

Markus Hesse

Vorname Nachname

Medientechnologie, MT05, ██████

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Patrick Reilich

Vorname Nachname

Medientechnologie, MT05, ██████

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Praktisches Seminar

Videostudioproduktion

Thema:

Leuchtdichteverteilung der
Ulbrichtkugel

Abgabe: 31.03.2011

Betreuer:

Dr. E. Schön

Dipl.-Ing. T. Lagemann

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
1 Grundlagen.....	3
1.1 Lichttechnische Größen	3
1.2 Gerätschaften	5
2 Vorüberlegungen.....	6
3 Versuchsdurchführung	8
3.1 Messaufbau zur Messung der gesamten homogenen Fläche der Ulbrichtkugel	8
3.2 Messaufbau zur Messung der einzelnen Bereiche der Ulbrichtkugel	10
4 Messergebnisse	11
4.1 Ergebnisse bei 70 %	12
4.2 Ergebnisse bei 100%:	19
4.3 Auswertung der Messergebnisse	29
5 Messfehler und Verbesserungsmöglichkeiten	29
5.1 Messfehler	30
5.2 Verbesserungsvorschläge	30
Quellenverzeichnis:	31
Anhang	32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: links: Lichtstärke als Vektor visualisiert; Mitte: verbundene Vektorenden zu einer Lichtstärke - Verteilungskurve; rechts: Aufspannen eines Raumes → Beschreibung des Lichtstromes [Osram].....	4
Abbildung 2: Beleuchtungsstärke	4
Abbildung 3: Leuchtdichte.....	4
Abbildung 4: links: theoretisch erdachte Maske; rechts: tatsächlich erstellte Maske → mit den Feldern 1, 2, 4 und 5 lassen sich durch Drehen der Maske die restlichen Felder erzeugen.....	6
Abbildung 5: praktischer Versuchsaufbau Ulbrichtkugel	6
Abbildung 6: Die Optik des Leuchtdichtemessgerätes	9
Abbildung 7: Der Messaufbau	9
Abbildung 8: Leuchtdichteverteilung (100lx, 70%).....	12
Abbildung 9: Leuchtdichteverteilung (500lx, 70%).....	13
Abbildung 10: Leuchtdichteverteilung (1000lx, 70%)	14
Abbildung 11: Leuchtdichteverteilung (1200lx, 70%)	15
Abbildung 12: Leuchtdichteverteilung (2400lx, 70%)	16
Abbildung 13: Leuchtdichteverteilung (3600lx, 70%)	17
Abbildung 14: Leuchtdichteverteilung (4800lx, 70%)	18
Abbildung 15: Leuchtdichteverteilung (100lx, 100%)	19
Abbildung 16: Leuchtdichteverteilung (500lx, 100%)	20
Abbildung 17: Leuchtdichteverteilung (1000lx, 100%)	21
Abbildung 18: Leuchtdichteverteilung (1200lx, 100%)	22
Abbildung 19: Leuchtdichteverteilung (2400lx, 100%)	23
Abbildung 20: Leuchtdichteverteilung (3600lx, 100%)	24
Abbildung 21: Leuchtdichteverteilung (4800lx, 100%)	25
Abbildung 22: Leuchtdichteverteilung (6000lx, 100%)	26
Abbildung 23: Leuchtdichteverteilung (7200lx, 100%)	27
Abbildung 24: Leuchtdichteverteilung (8400lx, 100%)	28

1 Grundlagen

Im Rahmen des praktischen Seminars Videostudioproduktion beschäftigt sich diese Arbeit mit der Leuchtdichteverteilung der Ulbrichtkugel. Bevor die Problemstellung erörtert und der Lösungsweg dieser Messaufgabe erläutert wird, sollen zunächst die Grundlagen näher beschrieben werden. Dazu gehören unter anderem die benötigten lichttechnischen Größen, sowie die verwendete Gerätschaft.

