1 = 0$
I_F	Stromstärke bei LEDs
I_V	Lichtstärke bei $\gamma_1 = 0$ ($= I_0$)
Ing.	Ingenieur
K	Kelvin
k	Federkonstante
L	Leuchtdichte
LVK	Lichtstärkeverteilungskurve
Lx	Lux
m	Meter
m ²	Quadratmeter
P_F	elektrische Leistung LED
Prof.	Professor
r	Abstand
R	Widerstand
R_B	Radius Blech
R_T	Radius des Teleskoprohrs

s	Federweg
SBG	Satellitenbeobachtungsgerät
sr	Stehradiant
U_F	Spannung über LED
U_{Modul}	Spannung über dem Modul
Univ.	Universität
V	Volt
$V(\lambda)$	Empfindlichkeit des Auges
z.B.	zum Beispiel
γ_1	Winkel eines Strahls zum Strahl I_0
γ_2	Winkel eines Strahl zur Flächennormalen
$\Delta\gamma$	Justierbereich Breitenjustierung
λ	Wellenlänge des Lichts
Φ_E	physikalische Strahlung
Φ_V	Lichtstrom
φ_{vor}	Winkel um das LED-Modul auf das Rohr zu richten
$\Delta\varphi$	Justierbereich Längenjustierung

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3. 1: SBG Quelle: Zeiss.	3
Abbildung 3. 2: Spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges über die Wellenlänge aufgetragen. Quelle: www.Spektrum.de	5
Abbildung 4. 1: geschnittene Rohrfläche mit Schirm und Leuchtschlau.	7
Abbildung 4. 2: Skizze SBG mit aufgesetzter Ringleuchte.	8
Abbildung 4. 3: Skizze SBG mit Teilkreisleuchten am Teleskoprohr.	10
Abbildung 4. 4: Skala am SBG. Beleuchtet mit Testmodul.	12
Abbildung 4. 5: Leuchte (Testmodul) an Arminnenseite befestigt.	12
Abbildung 4. 6: Anordnung der Leuchten auf dem Teleskoprohr.	13
Abbildung 4. 7: CAD-Simulation von Teleskoprohr.	14
Abbildung 4. 8: Skizze mit Stellen an denen Leuchten vorgesehen sind.	14
Abbildung 7. 1: Anordnung der Leuchtdichtekamera zum SBG.	27
Abbildung 7. 2: Leuchtdichtemessung (22.01.2015 15.47Uhr) - unbeleuchteter Zustand.	28
Abbildung 7. 3: Leuchtdichtemessung (02.04.2015 11.45Uhr) - unbeleuchteter Zustand	29
Abbildung 7. 4: Skizzierte Anordnung der Leuchte auf der Oberfläche des SBG. Ansicht: YZ-Ebene.	31
Abbildung 7. 5: Skizzierte Anordnung der Leuchte auf der Oberfläche des SBG. Ansicht: XZ-Ebene.	31
Abbildung 7. 6: Leuchtdichtemessung Position 1 - Osram TOPLED.	34
Abbildung 7. 7: Leuchtdichtemessung Position 1 - Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D.	34
Abbildung 7. 8: Leuchtdichtemessung Position 1 - unbeleuchteter Zustand	35
Abbildung 7. 9: Leuchtdichtemessung Position 1 - Osram Golden Dragon Plus.	35
Abbildung 7. 10: Leuchtdichtemessung Position 1 - Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC.	36
Abbildung 7. 11: Leuchtdichtemessung Position 2 - Osram TOPLED.	37
Abbildung 7. 12: Leuchtdichtebild Position 2 - Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D.	37
Abbildung 7. 13: Leuchtdichtemessung Position 2 - unbeleuchteter Zustand.	38

Abbildung 7. 14: Leuchtdichtemessung Position 2 - Osram Golden Dragon Plus.	38
Abbildung 7. 15: Leuchtdichtemessung Position 2 - Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC.....	39
Abbildung 7. 16: Grauwertbildschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{Max}=45,02 \text{ cdm}^2$	40
Abbildung 7. 17: Grauwertbildschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{Max} =67,57 \text{ cd/m}^2$	40
Abbildung 7. 18: Grauwertbildschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{Max} =14,15 \text{ cd/m}^2$	40
Abbildung 7. 19: Grauwertbildschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{Max}=273,7 \text{ cd/m}^2$	41
Abbildung 7. 20: Grauwertbildschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{Max} =364,8 \text{ cd/m}^2$	41
Abbildung 7. 21: Grauwertbildschnitt Oberseite.	42
Abbildung 7. 22: Grauwertbildschnitt Unterseite.	42
Abbildung 7. 23: Leuchtdichtebild. (Position 4, 16°-Optik)	45
Abbildung 7. 24: Grauwertschnitt (Position 4, 16°-Optik)	45
Abbildung 7. 25: Leuchtdichtebild. (Position 5, 16°-Optik)	46
Abbildung 7. 26: Grauwertschnitt. (Position 5, 16°-Optik)	46
Abbildung 7. 27: Leuchtdichtebild. (Position 6, 16°-Optik)	47
Abbildung 7. 28: Grauwertbildschnitt. (Position 6, 16°-Optik).....	47
Abbildung 7. 29: Leuchtdichtebild. (Position 1, 16°-Optik)	48
Abbildung 7. 30: Grauwertbildschnitt. (Position 1, 16°-Optik).....	48
Abbildung 7. 31: Leuchtdichtebild. (Position 2, 16°-Optik)	49
Abbildung 7. 32: Grauwertschnitt. (Position 2, 16°-Optik)	49
Abbildung 7. 33: Leuchtdichtebild. (Position 3, 16°-Optik)	50
Abbildung 7. 34: Grauwertschnitt. (Position 3, 16°-Optik)	50
Abbildung 7. 35: Leuchtdichtebild. (Position 4, 23°-Optik)	51
Abbildung 7. 36: Grauwertbildschnitt. (Position 4, 23°-Optik).....	51
Abbildung 7. 37: Leuchtdichtebild. (Position 5, 23°-Optik)	52
Abbildung 7. 38: Grauwertbildschnitt. (Position 5, 23°-Optik).....	52
Abbildung 7. 39: Leuchtdichtebild. (Position 6, 23°-Optik)	53
Abbildung 7. 40: Grauwertbildschnitt. (Position 6, 23°-Optik).....	53
Abbildung 7. 41: Leuchtdichtebild. (Position 1, 23°-Optik)	54
Abbildung 7. 42: Grauwertbildschnitt. (Position 1, 23°-Optik).....	54

Abbildung 7. 43: Leuchtdichtebild. (Position 2, 23°-Optik)	55
Abbildung 7. 44: Grauwertbildschnitt. (Position 2, 23°-Optik).....	55
Abbildung 7. 45: Leuchtdichtebild. (Position 3, 23°-Optik)	56
Abbildung 7. 46: Grauwertbildschnitt. (Position 3, 23°-Optik).....	56
Abbildung 7. 47: Grauwertbildschnitt	57
Abbildung 7. 48: Leuchtdichtemessung. 2. Messung (02.04.2015 12.46) Unbeleuchtet.	57
Abbildung 7. 49: Leuchtdichtemessung. 2. Messung (02.04.2015 11.46) Unbeleuchtet.	58
Abbildung 7. 50: Grauwertbildschnitt. Vergleich der zwei Leuchtdichtemessungen ohne Leuchte.	58
Abbildung 7. 51: Grauwertschnitt. (Position 2, 16°-Optik)	59
Abbildung 7. 52: Grauwertschnitt. (Position 2, 16°-Optik)	60
 Abbildung 8. 1: ausgewähltes Modul in späterer Position 1.	61
 Abbildung 9. 1: Beispiel für Temperaturabhängigkeit einer Diodenkennlinie. Quelle: www. elektronik-kompodium.de	63
Abbildung 9. 2: Schaltung einer einzelnen Leuchte.	64
 Abbildung 10. 1: Technisches Prinzip Bestandteile	68
Abbildung 10. 2: Technisches Prinzip - Bewegungsrichtungen.....	69
Abbildung 10. 3: Schnitt durch Leuchte. Doppel U-Profil und Schraube für die Längenjustierung sind erkennbar.	71
Abbildung 10. 4: Schnitt durch die Leuchte. Breitenjustierung wird über die vier im Schnitt dargestellten Schrauben ermöglicht.	71
Abbildung 10. 5: Ausschnitt aus der Einzelteilzeichnung des Kühlkörpers.....	73

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 7. 1: Grauwertbildschnitttabelle	41
Tabelle 7. 2: Positionen des Moduls am SBG.....	44

Vorwort

Unser aktueller Stand der Technik ermöglicht Vereinfachungen und Automatisierungen in vielen Bereichen unseres Lebens. Die technische Entwicklung schreitet dabei immer schneller voran. Es wurden über die Jahrhunderte viele großartige Erfindungen gemacht. Einige dieser historischen Geräte sind bis heute erhalten geblieben.

Das Satellitenbeobachtungsgerät SBG aus dem Jahre 1965 ist aus der Sicht der Feinwerktechnik heute noch eine Meisterleistung. Das hohe Maß an Präzision muss keinen Vergleich mit moderneren Geräten fürchten.

Natürlich ist es ein großer Gewinn für jede Leereinrichtung, wenn man ein solches Gerät ausstellen kann. Seine vorerst letzte Station hat das Satellitenbeobachtungsgerät an der technische Universität Ilmenau gefunden. Hier wird es im Innenhof des Curie-Baus ausgestellt. Auch wenn das Innenleben nicht vollständig erhalten ist, so wurde zumindest der äußere Zustand wiederhergestellt. Bei der Restauration wurde der Originalzustand der Oberfläche hergestellt.

Die Präsenz eines solchen Gerätes kann über eine passende Beleuchtung intensiviert werden. Eine gute Beleuchtung eines Objektes setzt Akzente und lenkt das Auge des Betrachters auf eine Wüschte stelle.

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit dem Entstehungsprozess einer Beleuchtung. Die Leuchten werden für das Satellitenbeobachtungsgerät SBG, einem historischen Werkzeug der Astronomie zur Bestimmung der Umlaufbahnen von Satelliten, ausgelegt.

Nach der Erstellung und Auswertung von drei Beleuchtungskonzepten wurden Testplatinen erstellt. Diese Platinen dienten dazu den geeigneten LED-Typ zu ermitteln. Nachdem ein passendes LED-Modul ausgewählt wurde, sind in dem darauffolgenden Kapitel der Ablauf und die Ergebnisse der Messung beschrieben. Als sich das Modul durch verschiedene Tests als geeignet erwiesen hat wurde eine Leuchte aus dem fertigen Konzept damit konstruiert. Zu der Konstruktion gehört die Erstellung des elektrischen Schaltplans, der Entwurf eines geeigneten Kühlkörpers, die Realisierung eines Justierprinzips und die Gestaltung aller Einzelteile.

abstract

The development process of a lighting concept is the main topic in this bachelor thesis. The light is for the SBG, an historical tool of the astronomic. With the SBG it was possible to observe the orbits of satellites.

The first step is the creation and evaluation of three light concepts and the production of five test-circuit boards. Those circuit boards were served to find the appropriate LED-Type. After choosing a matching LED-module, the expiration and results of the measurement are described in the following chapter. After different tests, with a positive result, the author constructed a light by the final concept. Part of construction is the creation of an electrical circuit board, a design of a heatsink, the realization of an adjustment and the shaping of all items.

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

"Erstellung und Umsetzung eines Lichtkonzeptes für ein Satellitenbeobachtungsgerät"

Das geforderte Lichtkonzept wird für das historische Satellitenbeobachtungsgerät im Curiebau entworfen. Der Verantwortliche hierbei ist der Univ.-Prof. Dr.-Ing René Theska. Im Gespräch wurden einige Rahmenbedingungen und Wünsche geäußert, auf welche sich bei der Entwicklung bezogen wurde. Der Entwicklungsprozess untergliedert sich in folgende Teilaufgaben:

- Die Analyse des Objektes und der Umgebung, um alle Ortsfaktoren mit einbeziehen zu können.
- Die Konzipierung verschiedener gestalterischer Varianten und die Auswahl einer bevorzugten Variante.
- Ermittlung der relevanten lichttechnischen Parameter für die Umsetzung eines Konzeptes
- Konstruktion der Leuchten
- Ein Schaltungsentwurf für die Inbetriebnahme der Leuchtmittel.
- Die Realisierung der Leuchte

Ziel der Bachelorarbeit:

Diese Bachelorarbeit beschreibt die Entwicklung einer geeigneten Beleuchtung für das historische Satellitenbeobachtungsgerät. Es werden alle Teilschritte einzeln erläutert. Am Ende soll der Leser dieser Bachelorarbeit die Gedankengänge und Teilprozesse der Entwicklung und Konstruktion nachvollziehen können.

1.2 Gliederung der Arbeit

Diese Bachelorarbeit gliedert sich in zwölf Kapitel auf. Im ersten Kapitel befindet sich das Vorwort. Dieses fasst kurz die Bedeutung des Gerätes in Bezug auf die Feinwerktechnik zusammen. In Kapitel 2 befindet sich die Aufgabenstellung, Gliederung und Zusammenfassung. Kapitel 3 befasst sich mit den Rahmenbedingungen und Vorgaben, die gestellt wurden. Im vierten Kapitel werden die drei erstellten Lichtkonzepte vorgestellt. Die Konzepte wurden dann zu einem finalen Prinzip zusammengefasst. Das Kapitel 5 beschreibt die vermessenen Platinen. Es werden die wichtigsten Kennzahlen der benutzt LEDs aufgeführt und ausgewertet. Kapitel 6 befasst sich mit dem LED-Modul welches in der finalen Version der Leuchte verbaut wird. Hier werden dessen Vor- und Nachteile beschrieben. In Kapitel 7 werden die Messungen und ihre Ergebnisse analysiert. Dazu gehört die Beschreibung der Messumgebung, des Messgeräts, der geometrischen Gegebenheiten und der Messdaten. Es wurden zwei Messungen von Leuchtdichten durchgeführt und ausgewertet. Im nachfolgenden 8. Kapitel wird der Test des ausgewählten Moduls ausgewertet. Hierbei wird im Gegensatz zu Kapitel 7 kein Bezug auf die lichttechnischen Größen genommen. Der visuelle Eindruck des Moduls auf dem Teleskoprohr wird in diesem Kapitel eingeschätzt und bewertet. Außerdem wird im zweiten Teil dieses Kapitels der Dauertest des Kühlkörpers ausgewertet. Das Kapitel 9 handelt von den Ansprüchen, welche an die elektrische Schaltung gestellt werden und wie diese gelöst wurden. Kapitel 10 ist das abschließende Kapitel zum Entstehungsprozess der Leuchte. Hier werden die konstruktiven Herangehensweisen und Gedankengänge zusammenfassend geschildert. Das Kapitel teilt sich in vier Unterpunkte auf, in denen die konstruktiven Herausforderungen einzeln aufgeführt und erklärt wurden.

2. Vorkenntnisse

Bei der Beleuchtung einer Fläche spielen verschiedene lichttechnische Grundgrößen eine Rolle. Es muss bei der Erstellung eines Konzeptes und bei der Konstruktion der Leuchte stets darauf geachtet werden, diese Faktoren ein zu beziehen. Auch das zu beleuchtende Gerät und seine Umgebung müssen für die Erstellung eines Beleuchtungskonzeptes auf ihre lichttechnisch relevanten Eigenschaften reduziert werden.

2.1 Das zu beleuchtende Gerät

Das Satellitenbeobachtungsgerät ist als zu beleuchtendes Objekt maßgebend für die Erstellung eines Beleuchtungskonzeptes. Für eine Beleuchtung sind die Eigenschaften der Fläche ausschlaggebend. Die Oberflächen auf dem SBG können grob in zwei Arten gegliedert werden. Während das Rohr in einem Grau gehalten ist, was für alte Zeissgeräte üblich war, ist der komplette Rest (Sockel bis Teleskopaufnahme) in dem moderneren blaugrau von Zeiss gehalten. Die

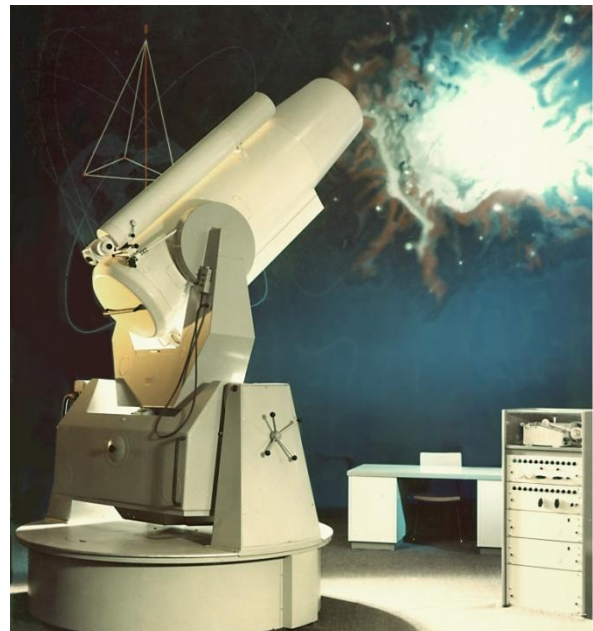


Abbildung 3. 1: SBG Quelle: Zeiss.

Rohrfläche ist vom optischen Eindruck her matter als die andere. Allerdings haben beide einen ausreichend diffusen Charakter, um sie näherungsweise als Lambertstrahler zu klassifizieren.

Den optischen Mittelpunkt bildet das Teleskoprohr. Hier eignet sich ein Großteil der Flächen für eine Beleuchtung. Das Rohr hat einen Durchmesser von 620mm. Es hat sich angeboten die Hauptbeleuchtung auf dieses Rohr zu richten.

2.2 Lokale Gegebenheiten

Das SBG steht im Innenhof des Curiebaus. Der Innenhof verfügt über ein ungleich geformtes Glasdach und ist in jede Richtung vom Gebäude umgeben. Über dem SBG hängt eine Leuchte, die erst dann angeschaltet wird, wenn es draußen dunkel wird. Es ist davon aus zu gehen, dass die Leuchte keine größere Beleuchtungsstärke auf dem Gerät erzeugt als an einem sonnigen Tag vorhanden ist. In Kapitel 7 werden die gegeben Leuchtdichten auf dem Gerät gemessen und ausgewertet.

2.3 Vorgaben

Die lichttechnische Größe, die am besten mit der Helligkeit interpretiert werden kann, ist die Leuchtdichte. Besitzt eine Fläche eine größere Leuchtdichte, bei gleicher spektraler Verteilung und Oberflächeneigenschaft, als eine zweite Fläche, so wird die erste Fläche als heller wahrgenommen. Aus dieser Gegebenheit leidet sich die Forderung ab: Es muss eine möglichst große Leuchtdichte auf der Rohrfläche realisiert werden.

Eine entscheidende Eigenschaft der Leuchte soll sein, dass sie den Betrachter des Satellitenbeobachtungsgeräts nicht blendet. Die verwendeten Leuchtmittel sind Leuchtdioden. Bei LEDs wird das Licht auf einem sehr geringen Raum (aktiven Zone) erzeugt. Dies führt zu einer deutlich höheren Leuchtdichte als bei konventionellen Lampen. Blendung tritt auf, wenn eine Fläche mit hoher Leuchtdichte im Auge auf die Netzhaut abgebildet wird. Um ein Blenden zu vermeiden, muss bei Konstruktion darauf geachtet werden, dass es dem Betrachter nicht möglich ist direkt auf die LEDs zu schauen.

Es ist blaues Licht zu verwenden. Das wurde zusammen mit Univ.-Prof. Dr.-Ing R. Theska entschieden. Der Hintergrund dafür ist die Herkunft des Gerätes. Zeiss verwendet bei deren Produkten und auf deren Internetseite fast ausschließlich Blau als Farbe. Diese Farbe zeichnet sich durch eine niedrige Wellenlänge (436 nm bis 495 nm) aus. Das menschliche Auge nimmt die unterschiedlichen Wellenlängen des Lichts mit unterschiedlichen Intensitäten wahr. Diese Abhängigkeit wird in der $v(\lambda)$ -

Kurve beschrieben. Das blaue Licht hat mit 0,1 bis 0,25 eine niedrige Empfindlichkeit (siehe Abbildung 3.2) und wird deshalb vom menschlichen Auge als dunkler wahrgenommen.

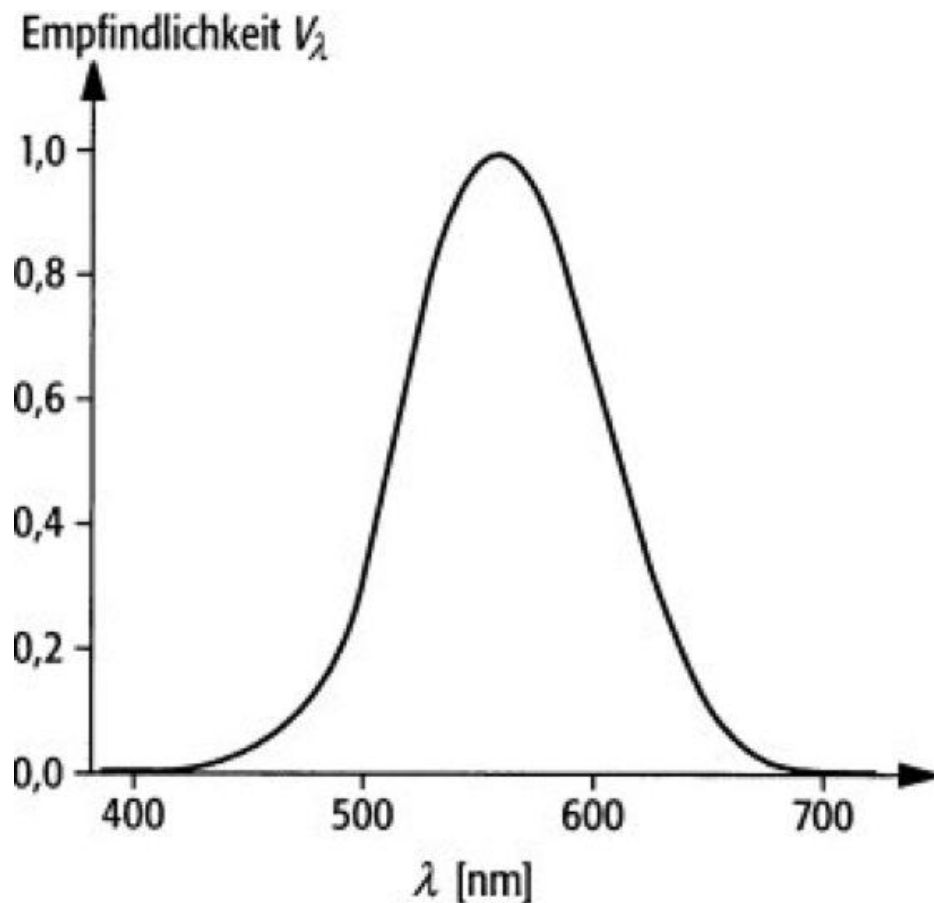


Abbildung 3. 2: Spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges über die Wellenlänge aufgetragen.
Quelle: www.Spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/augenempfindlichkeit/1098

Die Leuchte muss unauffällig gestaltet sein. Auch diese Vorgabe ergab sich aus dem Gespräch mit Univ.-Prof. Dr.-Ing R. Theska. Das kann gegeben falls auch durch einen Schirm oder eine Abdeckung realisiert werden, welche die Leuchte versteckt. Das Teleskop soll so wenig wie möglich durch aufbauten verdeckt oder verändert werden. Die Beleuchtung muss dezent sein und trotzdem Akzente an den richtigen Stellen setzen.

3. Lichtkonzept

Nachdem alle Vorgaben berücksichtigt waren, musste ein Beleuchtungskonzept erstellt werden. Das Beleuchtungskonzept enthält eine Anordnung der Leuchten und beschreibt die zu beleuchtenden Flächen. Es beinhaltet noch nicht die verwendeten LEDs und Optiken. Desweiteren können die genauen Abmessungen der beleuchteten Flächen auch nicht exakt festgelegt werden. Je nach ausgewählter Optik ist eine andere Abstrahlcharakteristik vorhanden. Allerdings können grobe Grenzen festgelegt werden.

Es wurde entschieden drei Lichtkonzepte zu erstellen. Diese Konzepte wurden Univ.-Prof. Dr.-Ing R. Theska vorgelegt. Nach einer gemeinsamen Auswertung ist ein Konzept entstanden welches Bestandteile aus den drei Erstellten enthält. Die nachfolgenden Konzepte zeigen die theoretische Umsetzungsmöglichkeiten der Beleuchtung des Hauptrohrs. Weitere Elemente an anderen Teilen des Geräts werden nach den Konzepten aufgeführt.

3.1 Leuchtschlauch

Bei ersten Prinzip wird das Licht in einen Lichtleiter ein gekoppelt und an den benötigten Stellen aus gekoppelt. Dieser Leuchtschlauch sorgt für eine homogene Verteilung der Lichts. In der Skizze (Abbildung 4.1) ist zu sehen, dass der Leuchtschlauch um das Rohr gelegt wurde. Ein Schirm mit einer reflektierenden Innenseite sorgt für eine Umlenkung des Lichts auf die Mantelfläche des Rohrs.

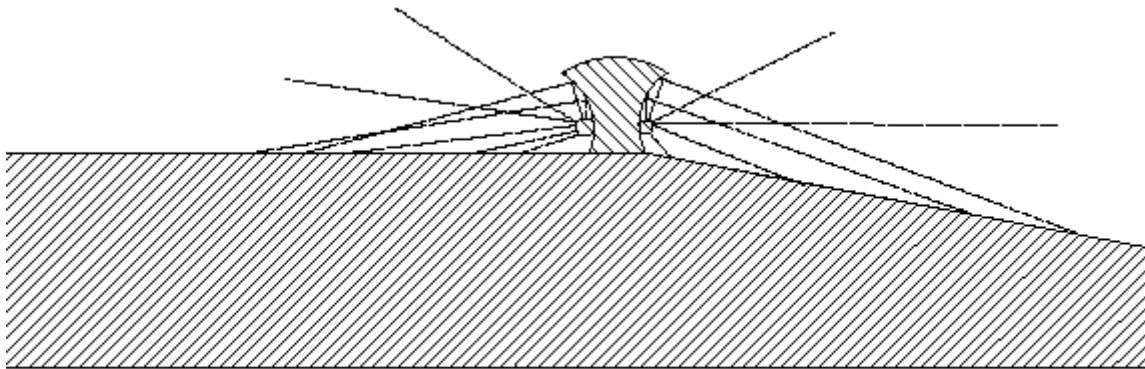


Abbildung 4. 1: geschnittene Rohrfläche mit Schirm und Leuchtschlauch.

Die gestrichelten Linien stellen Lichtstrahlen in einzelne Richtungen dar. Da es sich hier nur um eine Prinzipskizze handelt stimmen die Radien des Schirms nicht mit denen tatsächlich benötigten überein.