1.1 Lichttechnische Größen

Licht ist eine elektromagnetische Strahlung. Sie ruft im Wellenlängenbereich von ca. 380 nm bis ca. 780 nm im menschlichen Auge ein Helligkeits- und Farbempfinden hervor. Dieser Ausschnitt stellt für den Menschen das sichtbare Licht dar. Für den messtechnischen Umgang sind einige lichttechnische Größen zu nennen:

Lichtstrom (Lumen [lm]):

Der Lichtstrom beschreibt die Strahlenleistung einer Lichtquelle in einem Raum. Dafür liegt die Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges zugrunde. Der Lichtstrom stellt Lichtenergie pro Zeiteinheit dar. Aus dem Lichtstrom leiten sich alle anderen lichttechnischen Größen ab. [Osram]

Lichtstärke (Candela [cd]):

Mit der Lichtstärke wird der richtungsabhängige Lichtstrom einer Lichtquelle beschrieben, dabei ist die Größe der Lichtquelle unerheblich. Die Lichtstärke kann als Vektor angegeben werden. Werden die Vektorenden verbunden, entsteht eine Lichtstärke-Verteilungskurve. [Osram]

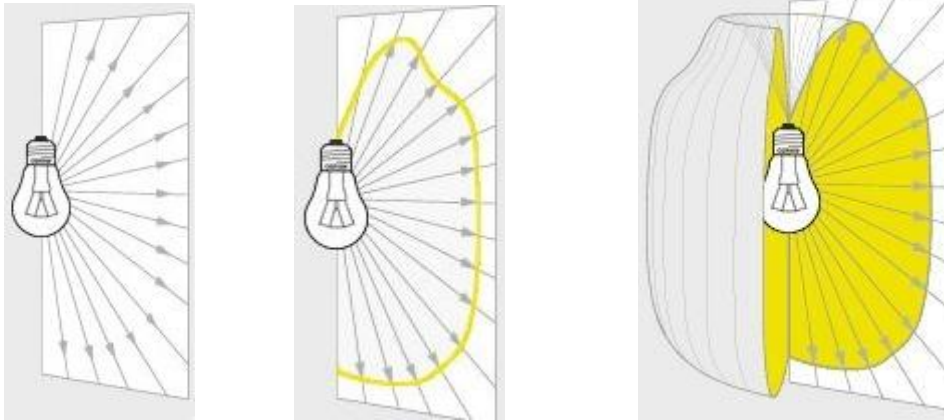


Abbildung 1: links: Lichtstärke als Vektor visualisiert; Mitte: verbundene Vektorenden zu einer Lichtstärke - Verteilungskurve; rechts: Aufspannen eines Raumes → Beschreibung des Lichtstromes [Osram]

Beleuchtungsstärke (Lux [lx]):

Sie ist eine reine Rechen- und Messgröße und gibt den Lichtstrom bezogen auf eine Fläche an. 1 lx entspricht 1 lm auf 1 m². Die Beleuchtungsstärke reduziert sich im Quadrat der Entfernung zwischen Beobachter und Lichtquelle. [Osram]

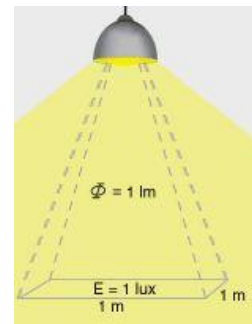


Abbildung 2: Beleuchtungsstärke

Leuchtdichte ([cd/m²):

Stellt die einzige, vom menschlichen Auge, wahrnehmbare lichttechnische Größe dar. Sie ist ein Maß für den Helligkeitseindruck einer Fläche (beleuchtet oder selbstleuchtend), bezogen auf die gesehene Fläche. Eine Fläche erscheint dem Betrachter umso heller, je kleiner die Fläche ist.

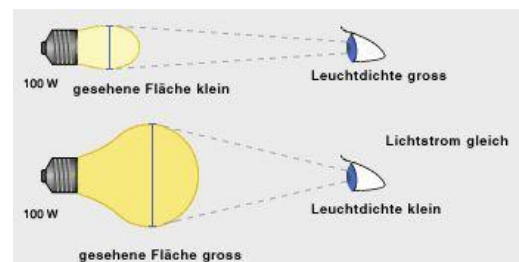


Abbildung 3: Leuchtdichte

[Osram]

Soll nun die Helligkeit von ausgedehnten Flächen beurteilt werden, wird in der Regel die Leuchtdichte verwendet. Für die Beschreibung der Helligkeit von punktförmigen Lichtquellen können die Beleuchtungsstärke oder der Lichtstrom benutzt werden.

1.2 Gerätschaften

„Erfassung der Leuchtdichtevertelung einer Ulbrichtkugel“ war die Aufgabe dieser Messung. Um diese Aufgabe erfüllen zu können, sind einige technische Hilfsmittel von Nöten:

Ulbrichtkugel:

Eine Ulbrichtkugel ist eine Hohlkugelkonstruktion, an deren Basis ein Leuchtmittel angebracht ist. Sie ist im Inneren mit diffus reflektierenden Materialien ausgekleidet (i.d.R. Bariumsulfat). Die Ulbrichtkugel besitzt eine Lichtaustrittsöffnung, deren Durchmesser kleiner als der Innendurchmesser der Kugel ist. Ziel dieser Konstruktion ist es, ausgehend von einer punktförmigen Lichtquelle, durch das diffus reflektierende Material eine möglichst homogen beleuchtete Fläche an der Lichtaustrittsöffnung zu schaffen. Nur wenn die Leuchtdichte bzw. Helligkeit an allen Punkten der Lichtaustrittsöffnung annähernd gleich ist, eignet sich solch eine Apparatur für optische Messtechnik, z.B. Kameramesstechnik. Bei Bewertungen von Kameraoptiken oder Kameraelektronik lassen sich nur aussagekräftige Ergebnisse erzielen, wenn die Lichtquelle die Messung so wenig wie möglich verfälscht bzw. beeinflusst.

Leuchtdichtemessgerät:

Zur Durchführung der Messaufgabe ist ein Gerät nötig, welches die Leuchtdichte erfassen kann. Dies stellt das Konica Minolta LS - 100/LS - 110 dar. Es handelt sich um ein Leuchtdichtemessgerät mit Spiegelreflex-Spot. Die Bedienfreundlichkeit des Gerätes ist sehr gut. Die zu messende Fläche wird im Sucher erfasst, stellt diese mit dem Sucher scharf und misst die Leuchtdichte durch Drücken der Messtaste. Zuvor sollten einigen Grundeinstellungen beachtet werden (siehe Punkt 2). Weitere technische Details sind in den Datenblättern und Handbüchern zur Ulbrichtkugel und Leuchtdichtemessgerät zu finden.

Optische Bank:

Eine optische Bank ist eine solide Konstruktion, auf der an einem Ende die Ulbrichtkugel montiert ist. Auf der Bank kann ein Schlitten bewegt werden. Auf den Schlitten lässt sich beispielsweise eine Kamera montieren. Diese Vorrichtung dient unter anderem dazu, Messungen mit der Kamera unter reproduzierbaren Bedingungen (Entfernung, Höhe usw.) durchführen zu können. Für die Leuchtdichtemessung spielt sie jedoch eine untergeordnete Rolle.

2 Vorüberlegungen

Nach der ersten Sichtung der zur Verfügung stehenden Geräte, sowie der Einarbeitung in die lichttechnischen Grundlagen, ging es nun um darum, welche Möglichkeiten zur Messung der Leuchtdichtevertelung bestehen.