Die Umlenkung des Lichts geschieht bei dieser Variante nur durch die Reflexion am Schirm. Daraus ergeben sich Vor- und Nachteile.

Vorteile:

- Homogene Beleuchtung der Fläche
- Unauffällige Leuchte
- Geringe Blendung

Nachteile:

- Aufwendige Fertigung des reflektierenden Schirms
- Um mit einen Leuchtschlauch die selbe Leuchtdichte zu realisieren, muss mit mehr Licht gearbeitet werden, da die Verluste beim ein- und auskoppeln nicht zu vernachlässigen sind

3.2 Ringleuchte

Das zweite Prinzip ist die Beleuchtung mittels einer Ringleuchte. Hierbei wird ein Aufbau an die Öffnung des Teleskoprohrs angebracht. Von diesem Aufbau aus werden blaue Leuchtdioden direkt auf die Mantelfläche des Rohrs ausgerichtet um diese zu beleuchten. Der Ring wird dabei über den kompletten Umfang mit LEDs bestückt. Die vorgeschaltete Elektronik befindet sich bei dieser Variante nicht direkt an der Leuchte.

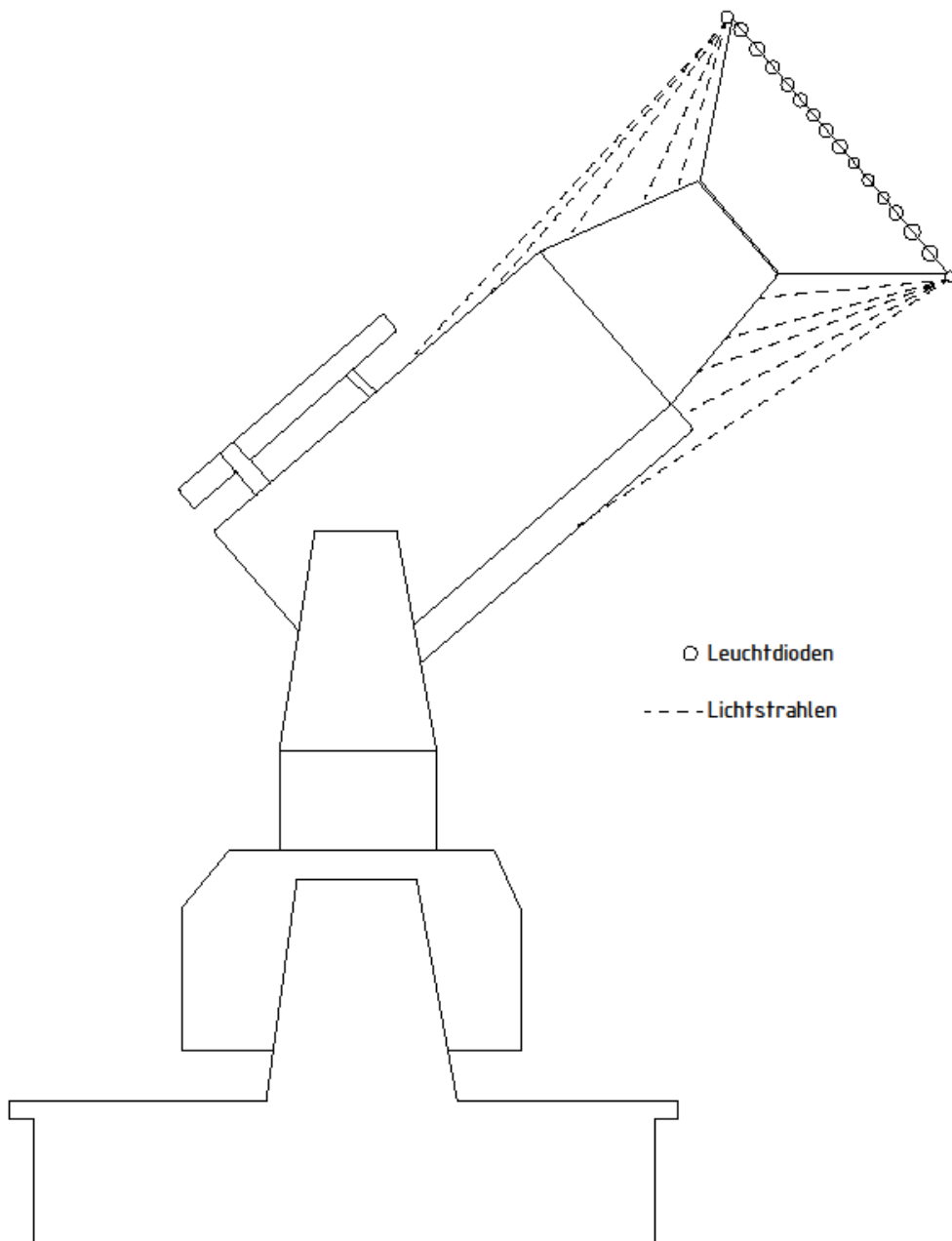


Abbildung 4. 2: Skizze SBG mit aufgesetzter Ringleuchte.

Aus diesem Prinzip ergeben sich folgender Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- Abstand zum Rohr ermöglicht Beleuchtung aus einer Richtung
- Homogene Beleuchtung
- Keine Leuchte direkt am Rohr

Nachteile:

- Aufbau ist nicht optisch ansprechend
- Stromversorgung muss ausgelagert werden
- Justierung der Leuchtkegel umständlicher
- Anfälliger für Störungen

3.3 Teilkreisleuchte

Das dritte Konzept nutzt Teilkreisleuchten zur Beleuchtung des Teleskoprohrs. Dabei handelt es sich um Leuchten mit einem Array von 5 bis 10 Leuchtdioden und deren Optiken. Es wird dabei nicht der komplette Umfang beleuchtet, sondern in regelmäßigen Abständen eine Leuchte angebracht. Diese Leuchten sitzen dabei direkt an der Schweißnaht die den Übergang vom zylinderförmigen Teil des Rohrs zum Kegelförmigen bildet. In der Skizze (Abbildung 4.3) ist die Anordnung und Abstrahlcharakteristik gezeigt.

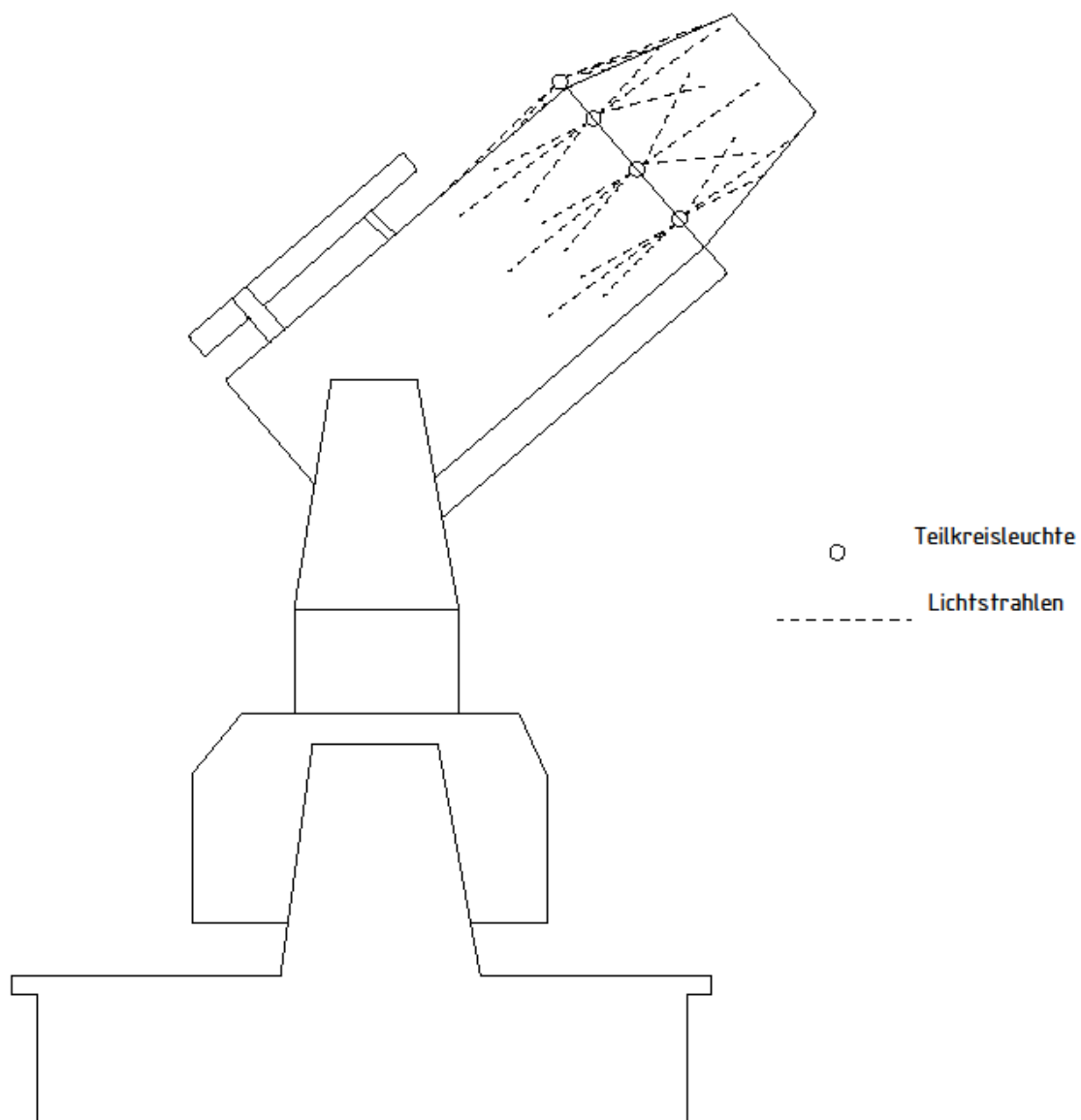


Abbildung 4. 3: Skizze SBG mit Teilkreisleuchten am Teleskoprohr.

Aus der Skizze ist ersichtlich, dass hier keine homogene Beleuchtung realisiert wird. In diesem Prinzip wurde bewusst darauf verzichtet, um Akzente entlang des Rohrs zu setzen.

Vorteile:

- Effektbeleuchtung
- geringe Baugröße der Leuchten
- keine Sicherstellung der Homogenität notwendig
- Auswechseln einzelner Leuchten ist möglich
- günstige Herstellung der Leuchten möglich

Nachteile:

- einzelne Stromversorgung für jede Leuchte

3.4 weitere Beleuchtungselemente

Zusätzlich zu der Beleuchtung des Teleskoprohrs werden zwei weitere Beleuchtungselemente an das SBG angebracht. Das erste Element ist die Beleuchtung der Skala am unteren Arm. Hier befindet sich die Leuchte im Inneren des Geräts. Auf dem Bild (Abbildung 4.4) ist die Stelle der Skala am SBG zu sehen. Die Skala wird homogen mit blauem Licht beleuchtet. Auf dem Bild wurde das Testmodul (siehe Kapitel 5) verwendet. Dieses befindet sich später im inneren des Geräts.

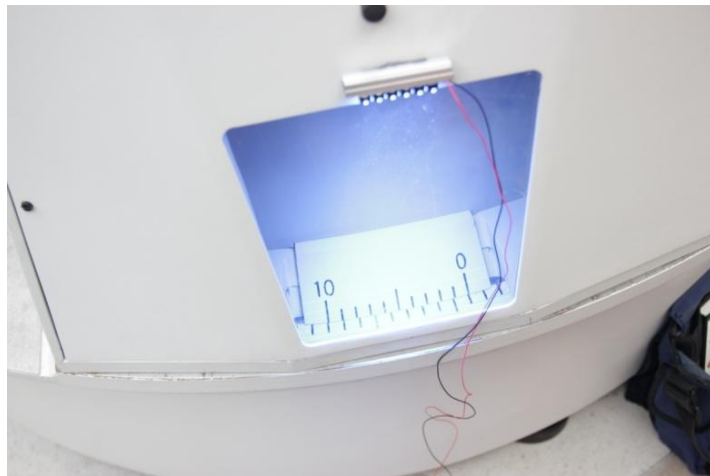


Abbildung 4. 4: Skala am SBG. Beleuchtet mit Testmodul.

Die zweite Leuchte wird auf der Innerseite des oberen Arms angebracht und ist von unten auf das Rohr ausgerichtet. An dieser Stelle (siehe Abbildung 4.5) befinden sich zwei Leuchten, um das Teleskoprohr von beiden Seiten zu beleuchten.

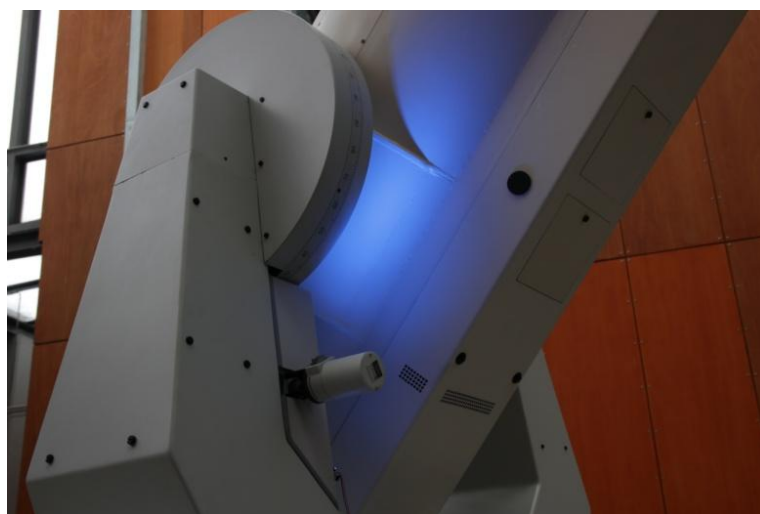


Abbildung 4. 5: Leuchte (Testmodul) an Arminnenseite befestigt.

3.5 Realisiertes Konzept

Nachdem die drei vorangegangenen Konzepte mit Professor R. Theska besprochen wurden, ist das folgende Konzept entstanden.

In dem finalen Konzept wurde die Idee der Teilkreisleuchte modifiziert und mit einem Schirm kombiniert. Die Leuchten werden mit 2 LED-Arrays bestückt, die in unterschiedliche Richtungen abstrahlen. Ein LED-Modul wird auf die Rohröffnung ausgerichtet. Das andere Modul wird auf die zylindrische Rohrfläche ausgerichtet. Es werden entlang der Schweißnaht, welche den Übergang vom zylinderförmigen Teil des Rohrs zum Kegelförmigen bildet, einzelne Leuchten angeordnet. Die Leuchten werden auf einem Band angeordnet, welches entlang des Rohrumfangs gespannt wird. Die nachfolgende Skizze (Abbildung 4.6) zeigt die Anordnung der Leuchten entlang des Umfangs.

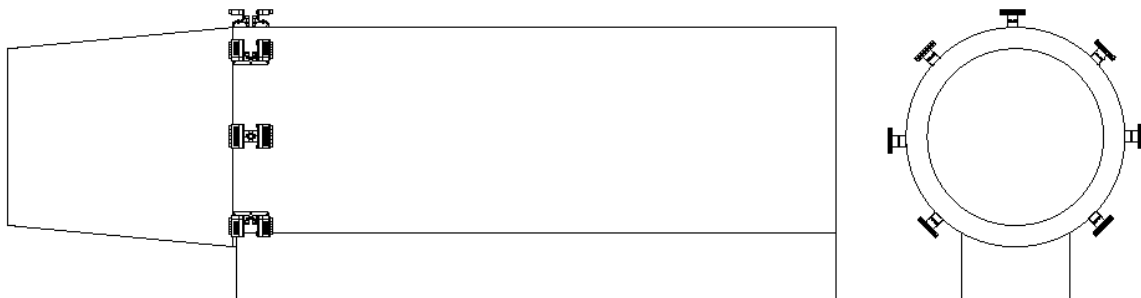


Abbildung 4. 6: Anordnung der Leuchten auf dem Teleskoprohr.

Das nachfolgende Bild (Abbildung 4.7) zeigt ein CAD-Modell wo die Anordnung der Leuchten simuliert wurde. Hier wurde bewusst auf den Schirm verzichtet um die genaue Lage der Leuchten darzustellen.

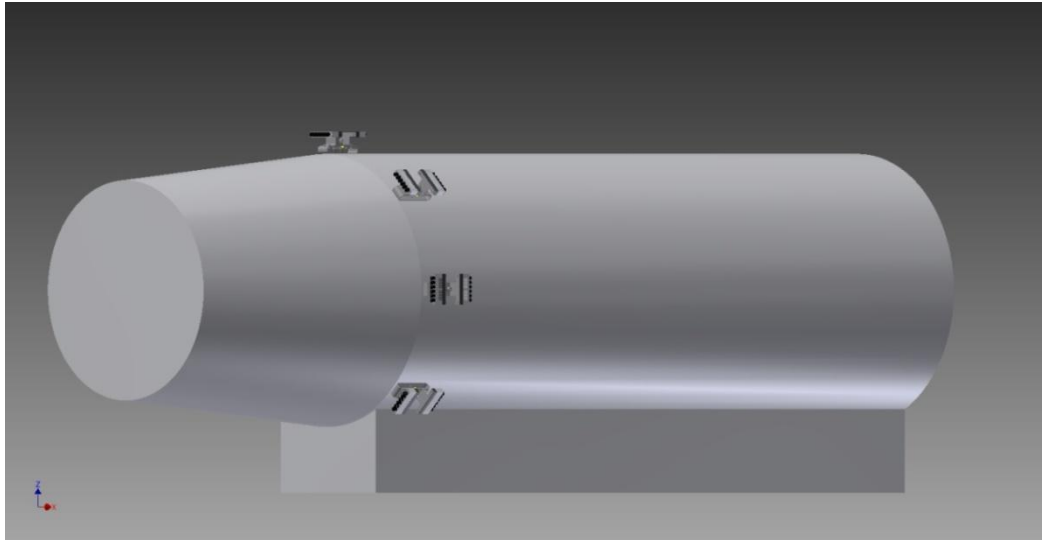


Abbildung 4. 7: CAD-Simulation von Teleskoprohr.

Zusätzlich zu dieser Leuchte werden die in Kapitel 4.4 angesprochenen Elemente eingebaut. Die vollständige Anordnung aller Leuchten ist in Skizze (Abbildung 7.8) dargestellt.

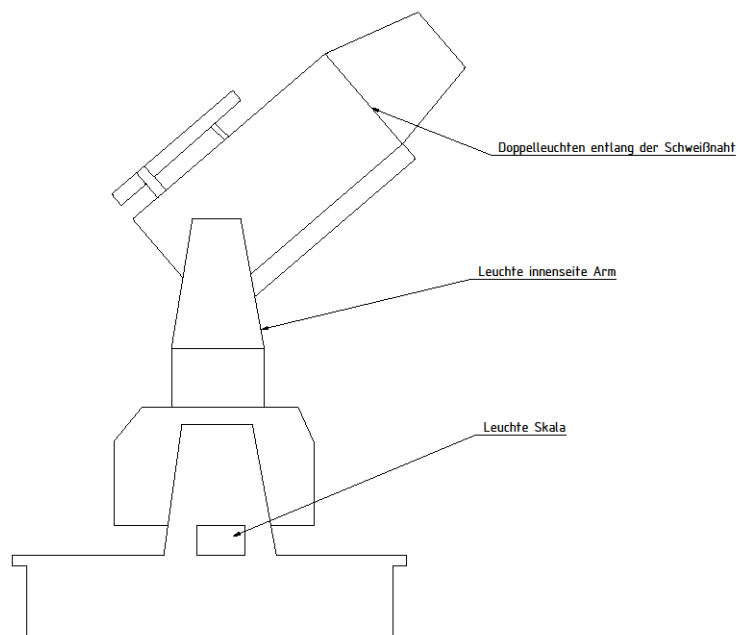


Abbildung 4. 8: Skizze mit Stellen an denen Leuchten vorgesehen sind.

4. Probenbeschreibung

Um ein Gefühl für die benötigten Bauelemente zu bekommen wurden verschiedene Typen von Leuchtdioden getestet. Dies beinhaltete die Inbetriebnahme der LEDs direkt am Gerät und die Messung der Leuchtdichten, um einen quantitativen Vergleich zu erhalten.

4.1 Erstellen von Testplatinen mit LEDs verschiedener Typen

Um die benötigte Leuchtdichte zu ermitteln, wurden Testplatinen erstellt. Die Testplatinen dienten vier verschiedenen Zwecken. Erstens war die Ermittlung der benötigten Leuchtdichte auf der zu beleuchtenden Fläche am SBG. Zum Zweiten konnte ein erster Farbeindruck bekommen werden. Die zu beleuchtende Fläche war in einem sehr hellen Grauton gehalten. Die Farbe ist typisch für Zeissgeräte die bis in 1970er gebaut wurden. Die Oberfläche ist matt und hat einen diffusen Charakter. Der optische Eindruck des blauen Lichts in Zusammenhang mit der Umgebung konnte so abgeschätzt werden. Der dritte Zweck war verschiedene Typen von LEDs auf ihre Abstrahlcharakteristik zu testen. Hierbei wurden Leuchtdioden unterschiedlicher Bauformen verwendet. Letztlich konnte durch die Testplatinen abgeschätzt werden, in welcher Größenordnung LEDs (vom jeweiligen Typ) benötigt werden.

Es wurden folgende Leuchtdioden überprüft:

- Osram Golden Dragon Plus (350 mA, 467 nm, 170°, 10000 mcd)
- Osram TOPLED (20 mA, 470 nm, 120°, 224 mcd)
- Kingbright SMD-LED KP-2012QBC-D (30 mA, 470 nm, 120°, 100 mcd)
- Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D (30 mA, 470 nm, 40°, 500 mcd)
- Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC (35 mA, 466 nm, 18°, 12000 mcd)
- Osram Oslon SX (140 mA, 453 nm, 60°, 180 mW) (← Tiefblau)¹

¹ Abgaben wie folgt: - LED-Name (Diodenstrom, dominante Wellenlänge, Abstrahlwinkel (50%), Lichtstärke senkrecht zur Oberfläche)

Die Platinen wurden mit einer minimalen Anzahl an LEDs bestückt. Um einen vergleichbaren Eindruck zu bekommen, wurden die Platinen mit einer unterschiedlichen Anzahl an Leuchtdioden bestückt. Für die Schaltung wurde eine 9V-Batterie als Spannungsquelle verwendet. Die Leuchtdioden und die Widerstände wurden auf Lochrasterplatinen aufgelötet. Dadurch war es nicht nötig, extra Platinen ätzen zu lassen.

Die Leuchtdioden in SMD-Form wurden zur Fixierung mittels Klebeband auf die Platine geklebt. Dabei wurde eine Kontaktseite frei gelassen. Die freie Seite wurde verlötet und das Klebeband entfernt. Nun konnte der zweite Kontakt ebenfalls verlötet werden. Die LEDs hatten durch diese Methode eine parallele Lage zur Platine. Wie bei allen hier aufgeführten SMD-LEDs ist als Verfahren das Reflow-Löten angegeben. Aber wegen des hohen technologischen Aufwands und der geringen Stückzahl der zu fertigenden Platinen wurde sich gegen das Reflow-Verfahren entschieden.

Osram Golden Dragon Plus

Die LED hat eine SMD-Bauform. Dabei werden folgende Herstellerangaben gemacht:

- Lichtstrom (bei $I_F = 350 \text{ mA}$) $\Phi_V = 21 \dots 39 \text{ lm}$
- Lichtstärke (bei $I_F = 350 \text{ mA}$) $I_V = 10000 \text{ mcd}$
- Wellenlänge $\lambda = 467 \text{ nm}$ (Blau)
- Abstrahlwinkel $2\varphi = 170^\circ$
- Lichtausbeute 25 lm/W

Sie ist mit einem Strom $I_F = 100 \dots 1000 \text{ mA}$ betreibbar. Als typischer Stromfluss wird $I_F = 350 \text{ mA}$ angegeben. Bei einer Spannungsaufnahme von $U_F = 3,7 \text{ V}$ ergibt sich eine durchschnittliche Leistung von $P_F = 1,295 \text{ W}$. Bei der Osram Golden Dragon Plus handelt es sich dadurch um eine High-Power-LED. Der Abstrahlwinkel (Winkel bis 50% der Lichtstärke erreicht sind) von 170° sorgt dafür, dass die LED eine lambertähnliche Abstrahlcharakteristik hat. Die Wellenlänge von $\lambda = 467 \text{ nm}$ liegt 3 nm unter den anderen Probeleuchtdioden, allerdings ist die spektrale Bandbreite mit $\Delta\lambda = 25 \text{ nm}$ ausreichend groß. Somit kann die Abweichung vernachlässigt werden.

Osram TOPLED

Die LED hat eine SMD-Bauform. Es werden folgende Herstellerangaben gemacht:

- Lichtstrom (bei $I_F = 20 \text{ mA}$) $\Phi_V = 0,480 \text{ lm}$
- Lichtstärke (bei $I_F = 20 \text{ mA}$) $I_V = 90 \dots 224 \text{ mcd}$
- Wellenlänge $\lambda = 470 \text{ nm}$ (Blau)
- Abstrahlwinkel $2\varphi = 120^\circ$
- Lichtausbeute 3 lm/W

Die zweite Leuchtdiode von Osram ist mit einer typischen Stromaufnahme von $I_F = 20 \text{ mA}$ wesentlich kleiner dimensioniert als die Osram Golden Dragon Plus und zählt nicht zu den high-Power-LEDs. Die Durchlassspannung $U_F = 3,5 \text{ V}$ bei typischen Strom $I_F = 20 \text{ mA}$ ergeben eine elektrische Leistung von $P_F = 70 \text{ mW}$.

Kingbright SMD-LED KP-2012QBC-D

Diese LED ist eine SMD-LED zeichnet sich durch ihre sehr kleine Bauform (2,00 mm x 1,25 mm x 1,1 mm) aus. Es werden folgende Herstellerangaben gemacht:

- Lichtstärke (bei $I_F = 20 \text{ mA}$) $I_V = 100 \text{ mcd}$
- Keine Angaben zum Lichtstrom
- Wellenlänge $\lambda = 470 \text{ nm}$ (Blau)
- Abstrahlwinkel $2\varphi = 120^\circ$
- Keine Angaben zur Lichtausbeute

Diese LED von Kingbright ist durch ihre geringe Baugröße deutlich schwerer von Hand zu verarbeiten. Die typische Spannung $U_F = 3,3 \text{ V}$ ergibt eine Leistungsaufnahme von $P_F = 66 \text{ mW}$. Die Lichtstärke (bei $I_F = 20 \text{ mA}$) von $I_V = 100 \text{ mcd}$ ist deutlich geringer als die Lichtstärke der Osram TOPLED.

Wegen den Abmessungen und der geringen Lichtstärke der LED im Vergleich zur Osram TOPLED, wurde diese Leuchtdiode noch vor der Messung aussortiert. Für eine Beleuchtung auf mittlere Distanz (10... 150 cm) ist diese LED-Typ ungeeignet.

Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D

Die hier gezeigte LED hat ebenfalls eine SMD-Bauform. In ihren Abmessungen ($3,2 \times 1,6 \times 1,9 \text{ mm}$) ist sie größer als die vorher genannte Kingbright SMD-LED KP-2012QBC-D. Hier sind folgende Herstellerangaben:

- Lichtstärke (bei $I_F = 20 \text{ mA}$) $I_V = 500 \text{ mcd}$
- Keine Angaben zum Lichtstrom
- Wellenlänge $\lambda = 470 \text{ nm}$ (Blau)
- Abstrahlwinkel $2\varphi = 40^\circ$
- Keine Angaben zur Lichtausbeute

Der Abstrahlwinkel von $2\varphi = 40^\circ$ wird durch eine Kuppellinse realisiert. Die elektronischen Kennwerte gleichen der Kingbright SMD-LED KP-2012QBC-D und somit beträgt auch hier die elektrische Leistungsaufnahme $P_F = 66 \text{ mW}$.

Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC

Diese LED ist die einzige mit einem Kunststoffdom. Es werden folgende Angaben seitens des Herstellers gemacht:

- Lichtstärke (bei $I_F = 20 \text{ mA}$) $I_V = 12000 \text{ mcd}$
- Keine Angaben zum Lichtstrom
- Wellenlänge $\lambda = 470 \text{ nm}$ (Blau)
- Abstrahlwinkel $2\varphi = 18^\circ$
- Keine Angaben zur Lichtausbeute

Diese Leuchtdiode ist die einzige, die keine SMD-Bauform besitzt. Die Leistungsaufnahme ist mit $P_F = 72 \text{ mW}$ (Bei $U_F = 3,6 \text{ V}$ und $I_F = 20 \text{ mA}$) vergleichbar mit denen der vorangegangenen SMD-Varianten. Der Kunststoffdom dient als Optik und hat mit $2\varphi = 18^\circ$ einen verhältnismäßig engen Abstrahlwinkel.

Osram Oslon SX LD CN5M

Hier ist eine SMD-Bauform gegeben. Herstellerangaben:

- Strahlungsleistung (bei $I_F = 140 \text{ mA}$) $\Phi_E = 140 \text{ mW}$
- Wellenlänge $\lambda = 453 \text{ nm}$ (tief Blau)
- Abstrahlwinkel $2\varphi = 60^\circ$
- Lichtausbeute 38 %

Die Oslon SX strahlt mit einer sehr niedrigen Wellenlänge ab. In diesem Bereich werden nicht mehr die lichttechnischen Größen angegeben. Es werden nur Angaben zur Strahlungsleistung gemacht. Bei $I_F = 140 \text{ mA}$ und $U_F = 3,3 \text{ V}$ ergibt sich eine elektrische Leistungsaufnahme von $P_F = 462 \text{ mW}$.²

² Die hier angegebenen Kenngrößen wurden aus den Datenblättern der Hersteller bezogen. Diese können auf den Herstellerseiten eingesehen werden. Alle Datenblätter sind ebenfalls auf www.Reichelt.de erhältlich

4.2 Vergleich der Leuchtdioden

Um den geeigneten LED-Typ für diese Beleuchtungsaufgabe zu finden, ist ein Vergleich der Leuchtdioden notwendig. Im Folgenden werden dabei Merkmale verglichen, die direkten Einfluss auf die Konstruktion der Leuchte haben.

4.2.1 Vergleich nach Leistungsklasse

Die Leuchtdioden können nach ihren Leistungsklassen sortiert werden. Ein Vergleich der Leistungsklassen ist insoweit für die Konstruktion der Leuchte relevant, als das über die Leistungsklasse die Anzahl der Leuchtdioden abgeschätzt werden kann. Die Leistungsklasse geht mit anderen Faktoren einher. Es kann nicht allein über die elektrische Leistung einer Leuchtdiode ermittelt werden, welche die Geeignete für diese Aufgabenstellung ist. So ist der optische Wirkungsgrad ein wichtiger Faktor wenn es um die Lichtausbeute geht. Ein anderer, für die Konstruktion relevanter Faktor, ist das Wärmemanagement. Bei höherer Leistungsklasse ist es notwendig, die Wärme gezielt abzuführen.

Sortiert man die oben genannten LEDs nach ihrer elektrischen Leistung steht die Osram Golden Dragon Plus mit $P_F = 1,3 \text{ W}$ klar an erster Stelle. Mit circa einem Drittel ($P_F = 462 \text{ mW}$) der Leistung steht die Osram Oslon SX deutlich an zweiter Stelle. Die restlichen vier Leuchtdioden können in die gleiche Leistungsklasse (66 mW... 72 mW) eingeordnet werden.

4.2.2 Vergleich nach Abstrahlcharakteristik

Um das Licht auf die zu beleuchtende Fläche zu bringen ist die Verwendung einer geeigneten Optik notwendig. Eine Optik kann sowohl extern vorhanden sein, als auch bereits auf dem Chip integriert. Auch eine Kombination von externer und integrierter Optik ist möglich. Die Position der Leuchte gibt im Wesentlichen die benötigte Verteilung der Lichtstärke vor. Der Abstrahlwinkel 2φ beschreibt den Winkel ab welchem sich die Lichtstärke I_V halbiert. Bei LEDs mit einem geringeren Abstrahlwinkel ist daher ein größerer Teil des Lichtes in einer Richtung vorhanden.

Unterteilt man die zu vergleichenden Leuchtdioden nach ihrer Abstrahlcharakteristik so sind nur zwei LEDs mit gleichem Abstrahlwinkel vorhanden. Den größten Abstrahlwinkel hat die Osram Golden Dragon Plus mit $2\varphi = 170^\circ$. Bei dieser LED kann annähernd ein Lambert-Charakter festgestellt werden. Mit $2\varphi = 120^\circ$ sind die Osram TOPLED und die Kingbright SMD-LED KP-2012QBC-D die mit den zweitgrößten Abstrahlwinkel. Die Osram Oslon SX hat einen Abstrahlwinkel von $2\varphi = 60^\circ$. Der Abstrahlbereich ist deutlich schmaler als bei den Vorrangegangenen. Durch die integrierte Kuppellinse ist bei der Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D ein Abstrahlwinkel von $2\varphi = 40^\circ$ gegeben. Mit deutlichem Abstand hat die Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC die schmalste Abstrahlcharakteristik. Der Winkel beträgt nur $2\varphi = 18^\circ$. Dies wird durch einen Kunststoffdom realisiert, in dem sich der Chip befindet.

4.2.3 Vergleich nach Lichtstärke

Die Abgaben zu Lichtstärke I_V gelten senkrecht zur Chipposition. Für die Lichtstärkeverteilung wird diese Lichtstärke als $I_V(0)$ genutzt. Die Abstrahlcharakteristik beschreibt die relative Veränderung der Lichtstärke mit sich änderndem Winkel. Um die Fläche möglichst intensiv zu beleuchten, ist eine große Lichtstärke nötig. Eine geringere Lichtstärke muss mit einer größeren Anzahl an LEDs oder entsprechenden Optiken kompensiert werden.

Die größte Lichtstärke hat die Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC mit $I_V = 12000$ mcd. Die hohe Lichtstärke wird durch den Kunststoffdom (und daraus folgenden engen Abstrahlwinkel von $2\varphi = 18^\circ$) realisiert. Mit $I_V = 10000$ mcd ist die Golden Dragon Plus die LED mit der zweit größten Lichtstärke. Die Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D erreicht durch ihre Kuppellinse eine Lichtstärke von $I_V = 500$ mcd. Die Osram TOPLED ist in mit einem Bereich von 90 ... 224 mcd noch deutlich vor der Kingbright SMD-LED KP-2012QBC-D mit ihren $I_V = 100$ mcd. Die Osram Oslon wird wegen ihrer niedrigeren Wellenlänge seitens des Herstellers nicht mehr mit ihrer Lichtstärke angegeben. Es wird an dieser Stelle die Strahlungsleistung $\Phi_E = 140$ mW angegeben.

Alle Angaben wurden bei einem für die LED geeigneten Strom I_V angegeben. Je nach Möglichkeit der Kühlung des Chips ist es möglich, die LED mit mehr oder weniger Strom zu betreiben.

4.2.4 Vergleich nach Wellenlänge

Die Vorgabe, für die Beleuchtung ausschließlich blaues Licht zu verwenden, grenzt den Bereich der Wellenlängen auf den unteren Bereich ein. Die Empfindlichkeit des Auges nimmt laut der $V(\lambda)$ -Kurve mit sinkender Wellenlänge ab. Zur Vereinfachung wird hierbei nur der Bereich unterhalb des Maximums (380 bis 555 nm) betrachtet. Daher nimmt das menschliche Auge in diesem Bereich niedrigere Wellenlängen weniger intensiv wahr. Abhängig vom verwendeten Halbleiter liegt die dominante Wellenlänge an einer anderen Stelle. Es werden dabei zwei Arten von Blau unterschieden, Blau und Tiefblau. Während Blau bei einer Wellenlänge von 470 nm liegt, ist Tiefblau bei 453 nm.

Vier von sechs der betrachteten LEDs liegen bei $\lambda = 470$ nm. Die Osram Golden Dragon kann mit einer dominanten Wellenlänge von $\lambda = 467$ nm ohne Probleme zu den blauen LEDs gezählt werden. Die einzige tiefblaue LED ist die Osram Oslon SX. Sie hat eine dominante Wellenlänge von $\lambda = 453$ nm.

4.2.5 Ergebnis

Im Vergleich hat sich bestätigt, dass die betrachtete Hight-Power LED eine deutlich höhere Lichtausbeute liefert als die anderen Leuchtdioden. Die Vermutung liegt nahe, dass mit den LEDs der niedrigen Leistungsklasse nicht ausreichend Licht auf die zu beleuchtende Fläche gebracht werden kann. Dies müsste über eine entsprechend höhere Anzahl an LEDs kompensiert werden. Der Nachteil bei Hight-Power LEDs ist der erhöhte Aufwand der Abführung der Wärme. Bei einer Lösung mit Hight-Power LEDs wie der Osram Golden Dragon Plus müssen ausreichend dimensionierte Kühlkörper integriert werden oder anderweitig für einen genügenden Abtransport der Wärme gesorgt werden.

Bei der Betrachtung der Wellenlänge wurde gezeigt, dass die Farbe Tiefblau (453 nm) ungeeignet für diese Aufgabenstellung ist. Durch die Wichtung mit der $V(\lambda)$ -Kurve wird diese Farbe (bei gleicher Strahlungsleistung) dunkler wahrgenommen als das Blau bei 470 nm. Daher muss die dominante Wellenlänge der verwendeten LED im Bereich von 470 ± 3 nm liegen.

Über die Abstrahlcharakteristik können noch keine konkreten Aussagen getroffen werden. Da aus einem stumpfen Winkel heraus beleuchtet wird, ist eine schmale Abstrahlcharakteristik vorteilhaft. Eine zu schmale integrierte Optik könnte von Nachteil sein wenn sich herausstellt, dass ein größerer Abstrahlwinkel benötigt wird als gegeben ist. Eine Lösung mit integrierter Optik wäre aus konstruktionstechnischer Sicht vorteilhaft. Alternativ sollte eine Leuchtdiode mit breiter Abstrahlcharakteristik genutzt werden und diese mit einer externen Optik versehen werden. Da die eigene Entwicklung und Anpassung einer passenden Optik sehr aufwendig ist, wird vermutlich ein fertiges LED-Modul die optimale Lösung sein. Genaue Aussagen über die benötigten Abstrahlwinkel können erst getroffen werden, wenn die Geometrie des gegebenen System zweifelsfrei geklärt ist.

Um eine möglichst große Leuchtdichte auf der Fläche zu erzeugen ist eine große Lichtstärke nötig. Hier zeigt sich die Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC als vorteilhaft. Der Kunststoffdom ermöglicht einen schmalen Abstrahlwinkel und eine hohe Lichtstärke. Die Osram Golden Dragon Plus hat eine ebenfalls hohe Lichtstärke. Hier kommt hinzu, dass diese über keinerlei Optik verfügt und somit noch an die Beleuchtungsaufgabe angepasst werden kann.

4.2.6 Diskussion

Die oben genannten Ergebnisse zeigen, dass die Osram Golden Dragon Plus in allen vier Punkten Vorteile aufzeigt. Die obere Leistungsklasse impliziert eine entsprechend große Lichtmenge, mit der gearbeitet werden kann. Die annähernd Lambert-förmige Abstrahlcharakteristik ermöglicht die Nutzung verschiedener Optiken. Die dominante Wellenlänge ist in einem gut sichtbaren Bereich. Der Nachteil mit dem Wärmeabtransport muss konstruktiv gelöst werden.

Eine Lösung über hight-Power LEDs erscheint an dieser Stelle als vorteilhaft. Die Osram Golden Dragon Plus diene hier lediglich als Beispiel für eine hight-Power LED. Es muss nach der Bestimmung der lokalen Geometrie eine geeignete Kombination von Leuchtdioden und Optiken bestimmt werden.

5. Auswahl des passenden LED – Moduls

Durch die Ergebnisse im vorherigen Abschnitt kann festgelegt werden, dass die Beleuchtung über ein Array von mehreren high-Power-LEDs mit passender Optik realisiert werden kann. Diese Kombination von LED-Array und Optiken wird als Modul bezeichnet. Das LED-Modul muss folgende Eigenschaften aufweisen:

- Obere Leistungsklasse (ca. 1 Watt – Bereich)
- Eine Wellenlänge von 470 nm (Blau)
- Schmal abstrahlende Optik (integriert oder als zusätzliches Modul)
- Große Lichtstärken

Anhand dieser Rahmenbedingungen konnte ein passendes LED-Modul ausgewählt werden. Ein Array von sechs OSRAM Oslon SSL 80 CP7P entspricht den Forderungen. Als Optik wird die OSRAM Lisa2 Pin Optik 16° von LEDil verwendet. Als Optik wurde die 16° Variante ausgewählt. Für die optische Wirkung müssen die Lichtkegel so gut wie möglich erkennbar sein. Dies kann durch einen möglichst schmalen Leuchtkegel realisiert werden. Da die Leuchten einen Abstand von weniger als 20 cm zueinander besitzen, ist eine Optik mit mehr als 16° ungeeignet.

Die Abmessungen des Moduls sind $10\text{ mm} \times 70\text{ mm} \times 3,85\text{ mm}$ (Höhe x Breite x Tiefe) und werden somit als konstruktive Bedingungen vorausgesetzt. Das Modul wird typischerweise mit einem Strom von $I = 350\text{ mA}$ betrieben. Es hat folgende Eckdaten:

- Wellenlänge von 470 nm (Blau)
- Technologie: ThinGaN
- Lichtstrom: 28 lm
- Abstrahlwinkel: 80°

Das vollständige Datenblatt zur OSRAM Oslon SSL 80 CP7P findet auf der Herstellerseite im Internet.³

³ Datenblatt unter: https://www.led-tech.de/produkt-pdf/osram/LB_CP7P.pdf

6. Messung der Leuchtdichten am SBG

Es wurden zwei Messung von Leuchtdichten durchgeführt. Die erste Messung diente der Dimensionierung und Ermittlung eines geeigneten LED-Moduls. Dies geschah durch den Vergleich der Eigenschaften der vermessenen Leuchtdioden. Mithilfe dieser Erkenntnisse konnte dann ein in Frage kommendes Modul herausgesucht werden. Für dieses Modul gab es zwei mögliche Optiken. Das Modul wurde mit jeder Optik an sechs Positionen direkt am Gerät vermessen.

Die in dem folgendem Kapitel gezeigten Grauwertbildschnitte dienen nicht der Entnahme von Messwerten. Sie dienen dem Vergleich von Abstrahlcharakteristiken. Deshalb wurden die Diagramme so skaliert, dass sie in den Text passen, unter dem Kompromiss das die Achsenbeschriftung schwer erkennbar ist. Relevante Werte aus diesen Diagrammen wurden in der Bildbeschriftung angegeben.

6.1 Das Messgerät

Für die Messung der Leuchtdichten wurde eine LMK mobile advanced verwendet. Diese mobile Leuchtdichtemesskamera basiert auf dem Modell der Canon EOS Serie. Sie hat eine Leuchtdichtepixelauflösung von $2136(H) \times 1424(V)$. Das Objektiv hat eine Brennweite von 18 – 50 mm und eine Blendenzahl von 8. Zur Komprimierung von übersteuerten Zonen wurde derselbe Zustand mehrmals bei unterschiedlichen Belichtungszeiten fotografiert.

6.2 Messumgebung

Die Messungen wurden im Innenhof des Curiebaus durchgeführt. Die Leuchtdichtekamera wurde auf einem Stativ mit einer Höhe von 1,65 m positioniert. Die Stelle an der die Probeplatten befestigt wurden, befindet sich in 3,05 m Höhe am Rohr des Satellitenbeobachtungsgeräts. Die horizontale Entfernung zwischen Kamera und Testplatten beträgt 4,10 m. In Abbildung 7.1 ist die Anordnung dargestellt.

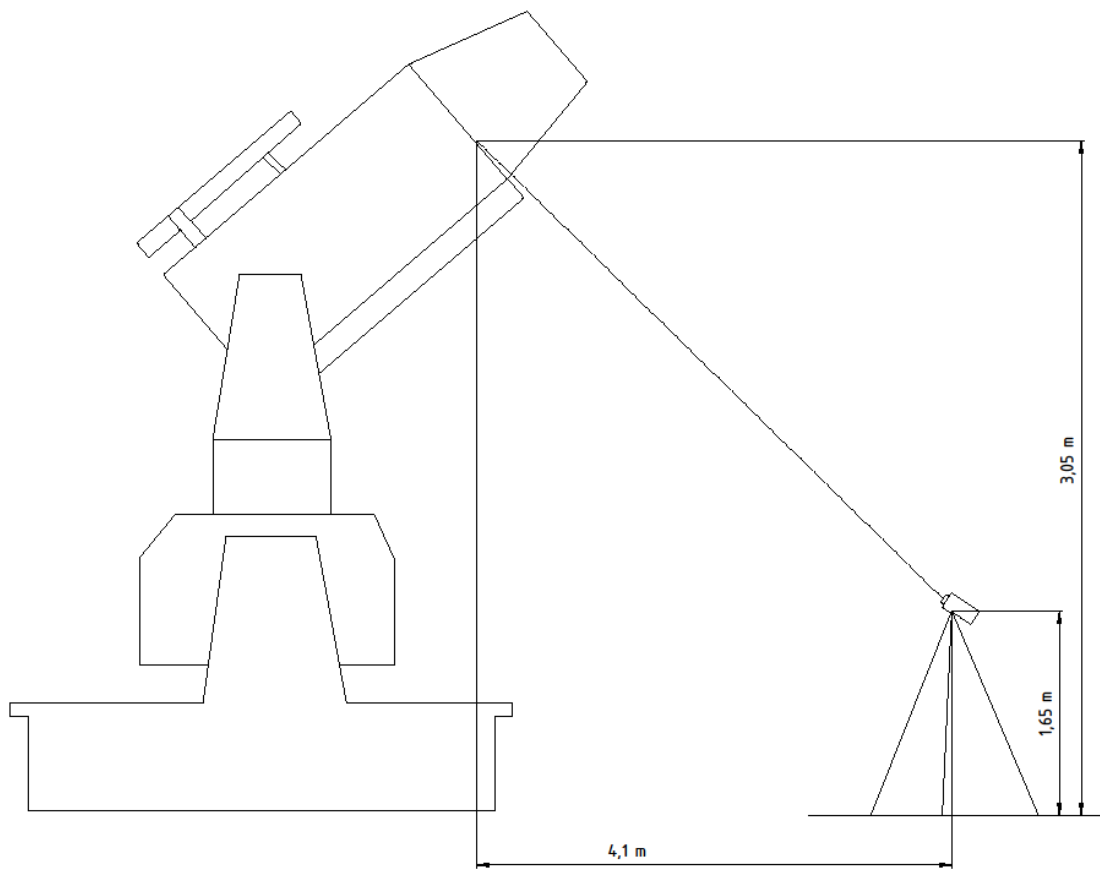


Abbildung 7. 1: Anordnung der Leuchtdichtekamera zum SBG.

Die beiden Messungen fanden zu unterschiedlichen Tageszeiten statt. Die erste Messung fand am Donnerstag dem 22.01.2015 statt und begann um 15.47Uhr. Zu dieser Zeit waren auf dem Rohr Leuchtdichten von $L = 9 \dots 45 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ vorhanden. Somit kann für die erste Messung eine durchschnittlich vorhandene Leuchtdichte der Umgebung von $L_{\text{Umgebung}} = 30 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ angenommen werden. Dies ist auf späteren Diagrammen (Abbildung 7.21 und 7.22) erkennbar. Auf dem Bild (Abbildung 7.2) ist die Verteilung der Leuchtdichte auf dem SBG zu sehen.

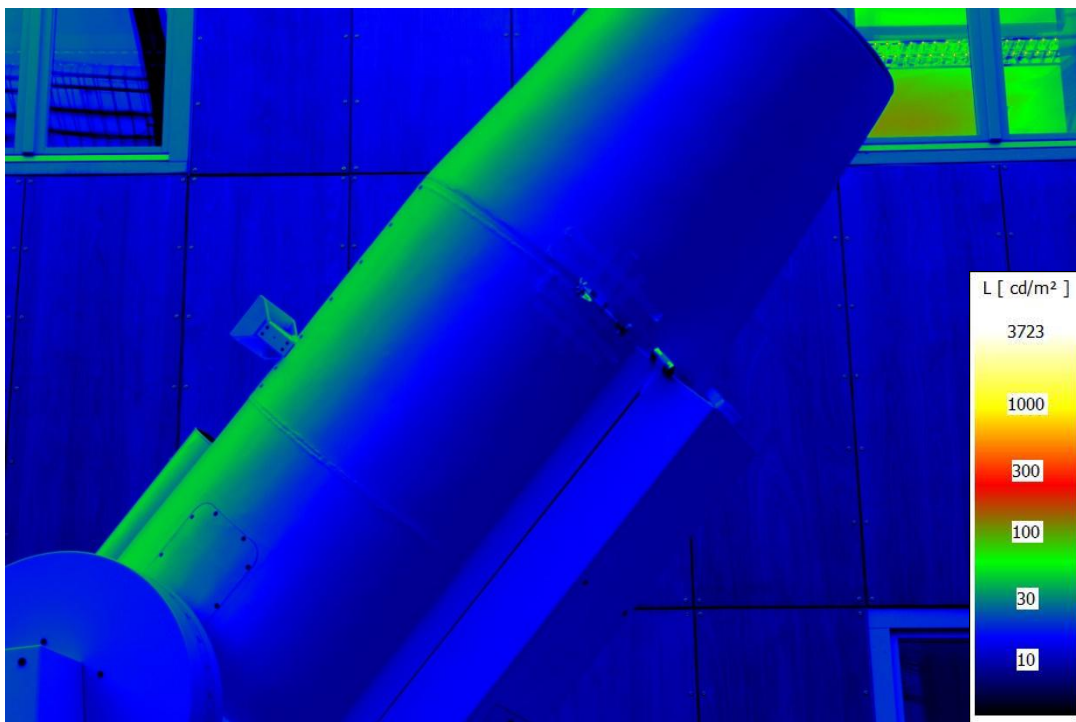


Abbildung 7. 2: Leuchtdichtemessung (22.01.2015 15.47Uhr) - unbeleuchteter Zustand.

Auf dem Leuchtdichtebild ist ersichtlich, dass die Oberseite des Teleskoprohr eine viermal größere Leuchtdichte hat, als auf der Unterseite. Diese lichttechnischen Parameter sind bei der Konzipierung der Leuchte mit ein zu beziehen. Die hier vorhandene Beleuchtungssituation kann umgangssprachlich als trüber, dunkler Tag eingestuft werden.

Bei der zweiten Messung, am 02.04.2015 um 11.45 Uhr waren auf dem Gerät wesentlich höhere Leuchtdichten als bei der ersten Messung vorhanden. An diesem Tag wurden auf dem Gerät Leuchtdichten von ca. $L = 200 \dots 900 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ gemessen. Auf der Oberseite waren Leuchtdichten von rund $L_0 = 900 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ vorhanden. Dies ist auf dem Diagramm (Anhang A) ersichtlich. Das Bild (Abbildung 7.3) zeigt das Leuchtdichte Bild von diesem Tag.

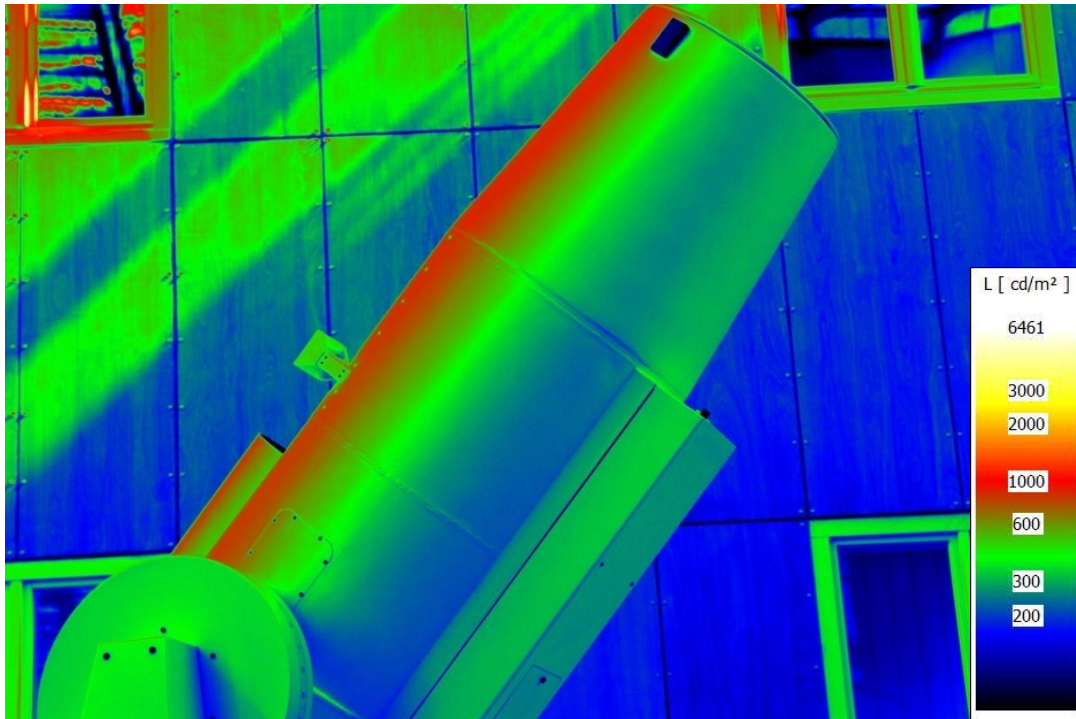


Abbildung 7. 3: Leuchtdichtemessung (02.04.2015 11.45Uhr) - unbeleuchteter Zustand

6.3 Lichtstärkeverteilung auf dem Rohr

Die Ausrichtung der LEDs (bzw. des Moduls) auf die Fläche des Rohres weist einige Besonderheiten auf. Die Lichtquelle ist nah am Gerät und strahlt unter einem stumpfen Winkel auf die zu beleuchtende Fläche. Hinzu kommt, dass die zu beleuchtende Fläche eine Krümmung von $R_T = 310 \text{ mm}$ hat. Diese Krümmung beeinflusst den Projektionswinkel γ_2 .