Zum Ansatz kam die Überlegung, dass die Leuchtdichte der gesamten Austrittsöffnung jedem beliebigen Ausschnitt der Austrittsöffnung entsprechen sollte. Die Ermittlung der Leuchtdichte der gesamten Öffnung lässt sich ohne weiteres ermitteln. Um die Ausschnitte der Austrittsöffnung zu messen, wurde eine Modifizierung der Austrittsöffnung benötigt, da durch den Sucher des Leuchtdichtemessgerätes nur eine helle Fläche erkennbar war. Somit war es nur schwer möglich einen Ausschnitt zu definieren, bzw. zu reproduzieren. Deswegen wurde der Entschluss gefasst, eine Maske anzufertigen, um Messflächen zu erstellen. Die Austrittsöffnung wurde in neun Bereiche eingeteilt. Als Grundlage für die Maske wurde schwarze Pappe zur Verfügung gestellt. Mit der Maske soll die Möglichkeit geschaffen werden, die neun Ausschnitte zu definieren und zu messen. Dadurch werden erneute Messungen deutlich vereinfacht (Reproduktion). Die nicht benötigten Felder wurden bei der Messung abgedeckt, um so wenig wie möglich Streulicht in die Linse gelangen zu lassen.

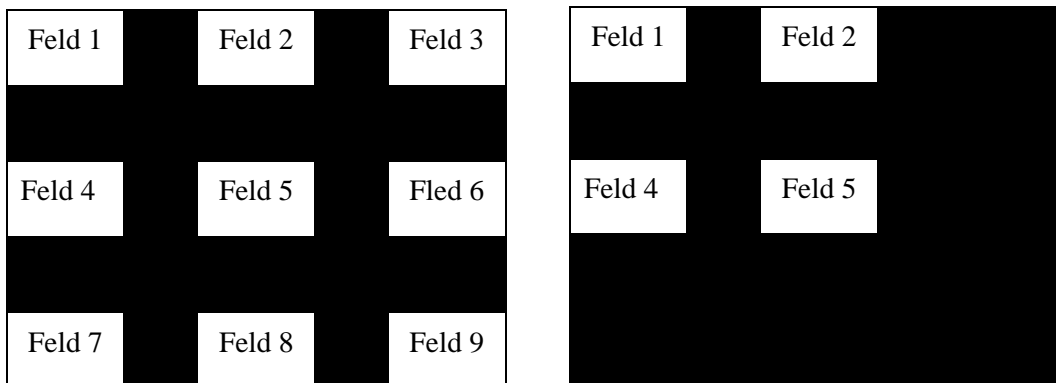


Abbildung 4: links: theoretisch erdachte Maske; rechts: tatsächlich erstellte Maske → mit den Feldern 1, 2, 4 und 5 lassen sich durch Drehen der Maske die restlichen Felder erzeugen.

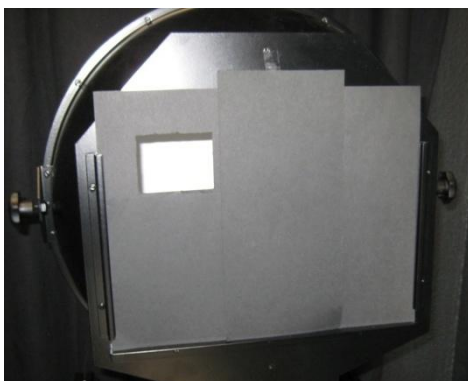


Abbildung 5: praktischer Versuchsaufbau Ulbrichtkugel

Für eine ordentliche Leuchtdichtemessung muss das Messgerät ruhig gehalten werden. Außerdem sollten keine „nichtleuchtenden“ Flächen von der Optik erfasst werden. Um dies zu gewährleisten, wurde das Messgerät auf einem Stativ montiert.