Da die LED eine genügend kleine leuchtende Fläche hat, kann hier das quadratische Entfernungsgesetz angewendet werden:⁴

$$E = \frac{I}{r^2} * \cos(\gamma_2) * \Omega_0 \quad (7.1)$$

Die Lichtstärke I ist richtungsabhängig. Die Lichtstärkeverteilung wird über die LVK beschrieben. Diese LVK ist von der jeweiligen LED und deren Optik abhängig. Bei der Beschreibung der Lichtstärke muss darauf geachtet werden, dass die LVKs nicht ideal rotationssymmetrisch ist.

Bei der Messung werden die Leuchtdichten auf dem Gerät aufgenommen. Unter der Annahme dass die Fläche eine Lambert-Charakteristik aufweist kann folgende Formel für die Beschreibung der Leuchtdichte genutzt werden:

$$L = \frac{E * \rho_{\text{diff}}}{\pi * \Omega_0} \quad (7.1)$$

ρ_{diff} - Reflexionsgrad

Den Wirkungsgrad der Fläche kann mit $\rho_{\text{diff}} = 0,5$ angenommen werden. Setzt man das quadratische Entfernungsgesetz nun in die Gleichung für den Lambertstrahler ein erhält man:

$$L = \frac{\frac{I}{r^2} * \cos(\gamma_2) * \Omega_0 * \rho_{\text{diff}}}{\pi * \Omega_0} \quad (7.3)$$

An dieser Stelle muss darauf geachtet werden dass I eine Abhängigkeit zum Abstrahlwinkel γ_1 besitzt und somit als $I(\gamma_1)$ notiert. Desweiteren kürzt sich Ω_0 aus der Formel (7.3) raus.

⁴ GALL, Dietrich: Grundlagen der Lichttechnik. Kompendium, Pflaum, Ilmenau 2007 S. 39

In der Abbildung 7.4 und 7.5 ist die Geometrie der Beleuchtung skizziert. Hier wurden die Winkel γ_1 und γ_2 in ihre Anteile zerlegt. Die Zerlegung dient der besseren Veranschaulichung. Die Lichtstärke $I(\gamma_1)$ wird mit dem Winkel γ_1 beschrieben, der dem Winkel zum Strahl I_0 entspricht.

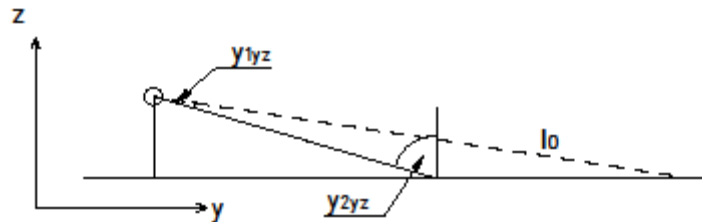


Abbildung 7. 4: Skizzierte Anordnung der Leuchte auf der Oberfläche des SBG. Ansicht: YZ-Ebene.

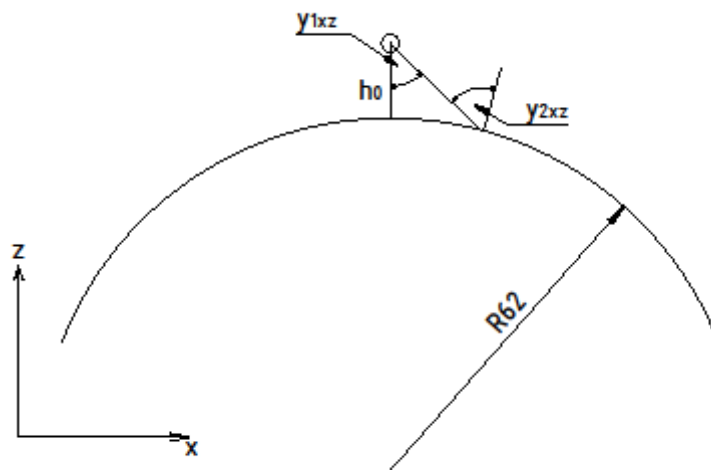


Abbildung 7. 5: Skizzierte Anordnung der Leuchte auf der Oberfläche des SBG. Ansicht: XZ-Ebene.

In den Skizzen steht die Bezeichnung R_{62} für den Radius des SBG von $R_T = 620$ mm. Das Maß h_0 ist der Abstand des LED-Moduls zum SBG und wird mit $h_0 = 50$ mm angesetzt. Dieses Maß kann je nach Justierlage abweichen.

Alle späteren Helligkeitsverläufe wurden so festgelegt, dass sie in die YZ-Ebene liegen und die Betrachtung senkrecht unterhalb der Leuchte stattfindet. Eine genaue Rechnung der von der Lichtstärke auf die Leuchtdichte macht praktisch keinen Sinn, da zu viele Umgebungsfaktoren mit einfließen.

6.4 Messungen

6.4.1 erste Messung 22.01.2015 15.47 Uhr

Um die mindestens benötigte Leuchtdichte am SBG und den LED-Typ zu ermitteln, wurde eine Messung mit der Leuchtdichtekamera am Gerät durchgeführt. Hierzu wurden verschiedene Testplatinen erstellt. Diese Platinen dienten dabei weniger dem Vergleich der unterschiedlichen Typen an LEDs, als einer Mittellung der ermittelten benötigten Leuchtdichte.

Es wurden zwei Messreihen durchgeführt. Für beide Messreihen wurden die Testplatinen an der Übergangszone von zylindrische- zur kegelförmigen Bauform angebracht. Die Messreihen unterschieden sich in der Ausrichtung der Testplatinen. Bei der ersten Messreihe wurde die Platine in Richtung des Zylinderkörpers ausgerichtet. Bei der anderen Messung wurde mit der Platine der kegelförmige Öffnungsbereich beleuchtet. In beiden Messreihen wurden fünf verschiedene Zustände je zweimal gemessen. Es wurden vier Testplatinen und der Ausgangszustand (ohne Testplatine) gemessen. Für die Messung einer Leuchtdichte nimmt die mobile Leuchtdichtekamera drei Bilder mit verschiedenen Beleuchtungszeiten auf. Um die Messung zu optimieren wurde jeweils eine weitere Aufnahme mit stark verringerter Belichtungszeit durchgeführt. Die erste Belichtungszeit wurde über die Kamera bestimmt. Es wurde eine für die Kamera optimale Belichtungszeit angezeigt. Diese wurde für die erste Aufnahme eingestellt. Bei der zweiten Messung wurde eine deutlich niedrigere Belichtungszeit gewählt. Es wurde dabei kein konstanter Faktor verwendet um welchen die Belichtungszeit verringert wurde. Die Bilder mit geringerer Belichtungszeit dienen dem Programm um Überbelichtete Stellen aus zu gleichen.

Bei der Auswertung werden beide Messung, also zweimal drei Aufnahmen, vom Programm übereinander gelegt und daraus ein Leuchtdichtebild erstellt. In diesem Bild kann die Leuchtdichte an jedem Punkt ausgegeben werden.

6.4.1.1 Messwerte

Es wurden bei der Beleuchtung folgende Belichtungszeiten verwendet:

Messposition 1:

Nr.	Verwendete LED	Belichtungszeit 1	Belichtungszeit 2
1	Osram TOPLED	0"5 s	1/50 s
2	Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D	0"5 s	1/50 s
3	Keine LED	0"8 s	1/8 s
4	Osram Golden Dragon Plus	0"4 s	1/40 s
5	Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC	0"5 s	1/50 s

Messposition 2:

Nr.	Verwendete LED	Belichtungszeit 1	Belichtungszeit 2
6	Osram TOPLED	0"6 s	1/60 s
7	Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D	0"6 s	1/60 s
8	Keine LED	0"8 s	1/80 s
9	Osram Golden Dragon Plus	0"5 s	1/50 s
10	Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC	0"5 s	1/50 s

Als Messwerte für die Leuchtdichten sind aus den folgenden Leuchtdichtebildern (Abbildung 7.6 bis 7.15) zu entnehmen. Die Reihenfolge entspricht der Nummerierung der Belichtungszeiten. Alle Skalierungen wurden Manuel eingestellt und auf den Bereich der aus dem Rohr vorhandenen Mantelflächen angepasst.

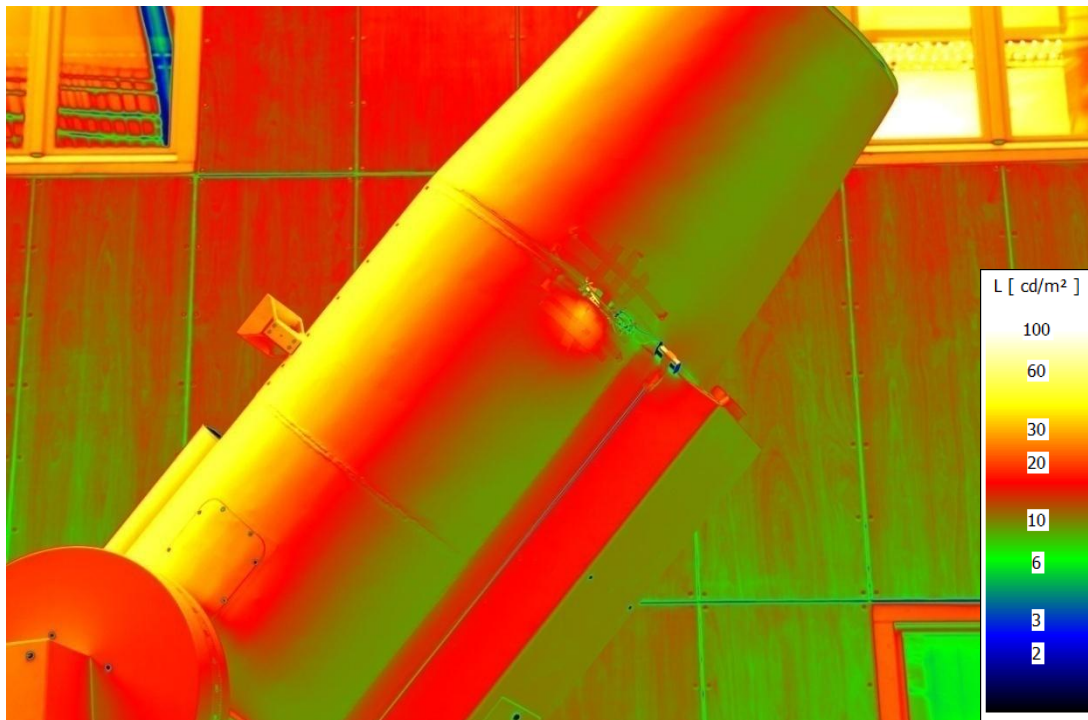


Abbildung 7. 6: Leuchtdichtemessung Position 1 - Osram TOPLED

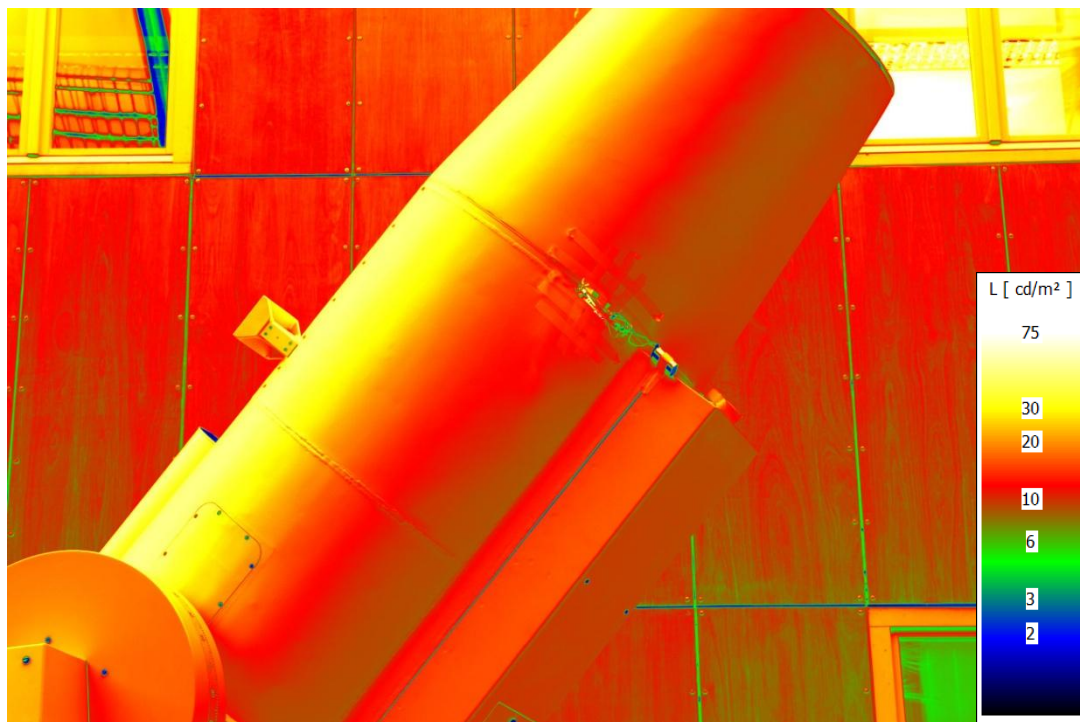


Abbildung 7. 7: Leuchtdichtemessung Position 1 - Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D.

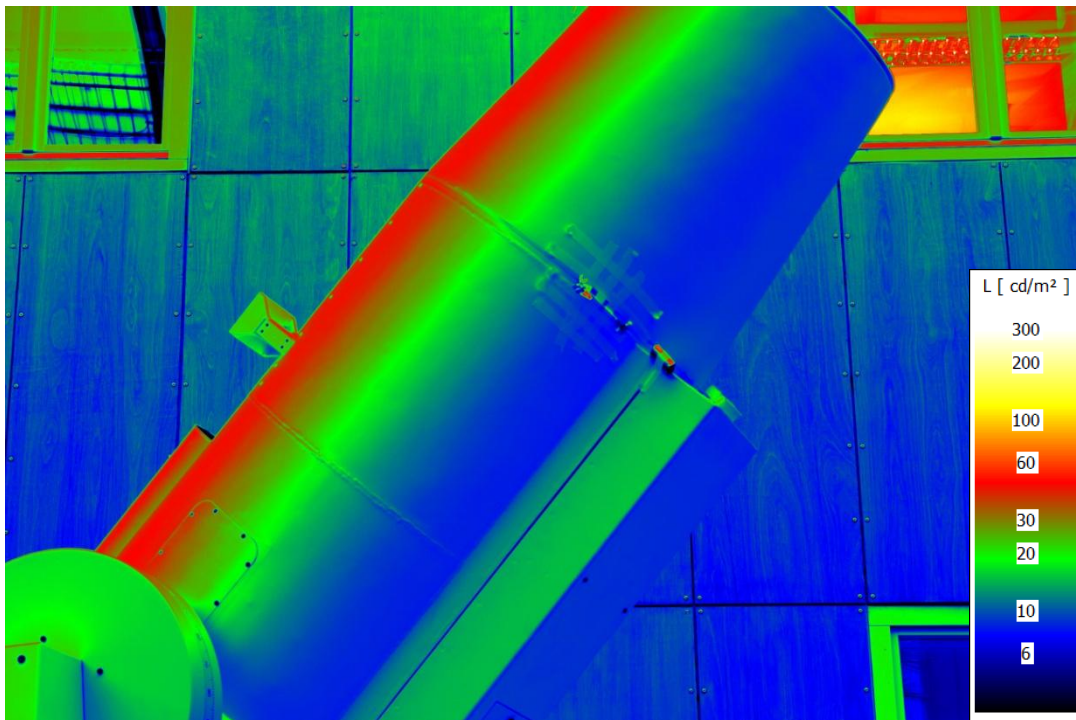


Abbildung 7. 8: Leuchtdichtemessung Position 1 - unbeleuchteter Zustand

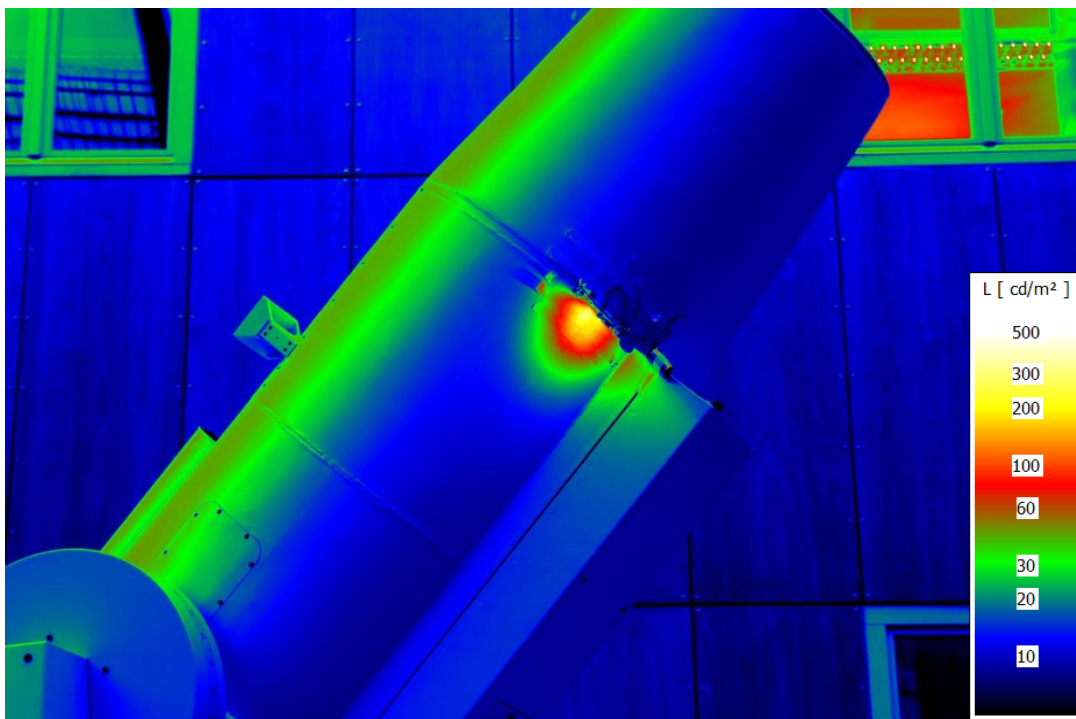


Abbildung 7. 9: Leuchtdichtemessung Position 1 - Osram Golden Dragon Plus.

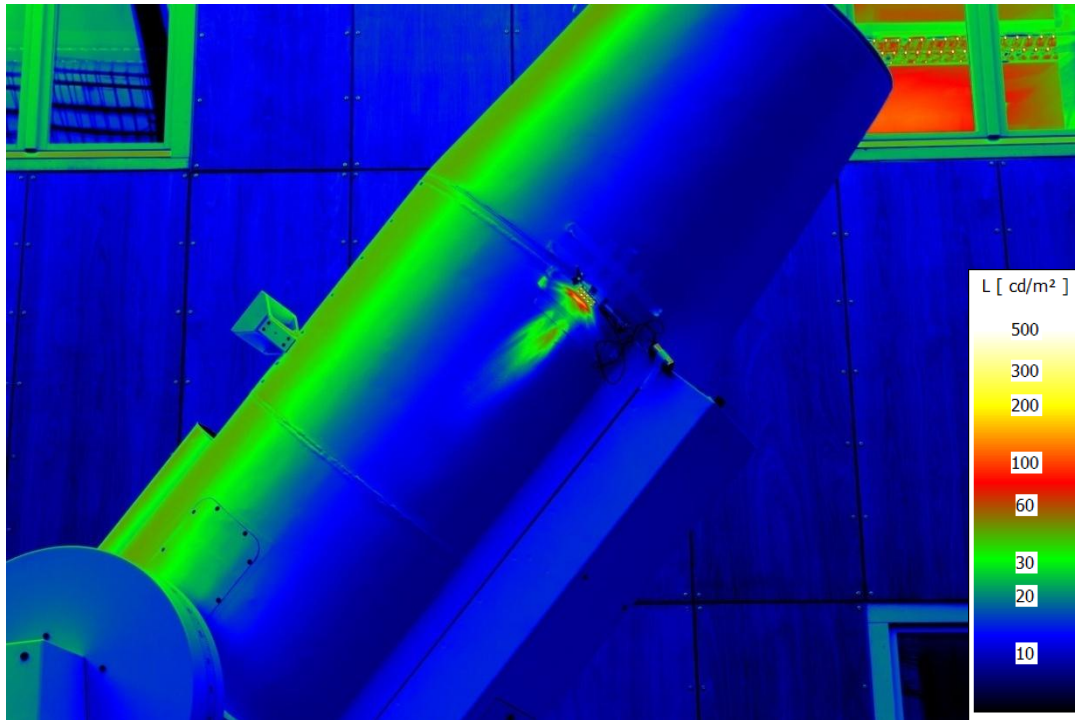


Abbildung 7. 10: Leuchtdichtemessung Position 1 - Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC.

Die Abbildungen 7.6 bis 7.10 zeigen die vier Testplatinen und den unbeleuchteten Zustand an der ersten Messposition.

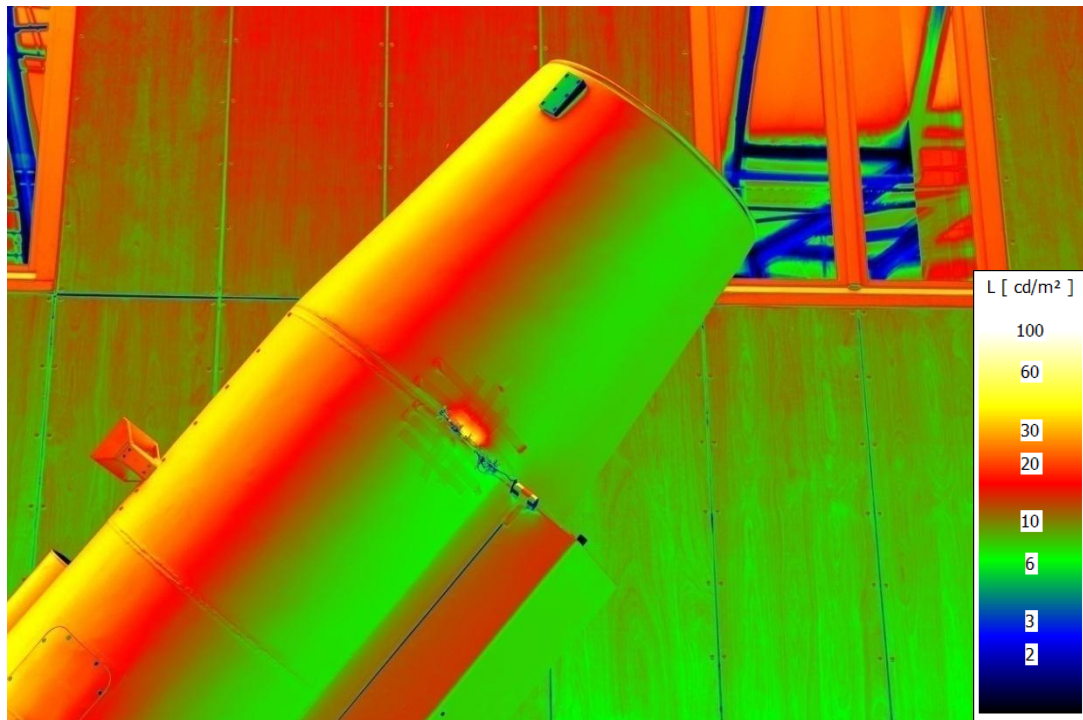


Abbildung 7. 11: Leuchtdichtemessung Position 2 - Osram TOPLED.

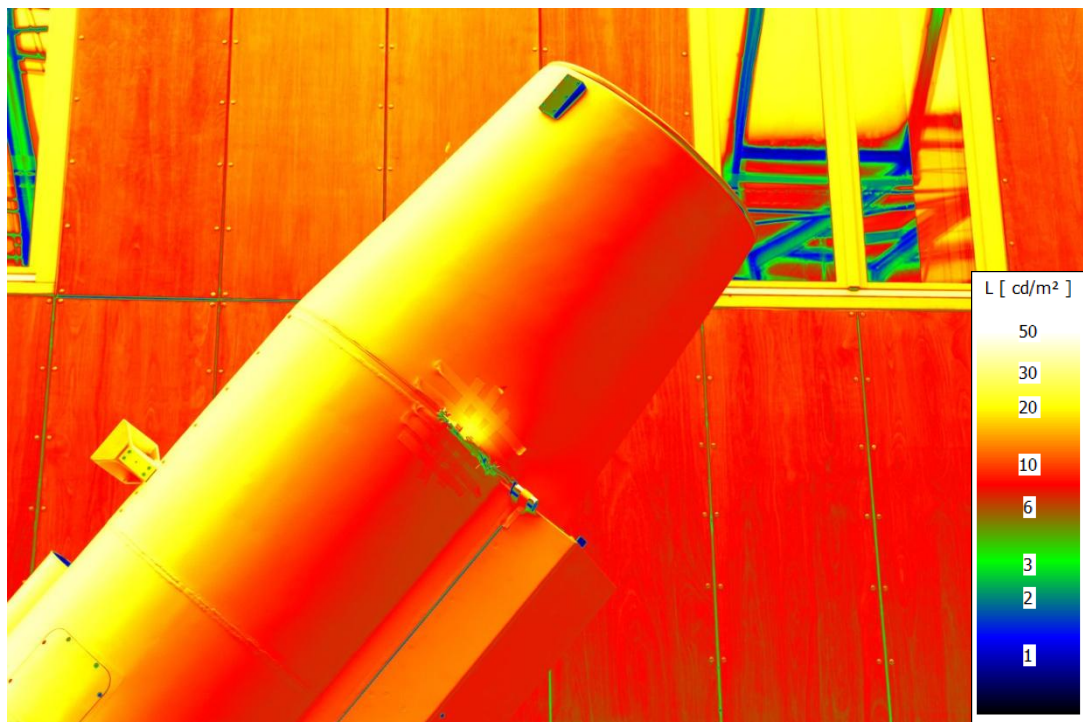


Abbildung 7. 12: Leuchtdichtebild Position 2 - Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D.

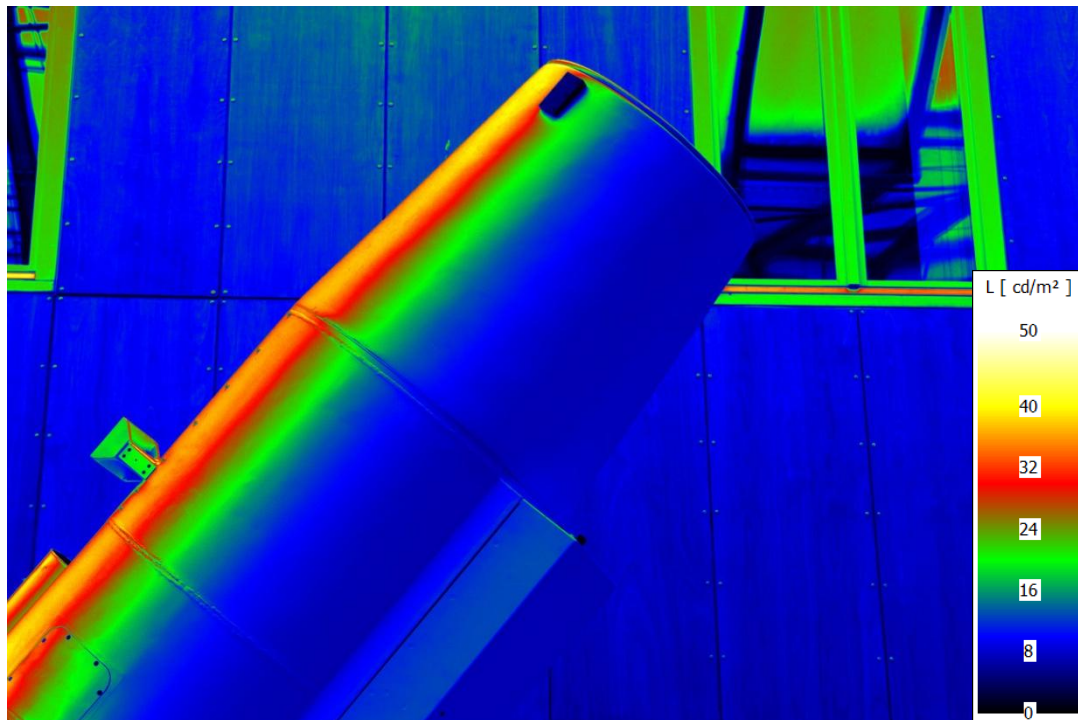


Abbildung 7. 13: Leuchtdichtemessung Position 2 - unbeleuchteter Zustand.

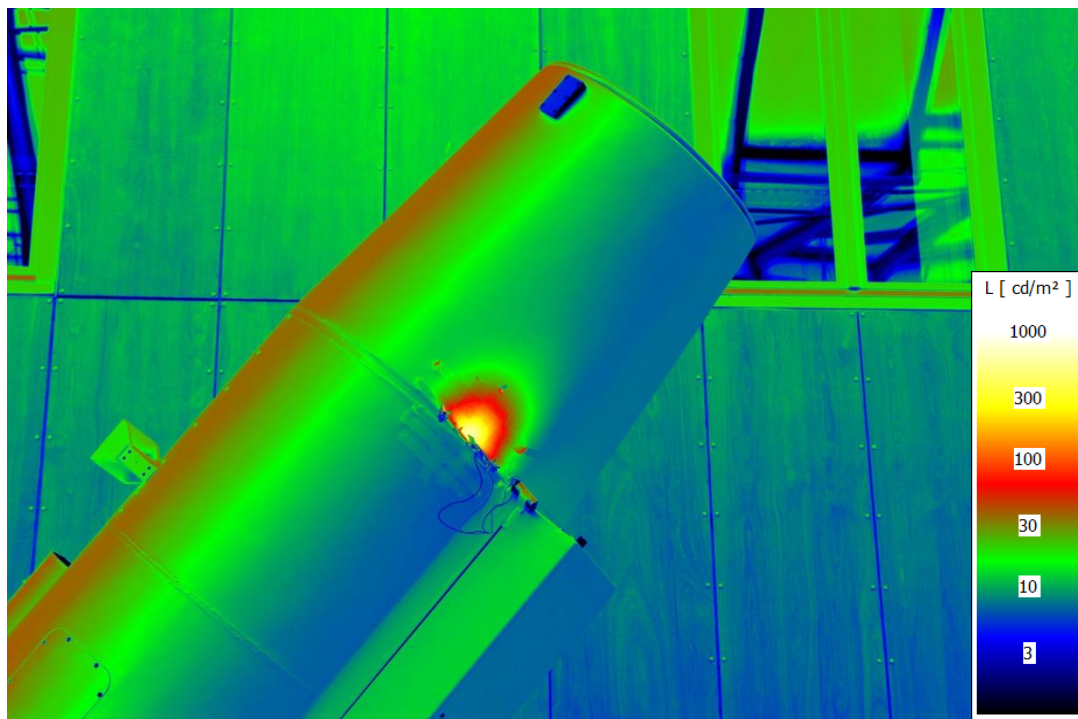


Abbildung 7. 14: Leuchtdichtemessung Position 2 - Osram Golden Dragon Plus.

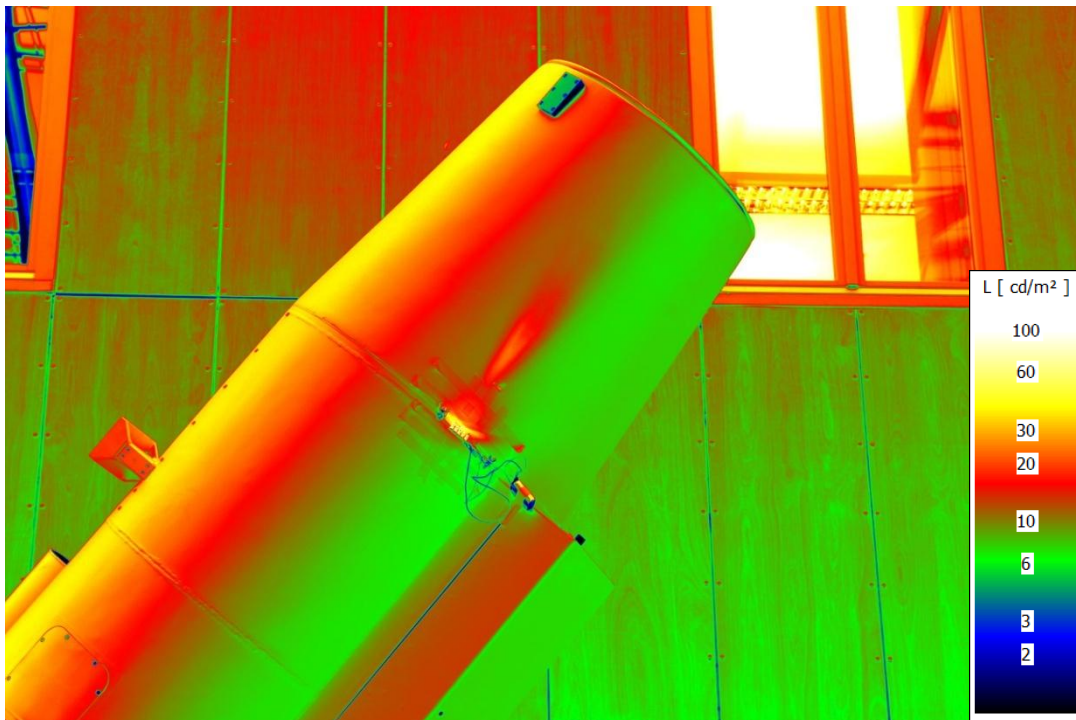


Abbildung 7. 15: Leuchtdichtemessung Position 2 - Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC

Auf den Bildern ist die Leuchtdichteverteilung der unterschiedlichen Testplatten ersichtlich. Alle Testplatten wurden unter annähernd demselben Winkel zum Rohr ausgerichtet. Anhand dieser Leuchtdichteverteilungen kann eine erste Abschätzung getroffen werden welche Eigenschaften das optimale LED-Modul haben sollte.

6.4.1.2 Helligkeitsverläufe entlang einer Messgeraden durch die Testplatine:

In der Auswertesoftware LMK LabSoft werden die Leuchtdichtebilder erstellt und ausgewertet. In das Leuchtdichtebild können Linien gelegt werden. Entlang dieser Linien kann ein Grauwertbilschnitt (Abbildung 7.16 bis 7.20) durchgeführt werden.

Bei der Auswertung der Leuchtdichtebilder wurden die Linien parallel zu der Zylinderachse und durch die Testplatten gelegt. Dabei sind folgende Grauwertbilschnitte herausgekommen:

1. Osram TOPLED:

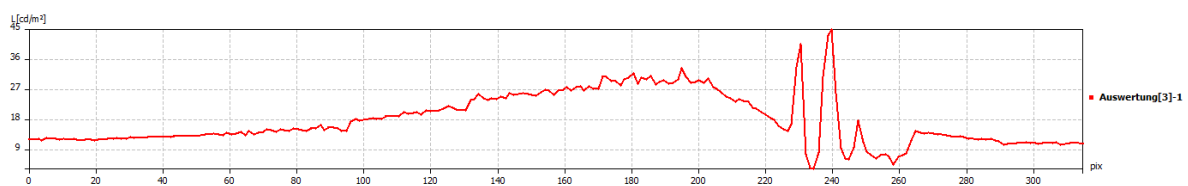


Abbildung 7. 16: Grauwertbilschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{\text{Max}}=45,02 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$

2. Kingbright SMD-LED KPTD-3216QBC-D:

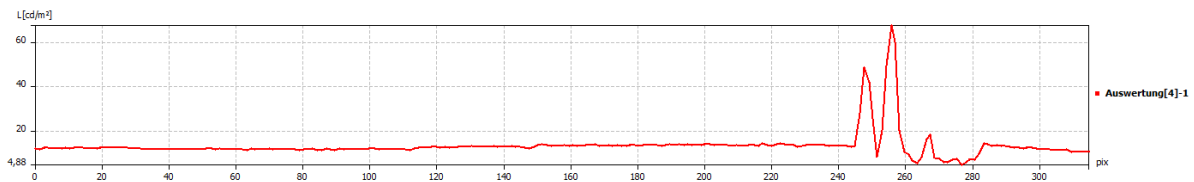


Abbildung 7. 17: Grauwertbilschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{\text{Max}}=67,57 \text{ cd/m}^2$

3. Keine LED:

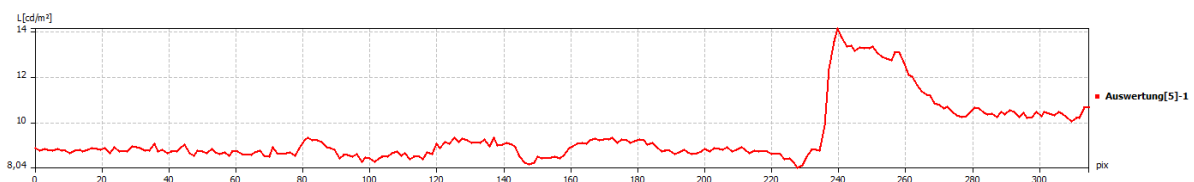
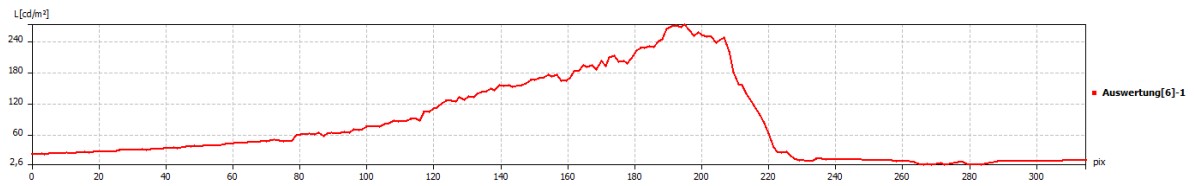


Abbildung 7. 18: Grauwertbilschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{\text{Max}}=14,15 \text{ cd/m}^2$

4. Osram Golden Dragon Plus:

Abbildung 7. 19: Grauwertbildschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{Max}=273,7 \text{ cd/m}^2$

5. Kingbright LL-504BC2E-B4-2CC:

Abbildung 7. 20: Grauwertbildschnitt - Maximale Leuchtdichte $L_{Max} = 364,8 \text{ cd/m}^2$

Tabelle 7. 1: Grauwertbildschnitttabelle

Stat.Nr.	Min	Max	Mittelwert	Streuung
1	3,451	45,02	18,02	7,615
2	4,883	67,57	13,43	6,431
3	8,044	14,15	9,461	1,302
4	2,554	273,7	80,33	79,25
5	11,56	364,8	41,26	44,7

Die angegebenen Mittelwerte sind in vier von fünf Fällen nicht aussagekräftig, da jede Leuchte eine andere Abstrahlcharakteristik hat und die Messstrecke bei allen gleich lang gewählt wurde. Der Mittelwert Nr. 3 ist insoweit relevant, als dass er die Leuchtdichte im unbeleuchteten Zustand angibt.

6.4.1.3 Auswertung der Helligkeitskurven mit Leuchten

Die Kurven der Testdioden lassen Rückschlüsse auf die benötigten Leuchtdichten zu. Bei der Auswertung werden die Verläufe und die maximalen Leuchtdichten verglichen. Um vergleichbare Werte zu erhalten, wurde die Länge und Neigung der Messgeraden bei allen Bildern gleich gewählt. Die relative Lage der Geraden zu den unterschiedlichen Bildern weicht ab, somit können die Orte der Maxima nicht verglichen werden.

6.4.1.4 Auswertung der Helligkeitskurven ohne Leuchten

Um eine sichere Bestimmung der benötigten Leuchtdichte treffen zu können, wurden mehrere Messungen am unbeleuchteten Gerät vorgenommen. Es wurden drei Helligkeitsverläufe entlang der Rohrfläche aufgenommen. Der Helligkeitserlauf parallel zum Rohr wurde im vorherigen Abschnitt bereits aufgezeigt.

Betrachtet man den Helligkeitsverlauf entlang um die Mantelfläche ist ein deutlicher Unterschied zwischen Unterseite (Abbildung 7.22) und Oberseite (Abbildung 7.21) zu messen.

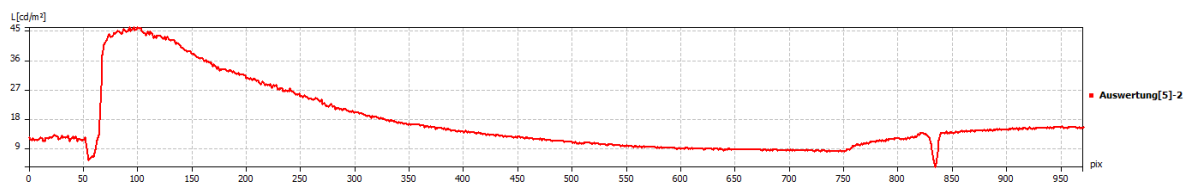


Abbildung 7. 21: Grauwertbildschnitt Oberseite.

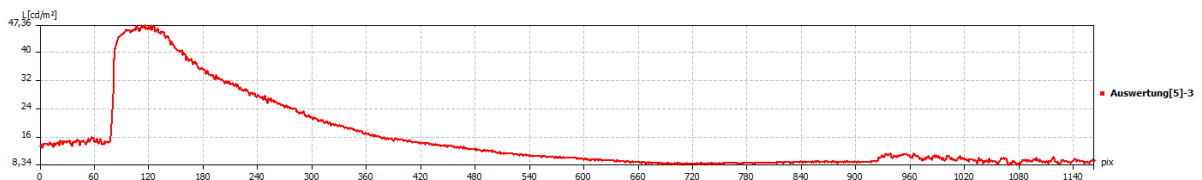


Abbildung 7. 22: Grauwertbildschnitt Unterseite.

Aus den beiden oben gezeigten Graphen ist zu sehen, dass die Leuchtdichte ein Maximum von $47,56 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ erreicht. Dieser Wert wird auf der Oberseite erreicht. Auf der Unterseite ist eine durchschnittliche Leuchtdichte von $9,6 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ vorhanden. Um einen ausreichend großen Kontrast zu erhalten, muss mindestens der Wert von $47,56 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ überschritten werden. Da die Leuchtdichten von Unter- und Oberseite sich rund um den Faktor 5 unterscheiden, wird darauf verzichtet, die Beleuchtung so zu dimensionieren, dass die größte vorhandene Leuchtdichte um den Faktor drei überstiegen wird. Daher wird hier bewusst darauf verzichtet die Oberseite mit einem ähnlich starken Kontrast zu beleuchten wie die Unterseite.

6.4.2 zweite Messung 02.04.2015 11.45 Uhr

Bei der zweiten Messung wurden die Leuchtdichten auf dem Satellitenbeobachtungsgerät unter Verwendung der in Frage kommenden LED-Module aufgenommen. Die verwendeten Module sind OSRAM Oslon SSL 80 blue Array und mit verschiedenen Optiken ausgestattet. Ein Modul ist mit 6 High-Power-LEDs bestückt.

Bei dieser Messreihe wurden mit jedem Modul sechs Positionen beleuchtet und vermessen. Alle Messpositionen befinden sich in direkter Nähe der Übergangskante vom zylinderförmigen zum kegelförmigen Teil. Es wurden folgende Positionen unterschieden:

Tabelle 7. 2: Positionen des Moduls am SBG

Pos Nr.	Seite	Höhe	Richtung
1	Unterseite	Erhöht (ca. 4 cm)	Entgegen der Öffnung
2	Unterseite	Direkt am Rohr	Entgegen der Öffnung
3	Oberseite	Erhöht (ca. 2 cm)	Entgegen der Öffnung
4	Unterseite	Erhöht (ca. 4 cm)	Zur Teleskopöffnung
5	Unterseite	Direkt am Rohr	Zur Teleskopöffnung
6	Oberseite	Erhöht (ca. 2 cm)	Zur Teleskopöffnung

Die oben aufgeführten Positionen werden im Folgenden nur noch mit der Positionsnummer benannt. Bei jeder Position sind zwei Bilderserien mit je drei Bildern aufgenommen worden. Eine Bilderserie wurde bei der empfohlenen Belichtungszeit aufgenommen, die zweite bei einer um etwa den Faktor 10 geringeren. Dadurch können eventuelle Übersteuerungen von der Auswertesoftware kompensiert werden.

6.4.2.1 Messwerte:

In den folgenden Abbildungen (7.23 bis 7.46) werden die Leuchtdichtebilder der Messung gezeigt. Es wurden sechs Positionen mit je zwei Optiken ausgenommen. Die angegebenen Positionen entsprechen der aus Tabelle 7.2.

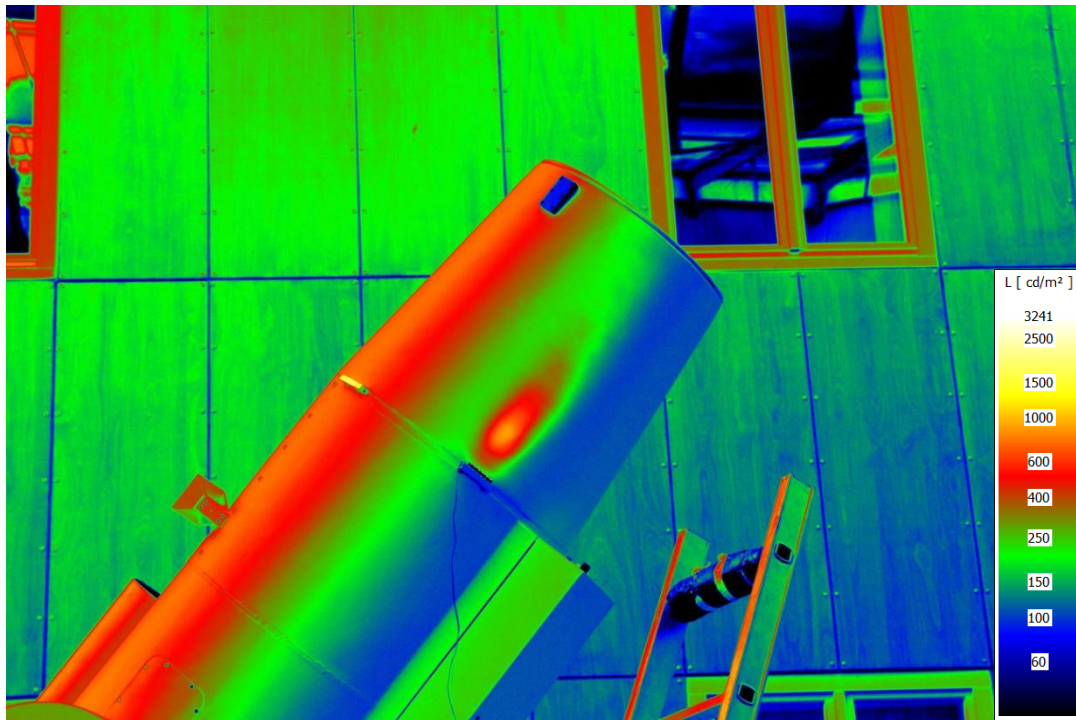


Abbildung 7. 23: Leuchtdichtebild. (Position 4, 16°-Optik)



Abbildung 7. 24: Grauwertschnitt (Position 4, 16°-Optik)

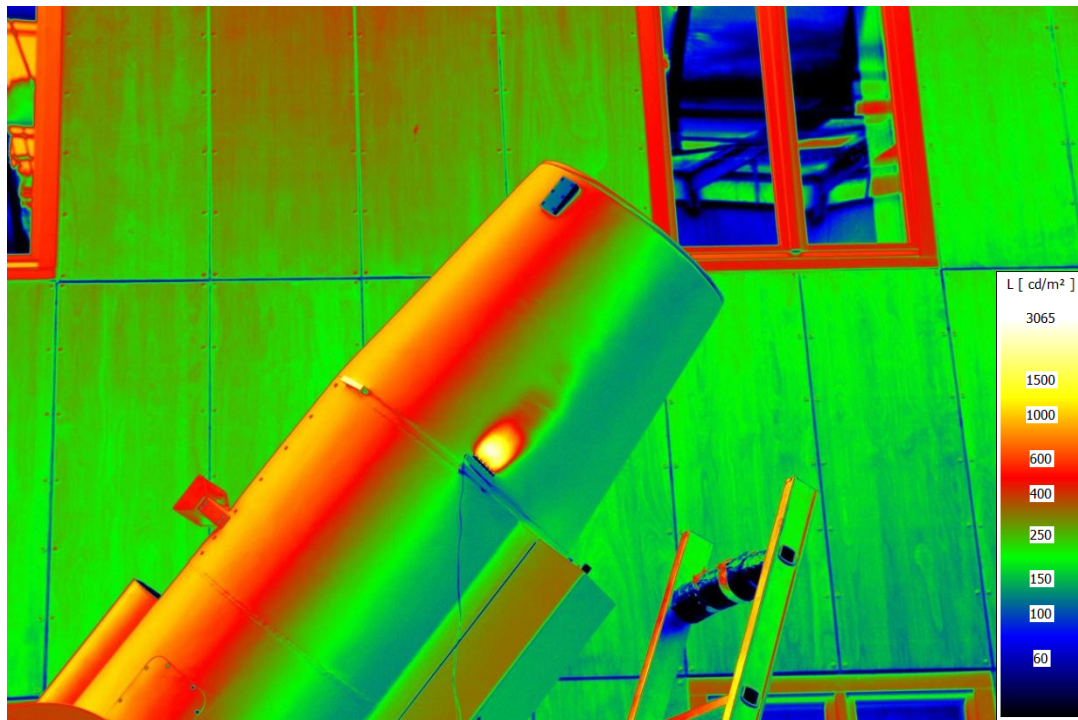


Abbildung 7. 25: Leuchtdichtebild. (Position 5, 16°-Optik)

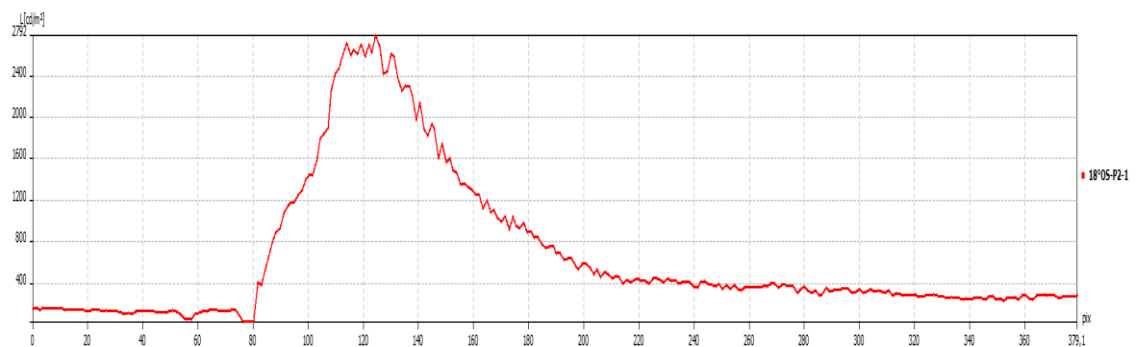


Abbildung 7. 26: Grauwertschnitt. (Position 5, 16°-Optik)

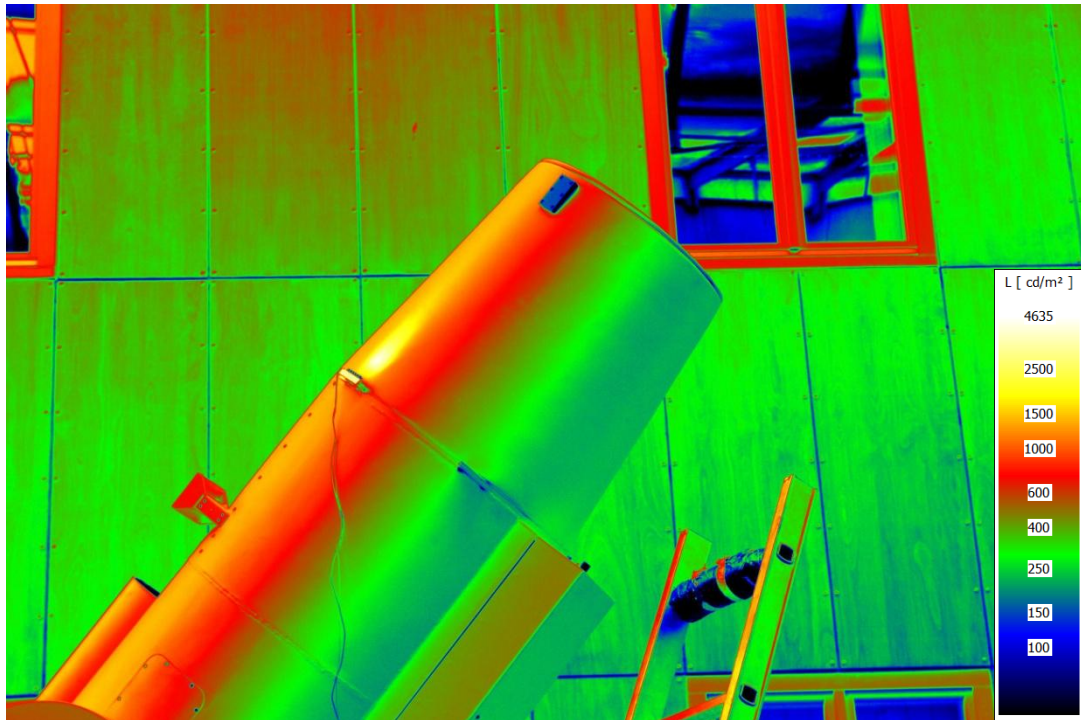


Abbildung 7. 27: Leuchtdichtebild. (Position 6, 16°-Optik)