Wie bereits erwähnt, ist die Bedienerfreundlichkeit sehr hoch. Dennoch wurden einige Eigenheiten und Einstellmöglichkeiten in praktischen Versuchen auf ihre Einflussnahme geprüft:

- Ansprechzeit (Response): Wählbar zwischen *Slow* und *Fast*. Die Messzeit bei *Slow* beträgt 0,4 s und bei *Fast* 0,1 s. Das Handbuch beschreibt *Slow* für Lichtquellen, die mit nicht konstanter Helligkeit leuchten, z.B. Fernsehmonitore, Projektoren und flackernde Lichtquellen. Die Messung wird zeitlich gemittelt. *Fast* hingegen eignet sich für „normale“ Umstände. Hier findet keine zeitliche Mittlung statt. Ein Messversuch mit *Fast* und *Slow* brachte keine unterschiedlichen Ergebnisse zu Tage. Im Folgenden wurde nur mit *Fast* gemessen. [Minolta, S. 5]
- Calibration: Unter Umständen ist es nötig, das Messgerät zu kalibrieren. Jedoch verrät das Handbuch, dass mit der *Preset* Einstellung die Minolta Standardkalibrierung verwendet wird. Diese ist für die meisten Anwendungen ausreichend. [Minolta, S. 14]
- Measuring Format: Die Messwerte lassen sich unterschiedlich wiedergeben. Einmal als absoluten Leuchtdichtewert (cd/m^2) oder als Prozentwert. Dieser stellt einen relativen Wert zu einem vorher gemessenen Wert dar. Dabei lassen sich zwei Lichtquellen direkt miteinander vergleichen. Für die Messaufgabe wurde das Measuring Format *Absolute Peak* gewählt. [Minolta, S. 19]
- Das zu messende Objekt bzw. Fläche lässt sich je nach Entfernung über den Focusing am Messgerät scharf stellen. Bei Ermittlung der Leuchtdichte des gesamten Ausschnittes war die Fokussierung kein Problem. Der erforderliche Mindestabstand von 1014 mm [Minolta, S. 39] wurde mit ca. 1750 mm deutlich überschritten. Bei der Messung der Ausschnitte hingegen war der Abstand kaum größer als 30 cm. Eine Fokussierung war also nicht möglich. Allerdings ergab eine Probemessung an beiden Focusinganschlüssen keine unterschiedlichen Ergebnisse.

3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung wurde im für diesen Versuch zur Verfügung gestellten Laborraum der Technischen Universität Ilmenau (TUI) durchgeführt. Die Messung der Leuchtdichteverteilung der Ulbrichtkugel erfolgte an insgesamt zwei Tagen und erforderte einen Arbeitsaufwand von ungefähr sechs Stunden. Die Messarbeiten wurden von zwei Studenten der TUI vorbereitet und ausgeführt.

3.1 Messaufbau zur Messung der gesamten homogenen Fläche der Ulbrichtkugel

Als Messaufbau stand eine optische Bank zur Verfügung, auf welcher die Ulbrichtkugel montiert war. Das Leuchtdichtemessgerät wurde mit einem Stativ in bzw. zwischen die optische Bank gestellt. Am Anfang der Messung wurde das Labor durch Jalousien und Vorhänge verdunkelt und alle Leuchtquellen mit Ausnahme der Ulbrichtkugel wurden gelöscht. Anschließend wurde versucht die halbbogenförmige Optik (Abbildung 6) des zur Verfügung stehenden Leuchtdichtemessgerätes „Konica Minolta LS-110“ dem gesamten „leuchtenden“ Bereich der Ulbrichtkugel anzupassen. Das heißt, es sollte der größtmögliche Bereich abgedeckt werden ohne das etwas Schwarzes, also z. B. der Rand der Ulbrichtkugel im Sucher des Messgerätes zu sehen ist. Dazu wurde von dem einem Studenten das Messgerät in eine Position gebracht, in der die gerade genannten Bedingungen erfüllt waren. Der Andere steckte mithilfe einer Bleistiftspitze den Bereich ab, den das Messgerät in diesem Fall messen würde. Um diesen Prozess zu erleichtern, wurde die Ulbrichtkugel auf ihre maximale Helligkeit gestellt, welche laut dem internen Luxmeter einem Wert von 8,89 klx entsprach. Danach wurden Änderungen bezüglich Abstand zur Ulbrichtkugel und Ausrichtung des Messgerätes vorgenommen, um die Messvorrichtung zu optimieren. Letztendlich ergab sich ein Abstand von 1,70 Metern des Messgeräts zur Ulbrichtkugel (Abbildung 7). Ein Problem dieses Messaufbaus war die bereits angesprochene halbbogenförmige Optik des Leuchtdichtemessgeräts. Durch sie war es nicht möglich, die komplette homogene Fläche der Ulbrichtkugel zu erfassen.