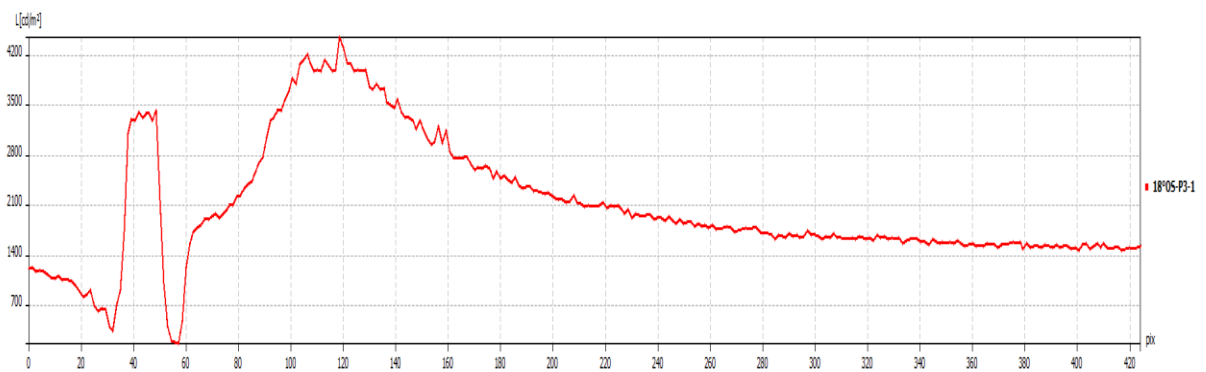


Abbildung 7. 28: Grauwertbildschnitt. (Position 6, 16°-Optik)

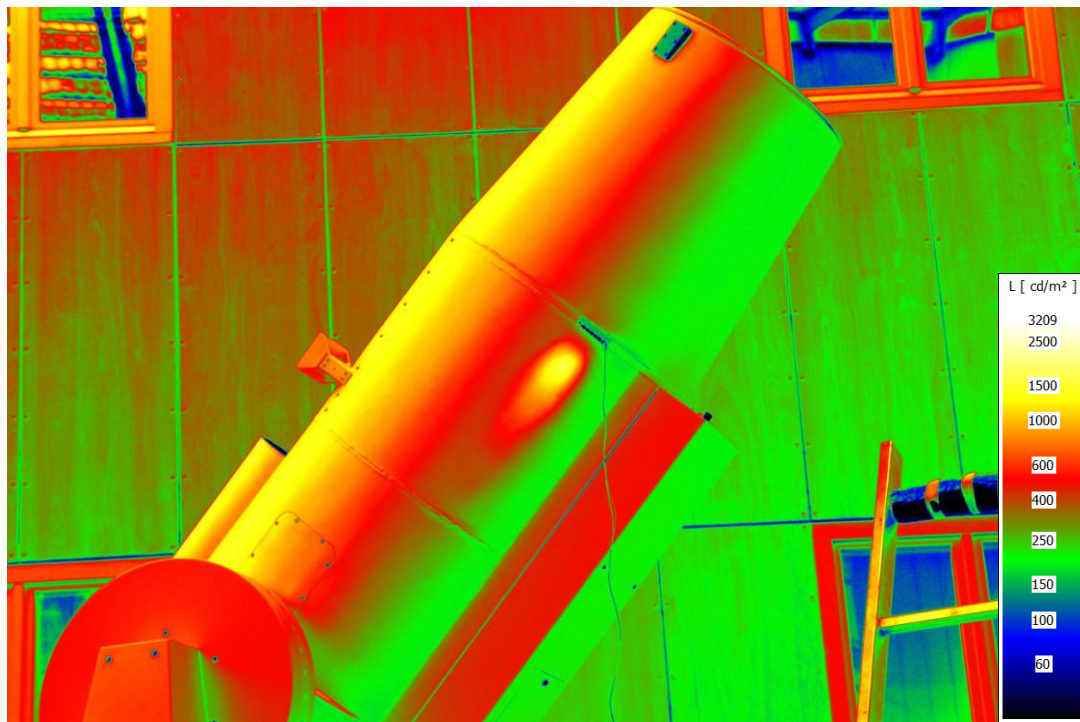


Abbildung 7. 29: Leuchtdichtebild. (Position 1, 16°-Optik)

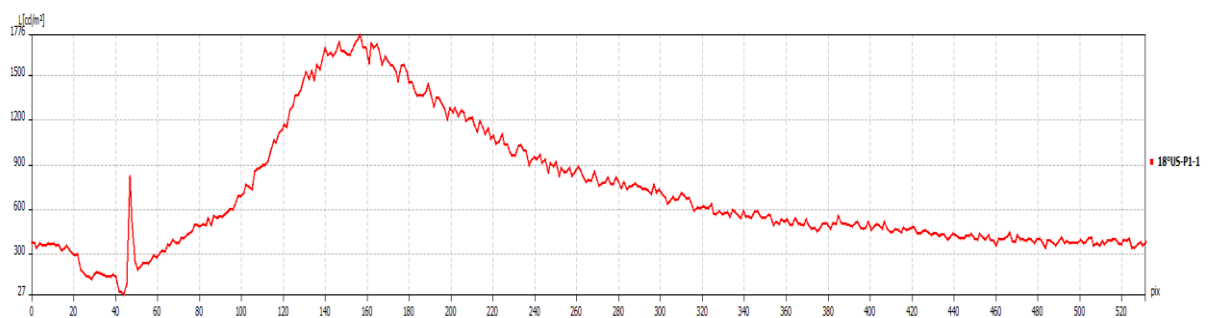


Abbildung 7. 30: Grauwertbildschnitt. (Position 1, 16°-Optik)

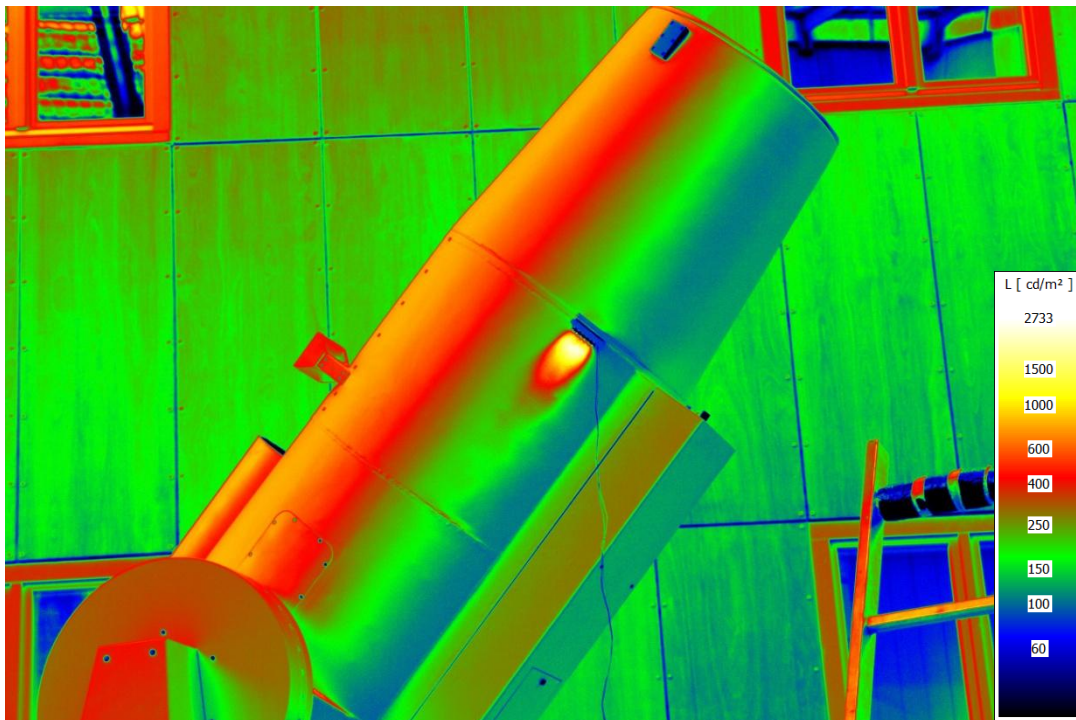


Abbildung 7. 31: Leuchtdichtebild. (Position 2, 16°-Optik)



Abbildung 7. 32: Grauwertschnitt. (Position 2, 16°-Optik)

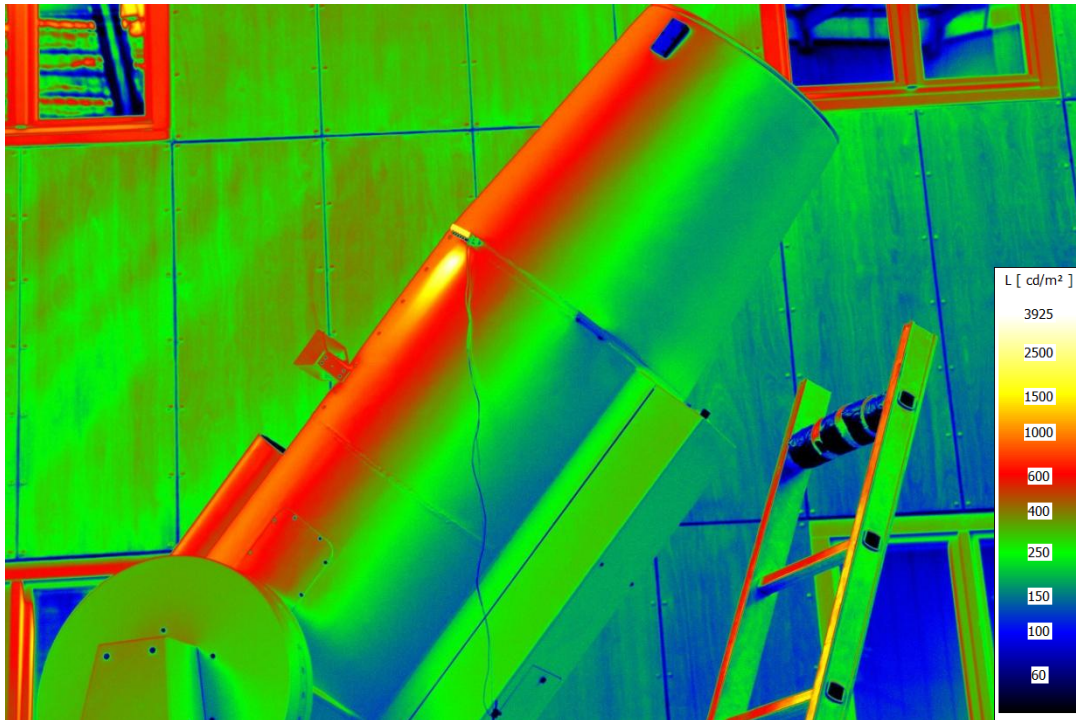


Abbildung 7. 33: Leuchtdichtebild. (Position 3, 16°-Optik)



Abbildung 7. 34: Grauwertschnitt. (Position 3, 16°-Optik)

Das waren alle Positionen für die 16° –Optik. Die nachfolgenden Aufnahmen (Abbildung 7.35 bis 7.46) zeigen die 23° –Optik an allen sechs Positionen. Die Positionen sind Tabelle 7.2 zu entnehmen.

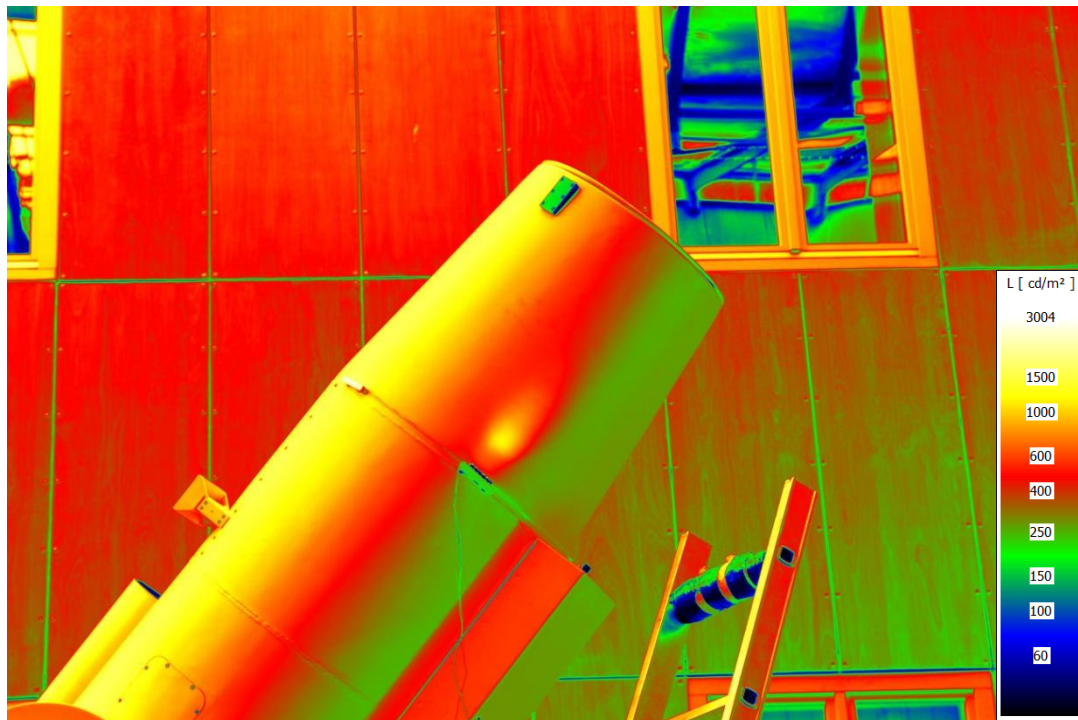


Abbildung 7. 35: Leuchtdichtebild. (Position 4, 23°-Optik)



Abbildung 7. 36: Grauwertbildschnitt. (Position 4, 23°-Optik)



Abbildung 7. 37: Leuchtdichtebild. (Position 5, 23°-Optik)

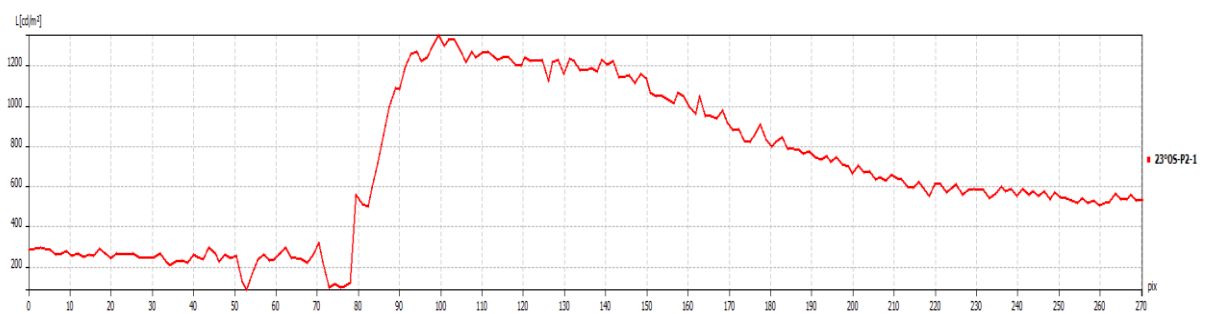


Abbildung 7. 38: Grauwertbildschnitt. (Position 5, 23°-Optik)

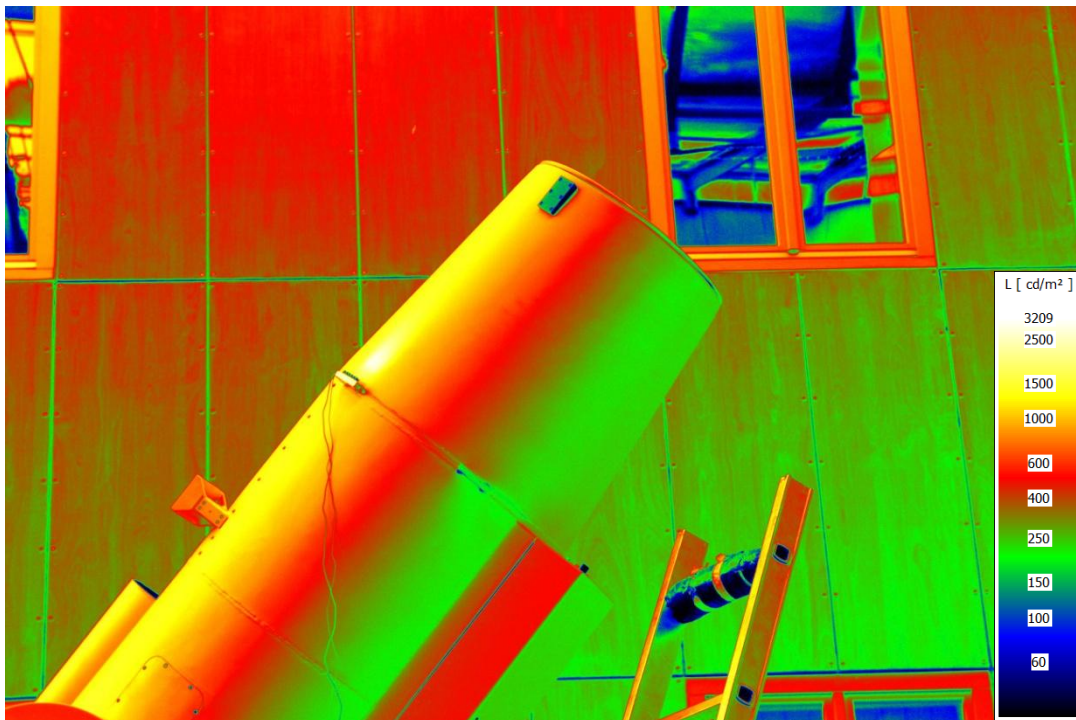


Abbildung 7. 39: Leuchtdichtebild. (Position 6, 23°-Optik)

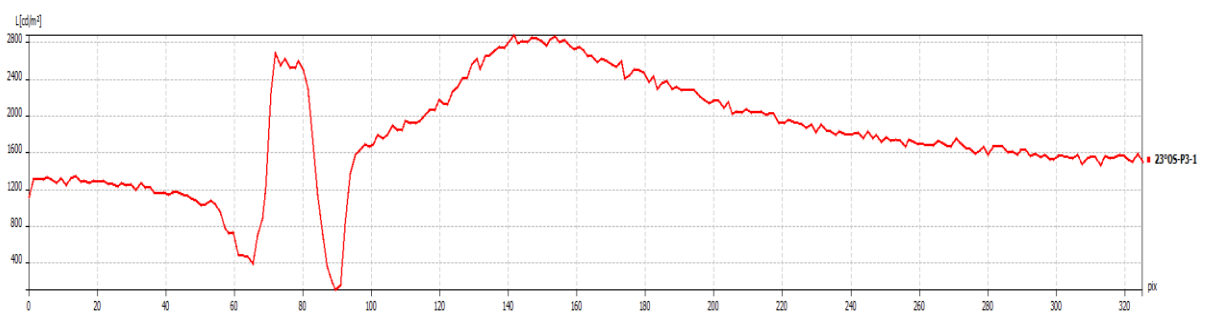


Abbildung 7. 40: Grauwertbildschnitt. (Position 6, 23°-Optik)

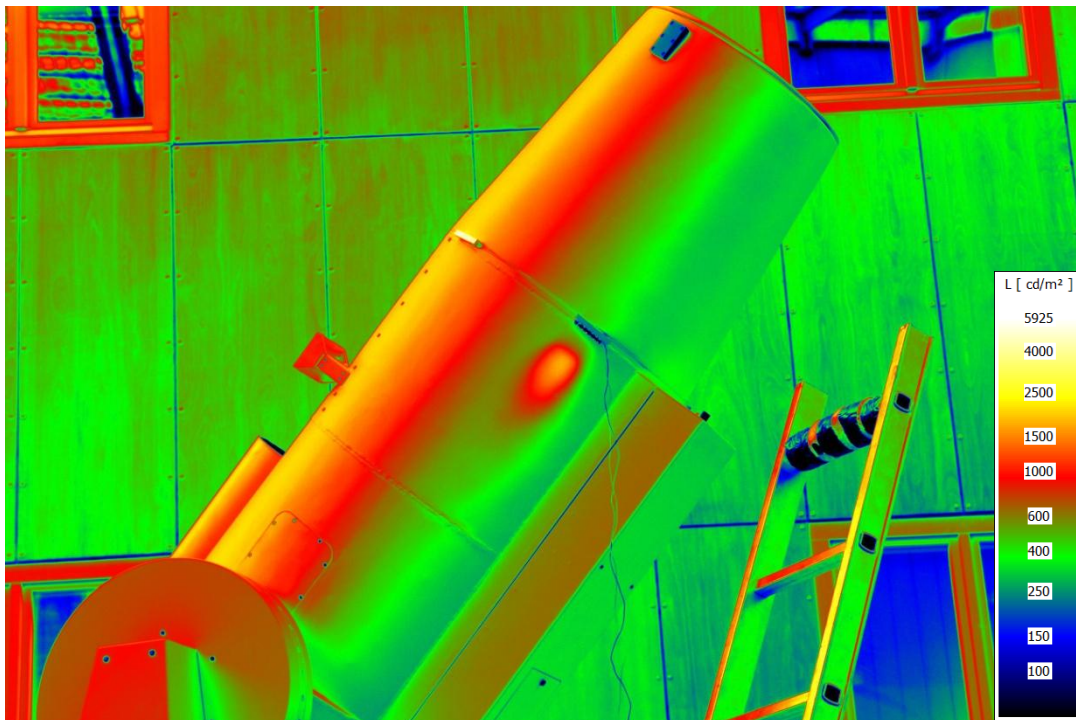


Abbildung 7. 41: Leuchtdichtebild. (Position 1, 23°-Optik)

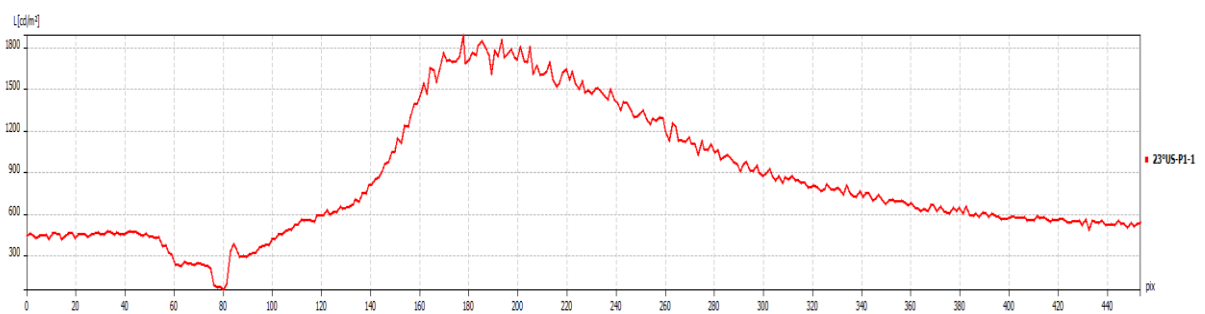


Abbildung 7. 42: Grauwertbildschnitt. (Position 1, 23°-Optik)

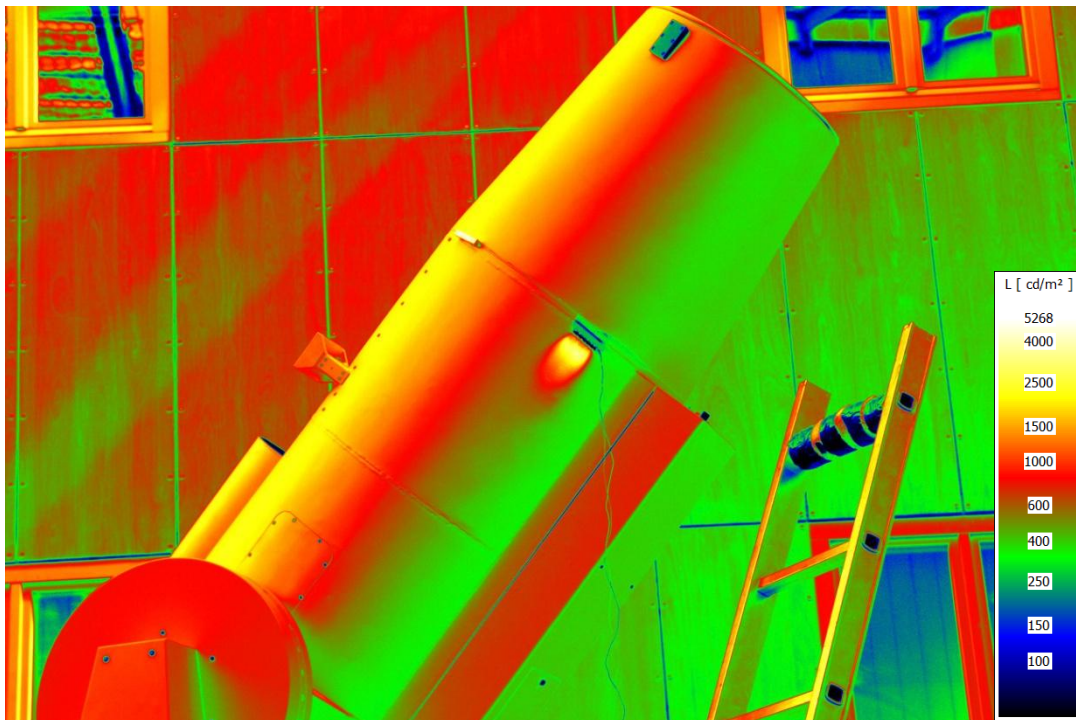


Abbildung 7. 43: Leuchtdichtebild. (Position 2, 23°-Optik)



Abbildung 7. 44: Grauwertbildschnitt. (Position 2, 23°-Optik)

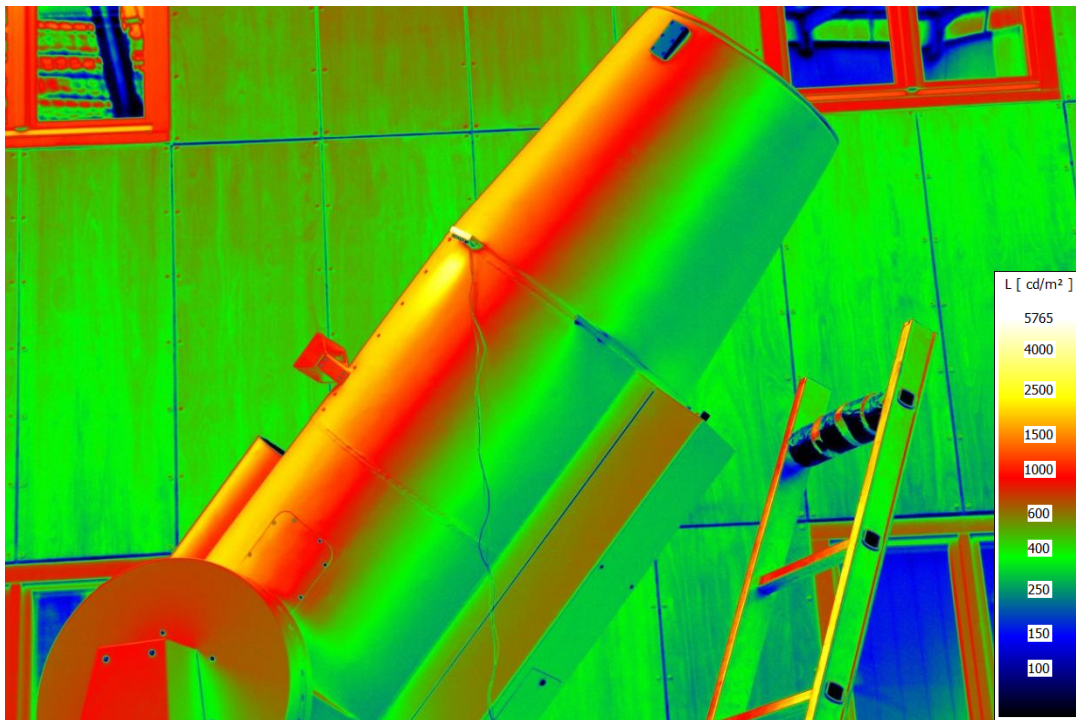


Abbildung 7. 45: Leuchtdichtebild. (Position 3, 23°-Optik)



Abbildung 7. 46: Grauwertbildschnitt. (Position 3, 23°-Optik)

6.4.2.2 Auswertung der Helligkeitskurven ohne Leuchten

Auch bei der zweiten Messung wurden mehrere Aufnahmen vom Gerät ohne Leuchte gemacht. Dieser Tag hatte eine deutlich größere Sonneneinstrahlung als der 22.01.2015, an dem die erste Messung durchgeführt wurde. Die Leuchtdichten auf dem Gerät waren bei der zweiten Messung deutlich größer als die der ersten Messung. Das nachfolgende Diagramm (Abbildung 7.47) zeigt die Leuchtdichten entlang einer Linie die senkrecht auf dem Rohr steht. Das Rohr nimmt im Diagramm in etwa den Bereich von Pixel 200 bis Pixel 850 ein.

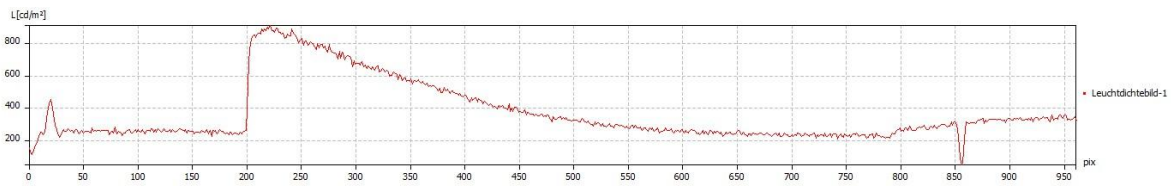


Abbildung 7. 47: Grauwertbildschnitt

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass auf der Oberseite (Pixel 200-250) das Maximum der Leuchtdichte vorhanden ist. Der Wert liegt über $900 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ und ist somit ca. 20-mal größer als das Maximum der ersten Messung.

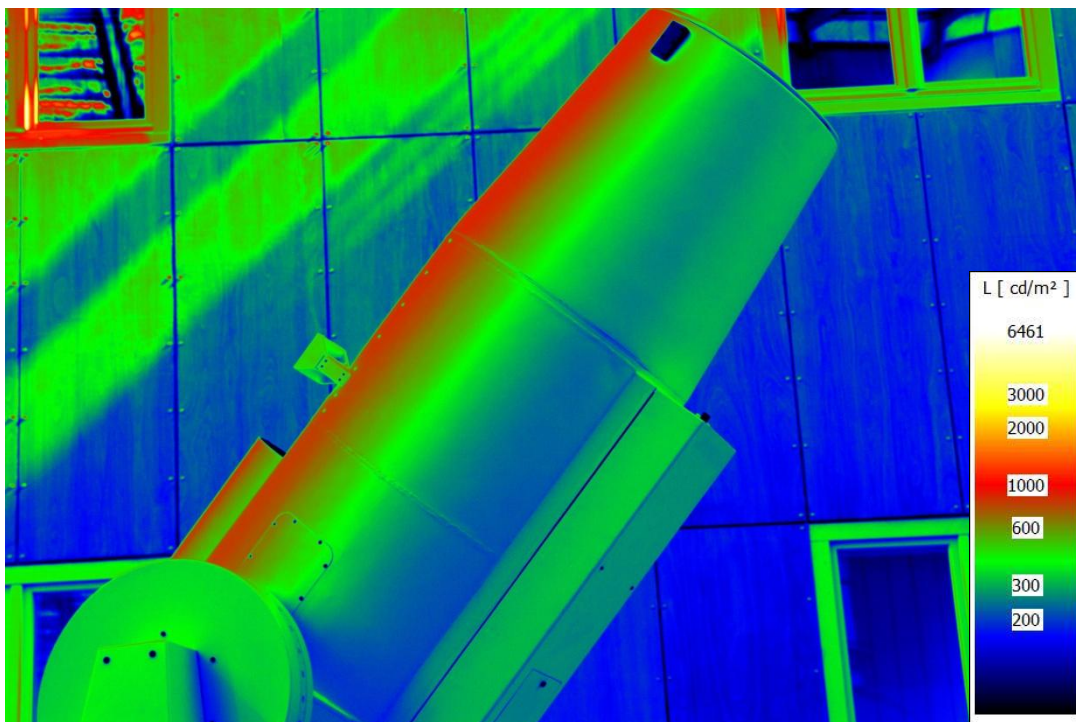


Abbildung 7. 48: Leuchtdichtemessung. 2. Messung (02.04.2015 12.46) Unbeleuchtet.

An dieser Stelle kann gezeigt werden, dass starke Schwankungen der Umgebungshelligkeit während der Messung vorhanden waren. Es wurden zwei Messungen von dem unbeleuchteten Objekt gemacht. Die in Abbildung 7.24 gezeigte Leuchtdichteverteilung wurde 12.34 Uhr aufgenommen. Die auf dem folgenden Bild (Abbildung 7.49) wurde um 11.46 Uhr aufgenommen.

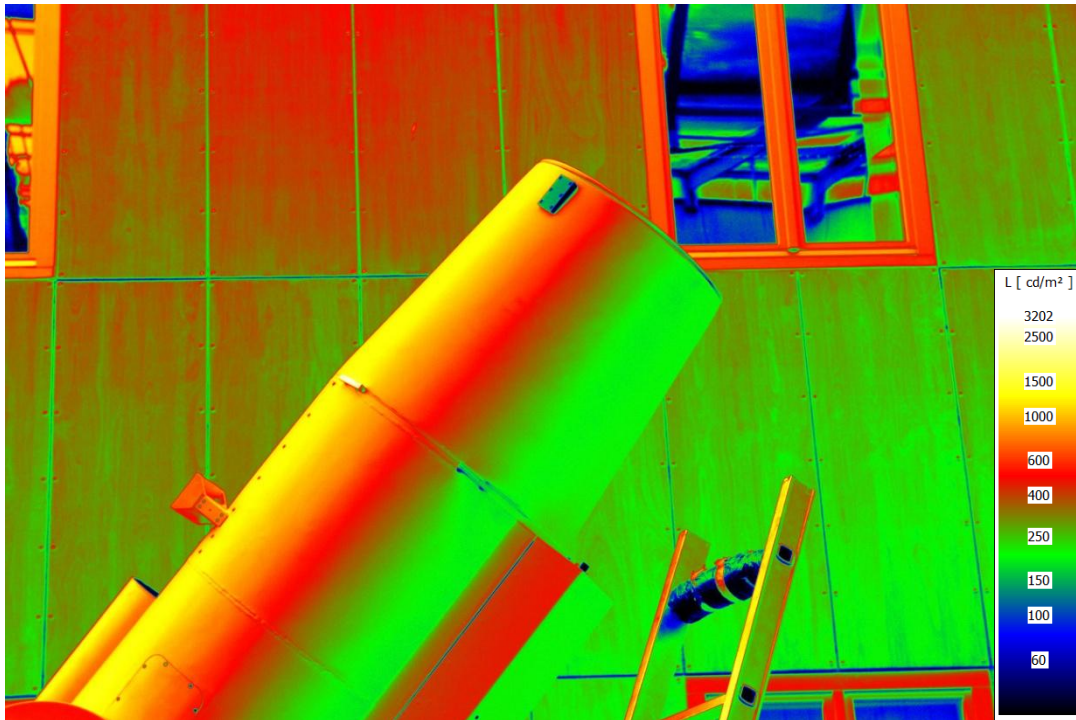


Abbildung 7. 49: Leuchtdichtemessung. 2. Messung (02.04.2015 11.46) Unbeleuchtet.

Zur besseren Visualisierung wurden senkrecht zur Zylinderachse eine Gerade gelegt die den Grauwertbildschnitt (Abbildung 7.26) über diese aufträgt. Die Geraden wurden so gelegt das beide Verläufe annähernd übereinander liegen.

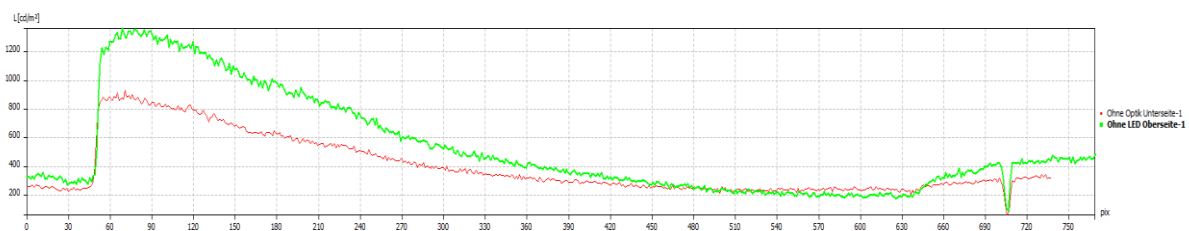


Abbildung 7. 50: Grauwertbildschnitt. Vergleich der zwei Leuchtdichtemessungen ohne Leuchte.

6.4.2.3 Auswertung der Helligkeitskurven mit Leuchte

Um sicher zu stellen, dass das ausgesuchte Modul ausreichend dimensioniert wurde eine Vermessung des Moduls an sechs Positionen durchgeführt. Außerdem wurde ein Vergleich zwischen der 16° Optik und der 23° Optik durchgeführt. Somit konnte die Auswahl der 16° mit Messwerten hinterlegt werden. Bei der zweiten Messung wurden die Grauwertschnitte beigefügt, da so die Unterschiede besser verdeutlicht werden.

Bei Abbildung (7.23 bis 7.34) zeigen die Leuchtdichtebilder und Grauwertschnitte die 16°-Optik ab den sechs verschiedenen Positionen. Die Abbildungen 7.35 bis 7.46 zeigen die 23°-Optik ab den selben 6 Positionen.

Bei den Positionen 2 und 5 wurden die Module direkt auch der Oberfläche angebracht. Dort war die Leuchtdichteverteilung bei beiden Optiken (Abbildung 7.31 und 7.43) nicht optimal verteilt. Im Grauwertschnitt (Abbildung 7.52) ist ein starker Peak (über $2400 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$) und ein steiler Abfall (auf unter $400 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$) der Leuchtdichte zu sehen.

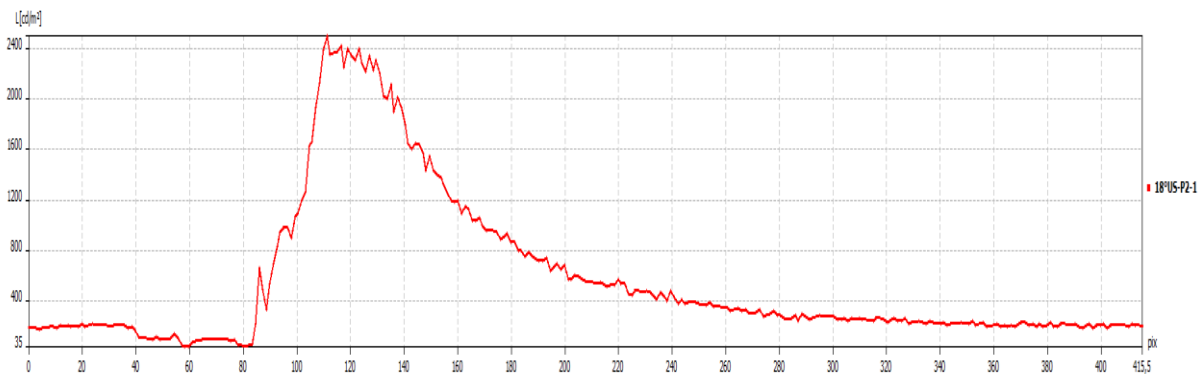


Abbildung 7. 51: Grauwertschnitt. (Position 2, 16°-Optik)

Dies entspricht nicht dem gewünschten Profil. Die Leuchtdichteverteilung parallel zur Zylinderachse des Teleskoprohrs sollte annähernd den Verlauf des Grauwertschnitts von Abbildung 7.52 haben

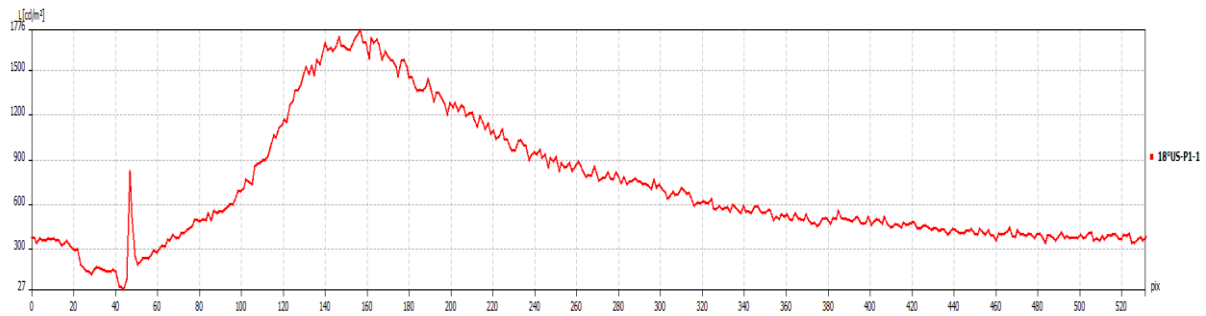


Abbildung 7. 52: Grauwertschnitt. (Position 2, 16°-Optik)

Bei diesem Grauwertschnitt befand sich das Modul auf der Position 1. Hier fällt das Peak deutlich niedriger aus (über $1770 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$) als das bei der Position 2. Dadurch ergibt sich eine deutlich bessere Verteilung des Lichts auf dem Gerät.

Diese Verteilung ergibt sich aus dem größeren Abstand der Moduls vom Gerät. Es kann so die konstruktive Forderung abgeleitet werden, dass die Module einen mindesten Abstand von 4 cm zum Rohr haben müssen.

Aus den Leuchtdichtebildern ist ebenfalls erkennbar, dass die realisierte Leuchtdichte ausreichend groß ist. Somit kann sowohl der LED-Typ, als auch die 16°-Optik als für die Konstruktion geeignet eingestuft werden.

7. Test des ausgewählten Moduls

Dieses Kapitel befasst sich mit dem subjektiven Eindruck, den das Modul am Satellitenbeobachtungsgerät vermittelt. Desweiteren wird in diesem Kapitel der Kühlkörper getestet.

7.1 Der optische Eindruck

Während sich bei der Messung der Leuchtdichten auf das Verhältnis der Fläche im beleuchteten zum unbeleuchteten Zustand beschränkt wurde, wird in diesem Kapitel der optische Eindruck getestet. Es muss dabei beachtet werden, dass ein Foto nie einen 100%-originalen Eindruck übertragen kann.

Auf dem nachfolgenden Bild (Abbildung 8.1) wurde ein Modul so ausgerichtet, dass die Abstrahlcharakteristik der der späteren Leuchte gleicht. Dieses Foto wurde zusammen mit weiteren Bildern als Referenz an Prof. Theska weitergegeben, der sie an die verantwortlichen Personen weitergereicht und deren Feedback entgegengenommen hat.



Abbildung 8. 1: ausgewähltes Modul in späterer Position 1.

Das positive Feedback bestätigte die bisherige Vorstellung der Leuchte. Dadurch konnte die Realisierung der Leuchte nach dem oben gezeigten Vorbild gestaltet und durchgeführt werden.

7.2 Test des Kühlkörpers

Um eine geeignete Kühlung des LED-Moduls zu gewährleisten, wurde ein Prototyp eines Kühlkörpers angefertigt und getestet. Bei diesem Test wurde keine genaue Aufnahme des Temperaturprofils unternommen, da hier lediglich der stationäre Zustand von Interesse ist. Das LED-Modul wurde sowie in der späteren Leuchte, geschaltet und dauerhaft betrieben. Nachdem ein stationärer Zustand erreicht war, wurden die Temperaturen mit dem Datenblatt von Osram verglichen.

Leider konnte zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit die Auswertung des stationären Zustandes nicht vervollständigt werden.

8. Realisierung der Schaltung

8.1 Die LED-Module

Um die LED-Module betreiben zu können muss eine elektrische Schaltung realisiert werden. Hierbei gibt es einige Rahmenbedingungen, auf die geachtet werden muss. Eine Leuchte beinhaltet zwei Module mit je sechs OSRAM Oslon SSL Leuchtdioden. Die Schaltung ist so zu gestalten, dass die Gesamtspannung nicht mehr als 48 V beträgt. Dadurch bleibt die Spannung im Bereich der Niederspannung und es müssen keine gesonderten Sicherungsmaßnahmen getroffen werden. Da Leuchtdioden keinen linearen Strom-Spannungs-Verlauf haben, muss der Arbeitspunkt exakt eingestellt werden. Für die Einstellung des Arbeitspunktes kann entweder ein Spannungsregler oder ein Stromregler verwendet werden. Die Diode verschiebt ihre Kennlinie (Abbildung 9.1) mit sich verändernder Temperatur.

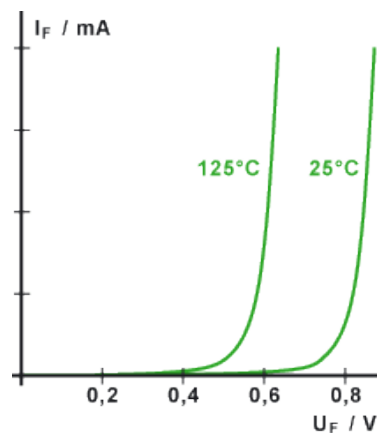


Abbildung 9. 1: Beispiel für Temperaturabhängigkeit einer Diodenkennlinie.
Quelle: www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/0701291.htm

Aus diesem Zusammenhang ergibt sich der Stromregler als sinnvoller, da die Spannungsänderungen bei steigender Temperatur weniger Auswirkungen auf den Arbeitspunkt hat als eine Stromänderung bei Konstanter Spannung. Die konstante Stromquelle kann über einen LM317 realisiert werden.

8.2 Die konstante Stromquelle – LM317

Da durch eine konstante Stromquelle die Schwankungen wesentlich geringer ausfallen als mit einer konstanten Spannungsquelle, wird ein Stromregler in die Schaltung eingebaut. Ein weiterer Vorteil dieser Variante ist, dass die Anzahl der verwendeten Module nicht durch den Spannungsregler vorgeschrieben wird.

Als Stromregler wird ein LM317 verwendet. Dieser wird in einer Schaltung mit einem Kondensator mit einer Kapazität von $C = 100 \text{ nF}$ und einem Einstellwiderstand von $R = 3,6 \Omega$ geschaltet.⁵

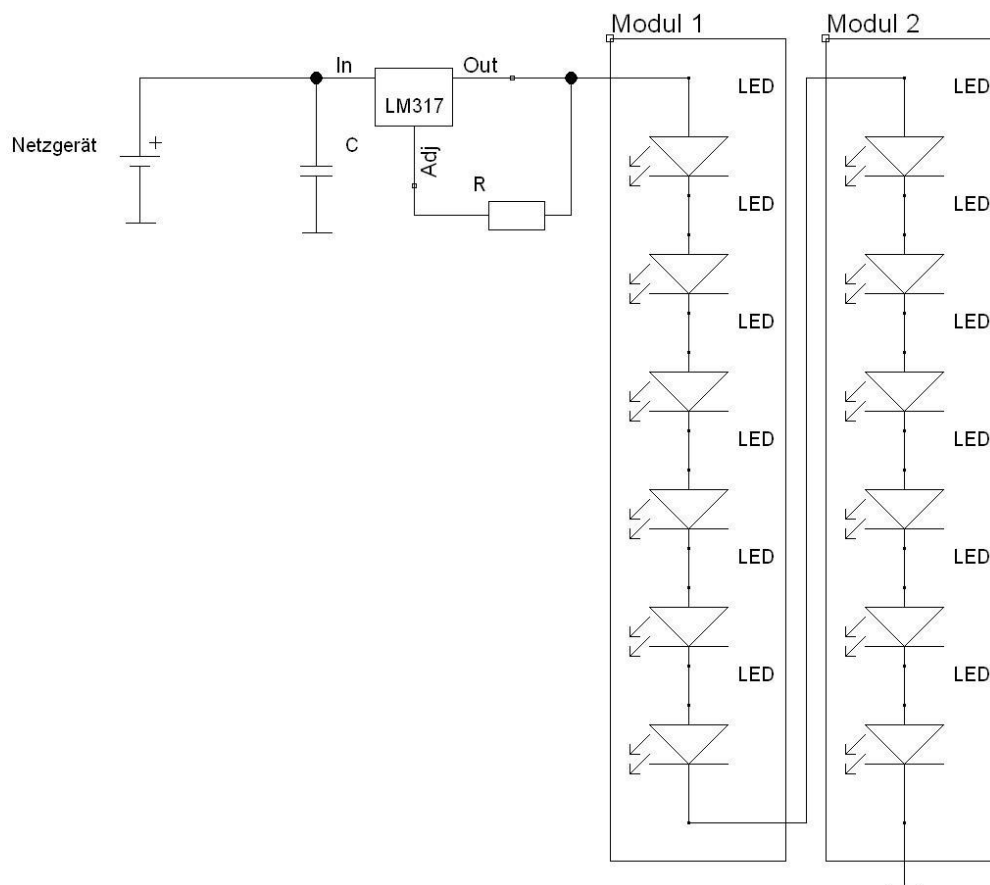


Abbildung 9. 2: Schaltung einer einzelnen Leuchte.

² Der Wert von R Mitthilfe eines Onlinerechners für den LM317 berechnen. Siehe: <http://www.netzmafia.de/skripten/hardware/lm317/lm317.html>

Pro Leuchte werden zwei LED-Module verbaut. Beide Module werden in Reihe geschaltet. Somit entspricht der Strom der gesamten Leuchte demselben wie bei einer einzelnen LED.

Durch den Spannungsabfall über den LM317 wird eine Leistung im Bauteil umgesetzt. Diese Leistung erzeugt eine Wärme. Wird eine ausreichend große Leistung im Bauteil umgesetzt, so muss eine konstruktive Maßnahme getroffen werden, diese Wärme ab zu führen.

Anhand des Netzteils ist davon aus zu gehen das über den LM317 eine Leistung von bis zu $P_{LM317} = 3,5 \text{ W}$ abfallen. Da seitens des Herstellers keine Angaben zum Grenzwert des TO-220 Gehäuses gemacht wurden, muss die Wärme über die intern zulässige Temperatur und den Wärmewiderstand zwischen Kern und Gehäuse berechnet werden.

Es wurde die Festlegung getroffen den LM317 mit einem Kühlkörper zu versehen um eine Überhitzung zu vermeiden. Sollte das nicht reichen kann ein 10Ω Widerstand in Reihe zu den LED-Modulen geschaltet werden, um einen Teil der Spannung ($U_R = 3,5 \text{ V}$) über diesen abfallen zu lassen. Dadurch würde weniger Leistung direkt im LM317 umgesetzt werden.

8.3 Auswahl des Netzteils

Als Spannungsquelle wird ein Netzteil mit einer Spannung von $U_A = 48 \text{ V}$ vorgeschaltet. Da am Satellitenbeobachtungsgerät mehrere Leuchten angebracht werden, schaltet man sie parallel. Die Leistung des Netzteils setzt sich wie folgt zusammen:

- $I_{LED} = 350 \text{ mA}$
- $U_{LED} = f(I_{LED})$
- $U_{Modul} = 6 * U_{LED}$
- $P_{M,el} = U_{Modul} * I_{LED}$
- $P_{LM317} = U_{LM317} * I_{LED}$
- $P_L = 2 * P_{M,el} + P_{LM317}$

Demnach benötigt das Netzteil eine Leistung von:

$$P_{ges} = n * P_L \quad (9.1)$$

n – Anzahl der verbauten Leuchten.

P_L – elektrische Leistung einer kompletten Leuchte

Da im Lichtkonzept unterschiedlichen Typen von Leuchten verwendet werden, sollte jeder Leuchtentyp ein eigenes Netzteil besitzen. In dieser Bachelorarbeit wird sich hauptsächlich mit den Leuchten am Rohr auseinander gesetzt. Dadurch ist diese Dimensionierung nur hierfür gemacht worden.