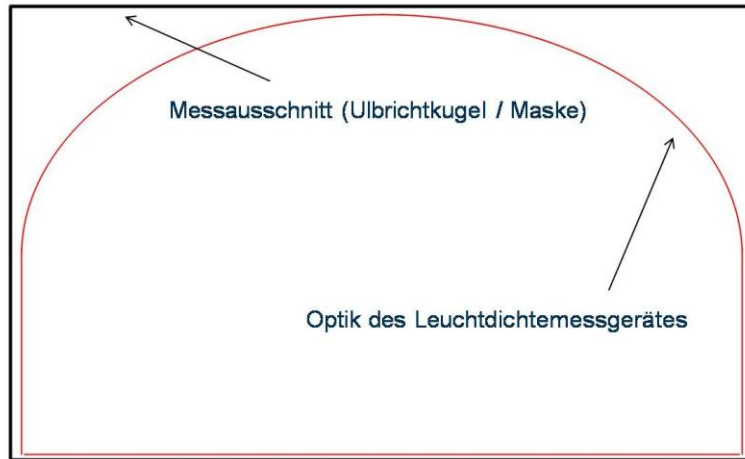


Abbildung 6: Die Optik des Leuchtdichtemessgerätes



Abbildung 7: Der Messaufbau

Aus der im vorherigem Abschnitt gefundenen optimalen Messposition heraus, wurden nun mehrere Messreihen durchgeführt. Es erfolgten nacheinander sowohl Messungen mit 100-prozentiger Leistung, (entspricht 11,76V) des Leuchtmittels der Ulbrichtkugel, als auch mit 70-prozentiger (entspricht 8,44V). Als Referenz, bzw. um die Vergleichbarkeit der Messungen zu sichern, wurde das Luxmeter der Ulbrichtkugel nacheinander auf von den Studenten festgelegte Werte mithilfe der dazugehörigen Fernbedienung eingestellt und anschließend der entsprechende Wert an dem Leuchtdichtemessgerät abgelesen und notiert. Die eingestellten Werte waren:

- 100lx

- 500lx
- 1000lx
- 1200lx
- 2400lx
- 3600lx
- 4800lx
- 6000lx
- 7200lx
- und 8400lx.

Bis einschließlich 4800lx waren die Messungen bei 70-prozentiger Leistung möglich, bei 100-prozentiger konnten alle Helligkeiten bedient werden. Ebenfalls wurde die minimal und maximal einstellbare Helligkeit mit der dazugehörigen Leuchtdichte notiert. Diese Werte gingen jedoch nicht in die Auswertung ein. Die Messungen wurden stichprobenartig wiederholt. Da keine Abweichungen erkennbar waren, sind diese nicht explizit aufgeführt. Die anderen gemessenen Werte sind dem Messprotokoll (siehe Anhang) zu entnehmen. Die eingestellten Parameter am Leuchtdichtemessgerät waren wie folgt:

- Response: Fast
- Measuring Format: Absolut
- Calibration: Preset.

3.2 Messaufbau zur Messung der einzelnen Bereiche der Ulbrichtkugel

Die Ulbrichtkugel wurde für diese Messung mit Pappschablonen verdeckt, aus welcher vier Rechtecke ausgeschnitten waren. Damit war es möglich, sie in neun gleichgroße Vierecke, welche in drei Reihen mit jeweils drei Spalten angeordnet waren, aufzuteilen (Abbildung 4). Somit konnte die Leuchtdichte an neun verschiedenen Orten der homogenen Fläche der Ulbrichtkugel gemessen werden. Die Messung erfolgte vom ersten (oben links) bis zum neunten Feld (unten rechts) in chronologischer Reihenfolge. Die angefertigte Schablone wurde dazu so vor die Ulbrichtkugel positioniert und von anderen Pappen verdeckt, dass nur das zu messende Feld frei blieb. Die Einrichtung des Messgerätes erfolgte ähnlich wie bei dem vorhergehenden Messaufbau beschrieben und mit maximaler Helligkeit der Ulbrichtkugel.