Es werden $n=7$ Leuchten um das Rohr verbaut. Dadurch ergibt sich eine Leistung von:

$$P_{ges} = 7 * (2 * U_{Modul} * I_{LED} + U_{LM317} * I_{LED}) \quad (9.2)$$

Der Strom durch die LED-Module wird mit $I_{LED} = 350 \text{ mA}$ festgelegt. Die Spannung wird seitens des Herstellers (bei $I_{LED} = 350 \text{ mA}$) mit $U_{Modul} = 19,2 \text{ V}$ angegeben. Die Spannung U_{LM317} die über den LM317 abfällt hängt von der Eigenspannung ab. Für die folgende Rechnung wird $U_{LM317} = 3 \text{ V}$ festgelegt. Dadurch führt die Formel (9.2) zu folgenden Wert für die mindestens benötigte Leistung des Netzgeräts:

$$P_{ges} = 7 * (2 * 19,2 \text{ V} * 0,35 \text{ A} + 3 \text{ V} * 0,35 \text{ A})$$

$$P_{ges} = 101,4 \text{ W}$$

Hinzu kommt, dass das Netzteil eine mindeste Ausgangsspannung $U_A > U_{ges}$ haben muss:

$$U_A > U_{ges}$$

$$U_{ges} = 2 * U_{Modul} + U_{LM317} = 41,4 \text{ V}$$

Die Netzteile sind in der Regel gestuft und daher ergibt sich eine Ausgangsspannung von $U_A = 48 \text{ V}$. Alle Leuchten werden parallel geschaltet, somit summieren sich die Ströme auf und $I_A = 2450 \text{ mA}$ müssen für das Netzteil angesetzt werden.

Anhand dieser Kriterien wurde ein geeignetes Netzteil ausgewählt. Die Auswahl ist auf ein Schaltnetzteil gefallen, welches im Industriebereich oft verbaut wird. Für das Netzteil muss ein passendes Gehäuse entworfen werden.

9. Konstruktion

In diesem Kapitel wird die Konstruktion der Leuchte aufgeführt. Dabei wird keine genaue Bauteildimensionierung beschrieben. Es werden im Folgenden die Gedankengänge des Konstrukteurs geschildert. Dabei steht vor allen die Aufgabe und Realisierung der Justierung im Vordergrund.

9.1 Das technische Prinzip

Im technischen Prinzip werden die funktionalen Forderungen, sowie die Anzahl und Art der Koppelstellen festgelegt. Es reduziert die komplette Leuchte auf seine Grundfunktionen. Diese Funktionen werden in dem folgenden Modell dargestellt:

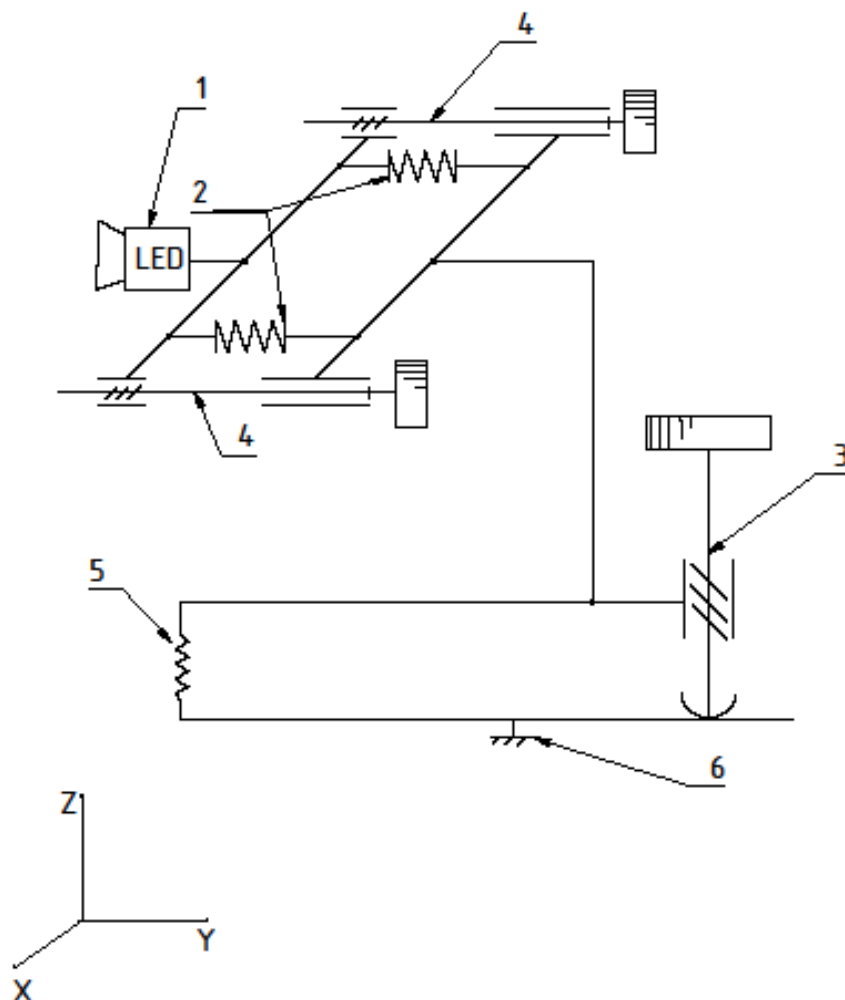


Abbildung 10. 1: Technisches Prinzip Bestandteile

In dem oben aufgeführten technischen Prinzip sind folgende Bestandteile zu erkennen:

- LED-Modul (1)
- Elastische Distanzstücke (2)
- Schraube für Justierung um die X-Achse (3)
- Schraube für Justierung um die Z-Achse (4)
- Elastisches Element der Bodenplatte (5)
- Koppelstelle zum Gestell (6)

Durch diese Bauteile lassen sich die Bewegungsbereiche der vorgesehen Justierungen darstellen. In der nachfolgenden Skizze wurde das technische Prinzip um diese Bewegungen erweitert.

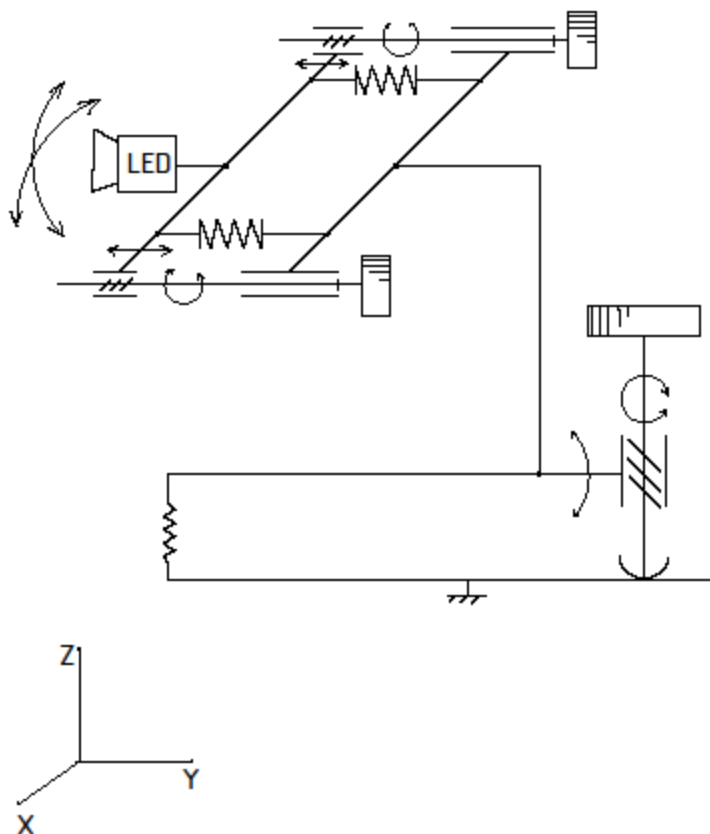


Abbildung 10. 2: Technisches Prinzip - Bewegungsrichtungen

9.2 Justierung

Um ein möglichst symmetrisches Abstrahlen der Leuchten zu realisieren, werden an dieser mehrere Justiermöglichkeiten vorgesehen. Die Form des Lichtkegels auf der Teleskopoberfläche soll bei jeder Leuchte einen gleichen optischen Eindruck vermitteln. Das beinhaltet sowohl die Ausdehnung entlang der Rohrachse, als auch die Breite des Strahls an jeder Stelle. Daraus wurde die Forderung abgeleitet, dass die Leuchte zwei Justierungen benötigt. Die erste Justierung (im Folgenden als Längenjustierung bezeichnet) ist zur Realisierung eines veränderbaren Winkels entlang der X-Achse (siehe Abbildung 10.1) um die Ausdehnung des Strahls parallel zur Rohrachse anzugleichen. Die Zweite (im Folgenden als Breitenjustierung bezeichnet) ist für Anpassung der seitlichen Ausdehnung und sorgt damit für eine Justiermöglichkeit um die Z-Achse.

Bei der Ausrichtung des LED-Moduls auf die Oberfläche existiert bereits ein gewisser Neigungswinkel $\varphi_{\text{vor}} = 5...10^\circ$ der das Lichtstärkemaximum auf die Fläche bringt. Somit muss die Längenjustierung nicht zusätzlich den Winkel φ_{vor} überbrücken um die Grundausrichtung zu erreichen. Somit kann der Justierbereich für die Längenjustierung auch bei $\Delta\varphi = \pm 10^\circ$ gehalten werden. Das hat den Vorteil eines kleineren Justierbereiches, welcher konstruktiv einfacher zu realisieren ist. Je nach Ausrichtung der Leuchte ist diese Neigung des Moduls unterschiedlich. Die zur Rohröffnung zugewandte Seite hat eine steilere Neigung als die entgegengesetzte. Da die Leuchte am Übergang vom zylindrischen- zum kegelförmigen Teil montiert wird, kann so der gleiche Justierweg in beide Richtungen realisiert werden.

Die Justierung (Abbildung 10.3) wurde über ein U-Profil realisiert, welches mit einer Schraube um den gewünschten Justierweg ausgebogen wird. Da in das Blech kein Gewinde geschnitten werden soll, wird eine Schraubenmutter unter ein Loch im Blech angeschweißt.⁶

⁶ HANSEN, F.: Justierung. Eine Einführung in das Wesen der Justierung von technischen Gebilden, VEB Verlag Technik, Berlin, 1967. S. 122 bis 126

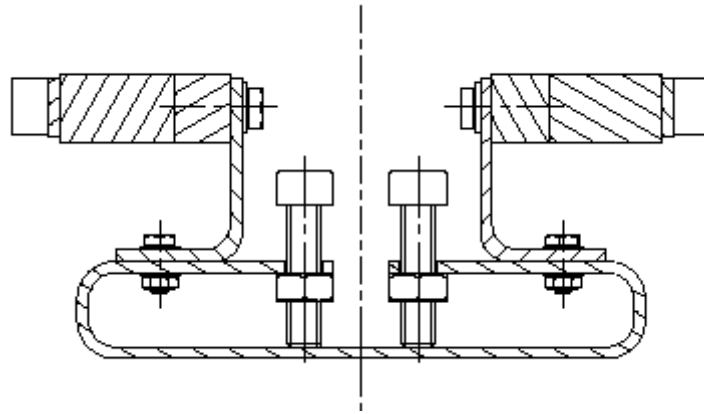


Abbildung 10. 3: Schnitt durch Leuchte. Doppel U-Profil und Schraube für die Längenjustierung sind erkennbar.

Für die Breitenjustierung wurde eine Lösung mittels zweier Schrauben konzipiert. Bei dieser Lösung befinden sich im Kühlkörper zwei M4-Gewindebohrungen. In diese Gewinde werden die Schrauben je nach gewünschtem Winkel unterschiedlich tief eingeschraubt. Die Schrauben drücken in Folge der unterschiedlichen Eindrehtiefe auf eine Halterung und realisieren so den Winkel. In nachfolgenden Zeichnung (Abbildung 10.4) ist die konstruktive Umsetzung dargestellt.

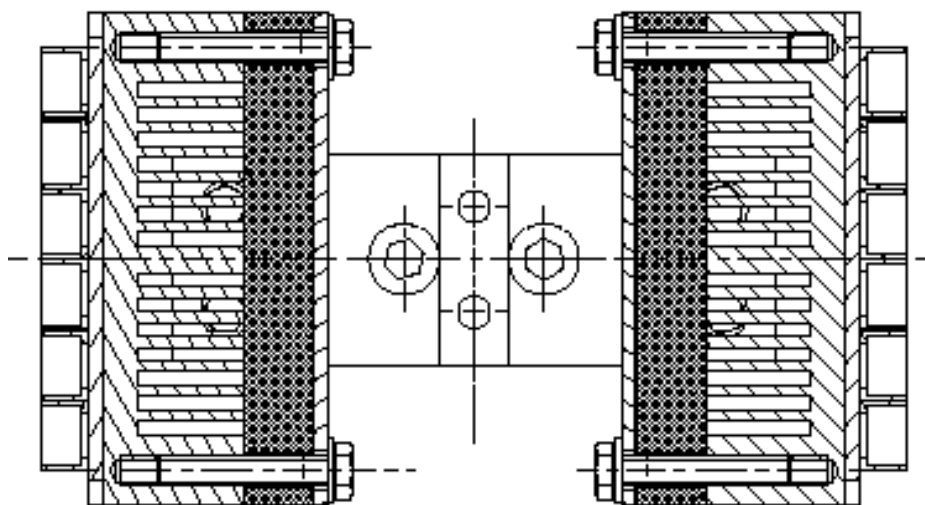


Abbildung 10. 4: Schnitt durch die Leuchte. Breitenjustierung wird über die vier im Schnitt dargestellten Schrauben ermöglicht.

Der Abstand zwischen Kühlkörper und Halterung wird über ein elastisches Element aus Armaflex realisiert. Dieses Distanzstück hat ebenfalls die Aufgabe als Feder zu wirken und ein Klappern und Verrutschen der Teile untereinander zu verhindern. Da nur $\Delta\gamma = \pm 5^\circ$ realisiert werden müssen, reicht das Stauchen der Armaflex-Distanzstücken um wenige Millimeter. Die gestauchte Strecke wirkt gleichzeitig als

Federweg und bringt dadurch die benötigte Kraft um sämtliches Spielt aus der Breitenjustierung zu drücken. Dabei berechnet sie die Federkraft wie folgt:

$$F_S = -k * s \quad (10.1)$$

Es ist keine Berechnung einer speziellen Federkraft notwendig. Die elastischen Elemente werden so weit gestaucht, bis der benötigte Winkel realisiert ist und kein Spiel mehr vorhanden ist. In der nachfolgenden Skizze wird das technische Prinzip der Breitenjustierung gezeigt:

9.3 Die Materialien

Für die Erfüllung der verschiedenen Aufgaben müssen geeignete Materialien für die unterschiedlichen Bauteile ausgesucht werden. Die Auswahl dieser Werkstoffe wurde in der Hinsicht vereinfacht, dass nicht für jede Funktion der optimale Werkstoff ausgewählt wurde. Es wurde ein Kompromiss eingegangen, bei dem die Werkstoffe nach Verfügbarkeit und Preis ausgesucht wurden.

9.3.1 Das elastische Element

Für die Realisierung der Breitenjustierung wird ein elastisches Distanzstück benötigt. Dieses muss sich in einen Bereich von mindestens 5 mm stauchen lassen. Bei einer Einbaulänge von 10-15 mm ist dies eine verhältnismäßig starke Stauchung. Als mögliche Materialien wurden Gummi, Silikon und Armaflex in Betracht gezogen.

Da kein passender Anbieter für Gummi gefunden wurde, welcher passende Mengen und Rohformen zu entsprechenden Preisen angeboten hat, ist dieses Material nicht weiter in Betracht gezogen wurden.

Da Silikon gegossen werden kann, ist hier jede beliebige Form möglich. Allerdings ist der Aufwand der Formerstellung vorhanden und es muss eine Nachbearbeitung des

Gussrohrlings gemacht werden. Dazu gehört das Bohren der Löcher und das Abtrennen von Material, bis die gewünschte Elastizität erreicht ist.

Als geeignetes Material wurde Armaflex ausgewählt. Dieses Material findet man üblicherweise als Wärmeisolierung um Heizungsrohre. Es ist ein technischer Schaum, welcher sich gut stauchen lässt. Die Steifigkeit ist ausreichend groß, um bei genügend großer Stauchung die Lage des Kühlkörpers zu sichern. Das Material kann einfach in Form geschnitten werden und ist sehr leicht zu verarbeiten. Es kann günstig in einem Baumarkt erworben werden.

9.3.2 Der Kühlkörper

Um eine möglichst gute Wärmeableitung vom LED-Modul zu erhalten, wurde der Kühlkörper aus einer Aluminiumlegierung AlZnMgCu1.5 angefertigt. Aluminium hat eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit und eignet sich somit für Kühlkörper. Die Form des Kühlkörpers soll für eine natürliche Konvektion sorgen. Auf der Skizze 10.5 sind die Abmessungen erkennbar.

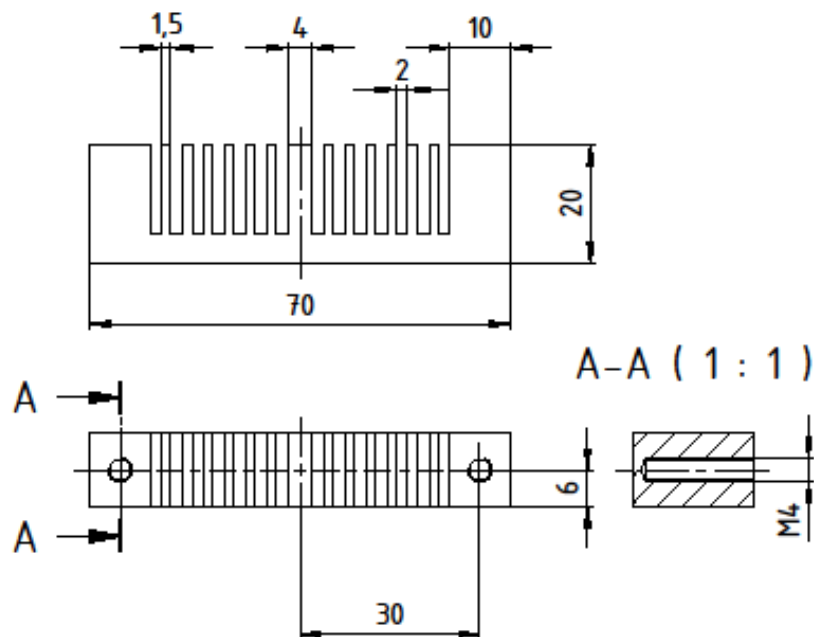


Abbildung 10. 5: Ausschnitt aus der Einzelteilzeichnung des Kühlkörpers.

9.3.3 Die Längenjustierung

Für die Längenjustierung wurde ein 0,8 mm Edelstahlblech mit einem Radius von $R_B = 5 \text{ mm}$ um 180° zu einem U-Profil gebogen. Dieses U-Profil wird über eine Schraube aufgebogen und realisiert so die Justierung. Ein Blech wird 2-mal gebogen um die Justierung für Forder- und Rückseitenleuchte auf einer Platte zu realisieren.

Es wurde dieses Blech verwendet, da die Steifigkeit ausreichend groß ist um sich nicht von allein zu verformen und flexibel genug ist, um über ein vom Nutzer realisierbares Drehmoment die Justiervorrichtung zu betätigen.⁷

9.4 Die Kopplung zum Gerät

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Konstruktion ist die Installation der Leuchte am Satellitenbeobachtungsgerät. Es war ein größerer Eingriff am Gerät zu vermeiden und so wurde sich in Rücksprache mit Prof. Theska und Dr. Wolf dafür entschieden, eine Schiene anzubringen auf welcher die Leuchten montiert werden können.

Ein weiterer Vorteil der beschriebenen Schiene ist die Anbringung des Sichtschirms. Der Schirm und die Schiene wurde im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht auskonstruiert. .

⁷ [3] KRAUSE, Werner: Grundlagen der Konstruktion. Elektronik - Elektrotechnik - Feinwerktechnik - Mechatronik, Hanser, München 2012. Seite 23 bis 27

10. Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wurde der Entstehungsprozess einer Leuchte aus einem Beleuchtungskonzept geschildert. Zu Beginn wurde das zu beleuchtende System analysiert und es wurden drei Konzepte erstellt. Jedes Konzept beinhaltete eigens gestaltete Leuchten, jedoch wurde das Zentrum der Beleuchtung - bei allen drei gleich - auf das Rohr gelegt. Nachdem aus diesen drei Konzepten ein finales Konzept abgeleitet wurde, konnte sich der Auswahl der geeigneten Leuchtdioden zugewandt werden. Es wurden Testplatinen erstellt, durch die der geeignete LED-Typ ermittelt werden konnte. Diese Testplatinen wurden direkt am Gerät vermessen und so die verschiedenen Leuchtdichten ermittelt. Mithilfe der Leuchtdichten konnte ein geeigneter LED-Typ ermittelt werden.

Nachdem das passende Modul - bestehend aus einem LED-Array und sechs dazugehörigen Optiken - gefunden wurde, konnte mit der Gestaltung der Leuchte begonnen werden. Dazu gehörte die Vermessung des LED-Moduls, der optische Eindruck am Gerät und Festlegung der konstruktiven Rahmenbedingungen. Es wurde sich dazu entschieden den Fokus der Arbeit auf eine einzelne Leuchte aus dem finalen Konzept zu legen. Bevor die Konstruktion thematisiert wurde, musste der elektrische Schaltplan erstellt werden und alle elektrischen Bauteile ermittelt werden. Somit konnte das Netzteil dimensioniert werden und Notwendigkeit einer Kühlung für die Konstantstromquelle wurde nachgewiesen.

Die eigentliche Konstruktion stellt den letzten Teil der Arbeit dar. Dem ist die Erstellung eines technischen Prinzips vorangegangen. Es wurden ein ausreichend genaues Justierprinzipien realisiert und die funktionsrelevanten Materialien festgelegt. Leider konnte kein Prototyp erstellt werden, um diesen genau vermessen zu können.

Am Ende ist eine Leuchte entstanden, die den Anforderungen der Umgebung angepasst wurde. Für diese Leuchte wurden alle notwendigen Eigenschaften dimensioniert oder festgelegt.

11. Aussichten

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit konnte das erarbeitete Lichtkonzept nicht vollständig realisiert werden. Es müssen die verbleibenden Leuchten konstruiert werden. Diese Leuchten müssen ähnliche Eigenschaften, wie die in dieser Bachelorarbeit konstruierte Version besitzen.

Im Konzept wurden drei verschiedene Leuchten verwendet. Die verbleibenden zwei Leuchten unterschieden sich in erster Linie dadurch, dass sie nur in eine Richtung abstrahlen. Somit muss eine Leuchte konzipiert werden, welche in der Gabelung der Teleskopaufnahme sitzt, das Rohr beleuchtet und eine weitere die die Skala beleuchtet.

Beide Leuchten werden mit demselben LED-Modul ausgestattet. Die Optik der beiden Leuchten wird sich vermutlich von der der Doppelleuchte unterscheiden.

Es muss die Schaltung so verändert werden, dass mit einem LM317 nur ein Modul betrieben wird. Somit wird vermutlich auch ein anderes Netzteil bestimmt werden müssen.

Es muss ein Gehäuse für die Netzteile entworfen werden. Außerdem muss die Platzierung der Netzteil am/im Gerät geklärt werden. Es ist auch zu überlegen ob die Konstantstromquellen auf eine Platine nahe den Netzgeräten angeordnet werden.

Da bei den anderen Leuchten keine so große Symmetrieanforderung wie bei der Doppelleuchte vorhanden ist, kann derselbe Justierbereich verwendet werden. Auch die Kühlkörper können gleich gewählt werden.

Desweiteren wurde in dieser Bachelorarbeit nicht die Konstruktion des Abdeckschirms betrachtet. Es muss ein Schirm konzipiert werden, welcher einen ausreichenden Sicht- und Zugriffsschutz zu den Leuchte ermöglicht. Durch den Schirm wird ein Fremdeinwirken erschwert und die Leuchte versteckt. Da bei der Konstruktion der Leuchte der Aspekt der Ästhetik nicht berücksichtigt wurde, ist diese funktionsnah gestaltet und somit optisch nicht ansprechend.

Danksagung

Ich möchte abschließend all denjenigen danken, die mir bei der Anfertigung dieser Bachelorarbeit geholfen haben.

Einen besonderen Dank möchte ich einen meinen Betreuer Dr. Wolf aussprechen. Dr.-Ing. Stefan Wolf, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Lichttechnik an der Technischen Universität Ilmenau, übernahm die Betreuung meine Bachelorarbeit. Er hat durch sein Fachwissen auf dem Gebiet der Elektrotechnik und durch seine tiefgehende Erfahrung geholfen wesentliche Problemstellungen zu lösen und meine Kenntnisse auf diesen Gebiet deutlich zu verbessern. Seine gut durchdachten Ansätze haben dazu beigetragen das Ergebnis dieser Arbeit deutlich zu verbessern.

Einen weiteren gesonderten Dank möchte ich Prof. Dr.-Ing. René Theska, Fachgebietsleiter des Fachgebietes Feinwerktechnik, zukommen lassen. Als Verantwortlicher des SBG habe ich viel Rücksprache mit ihm gehalten. Seine kreativen Einbringungen haben sowohl das finale Beleuchtungskonzept als auch die Realisierung der Leuchte stark vorangebracht.

Darüber hinaus möchte ich all denjenigen danken, die sich die Zeit genommen haben und mir geholfen haben Fehler zu korrigieren.

Zum Schluss möchte ich meine Familie für die Unterstützung während meines Studiums danken.

Literaturverzeichnis

[1] GALL, Dietrich: Grundlagen der Lichttechnik. Kompendium, Pflaum, Ilmenau 2007.

[2] HANSEN, F.: Justierung. Eine Einführung in das Wesen der Justierung von technischen Gebilden, VEB Verlag Technik, Berlin, 1967.

[3] KRAUSE, Werner: Grundlagen der Konstruktion. Elektronik - Elektrotechnik - Feinwerktechnik - Mechatronik, Hanser, München 2012.

Internetquelle:

[4] <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/augenempfindlichkeit/1098>

(aufgerufen am 07.05.2015)

[5] <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/0701291.htm>

(aufgerufen am 25.04.2015)

[6] <http://www.netzmafia.de/skripten/hardware/lm317/lm317.html>

(aufgerufen am 25.04.2015)

[7] https://www.led-tech.de/produkt-pdf/osram/LB_CP7P.pdf

(aufgerufen am 07.05.2015)

[8] www.reichelt.de

(aufgerufen am 25.05.2015)

Anhang

Anhang A:

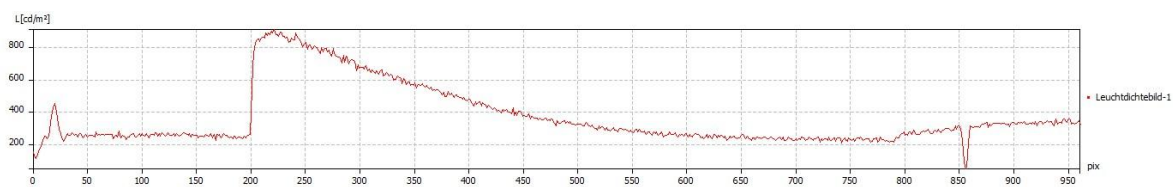


Abbildung 1: Grauwertschnitt. Messung am 22.04.2015

Anhang B:

technische Zeichnungen