Wiederum wurden zwei Studenten benötigt, um die Einrichtung vorzunehmen. Der Erste versuchte das ausgeschnittene Feld so gut wie möglich zu erfassen und mithilfe des zweiten Studenten sowie eines Bleistiftes wurde die Position des Messgerätes derart angepasst, dass die größtmögliche Fläche gemessen werden konnte. Die Messung erfolgte ebenfalls in den Leistungsstufen 70 und 100 Prozent und in den im vorhergehenden Abschnitt genannten Helligkeitsstufen (100lx bis 8400lx). Entsprechend der vorhergehenden Messung wurden auch hier die minimal und maximal einstellbaren Helligkeitswerte mit den dazugehörigen Leuchtdichten notiert, gingen aber nicht in die Auswertung ein. Zuerst wurde bei 70 Prozent Leistung die Messwerte, insofern möglich, aufgenommen, darauffolgend bei 100 Prozent Leistung. Bei jedem Helligkeitswert wurde die Leuchtdichte gemessen und notiert.

Bei den Feldern eins und zwei wurden die Messungen bei 100 Prozent Leistung wiederholt. Da keine großen Abweichungen zur ersten Messung auftraten, wurde die Korrektheit der Messwerte anschließend nur noch stichprobenartig durchgeführt. Die eingestellten Parameter des Leuchtdichtemessgerätes wurden gegenüber der vorhergehenden Messung nicht verändert. Die Messwerte können dem Messprotokoll entnommen werden.

4 Messergebnisse

Um eine bessere Übersicht über die gemessenen Werte zu erhalten wurden die Messwerte in das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel übertragen. Sowohl für 70- als auch für 100 Prozent wurde in diesem Programm die Maske rekonstruiert und für jedes Feld die entsprechend gemessene Leuchtdichte eingetragen (siehe unten). Als Referenz-Leuchtdichte diente die zuvor ohne Maske gemessene Leuchtdichte der kompletten homogenen Fläche bei der dazugehörigen Helligkeit in Lux. Um die Leuchtdichteabweichungen zu verdeutlichen, wurde eine prozentuale Abweichung auf die Bezugsabweichung angegeben und in einem Diagramm für jede Helligkeitsstufe dargestellt. Im Folgenden werden nun die Maske und das dazugehörige Diagramm (Abbildung 8 bis 24) präsentiert. Die jeweiligen Farben bzw. Objekte (Raute, Viereck, Dreieck) zeigen, um welches Feld in der Maske es sich handelt. Zur besseren Übersicht sind jeweils beim ersten Diagramm der Messreihe die einzelnen Objekte mit der Ziffer des Feldes, um welches es sich handelt, beschriftet.

4.1 Ergebnisse bei 70 %

Helligkeit 100 Lux

Leuchtdichte
(Bezug) 45,6 cd/m²

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 49,5 cd/m ²	Leuchtdichte: 49,9 cd/m ²	Leuchtdichte: 50 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 8,6 %	Abweichung auf Bezug: 9,4 %	Abweichung auf Bezug: 9,6 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 46,1 cd/m ²	Leuchtdichte: 45,7 cd/m ²	Leuchtdichte: 46,9 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 1,2 %	Abweichung auf Bezug: 0,2 %	Abweichung auf Bezug: 2,9 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 45,2 cd/m ²	Leuchtdichte: 44,7 cd/m ²	Leuchtdichte: 46,7 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: -0,8 %	Abweichung auf Bezug: -2,0 %	Abweichung auf Bezug: 2,5 %

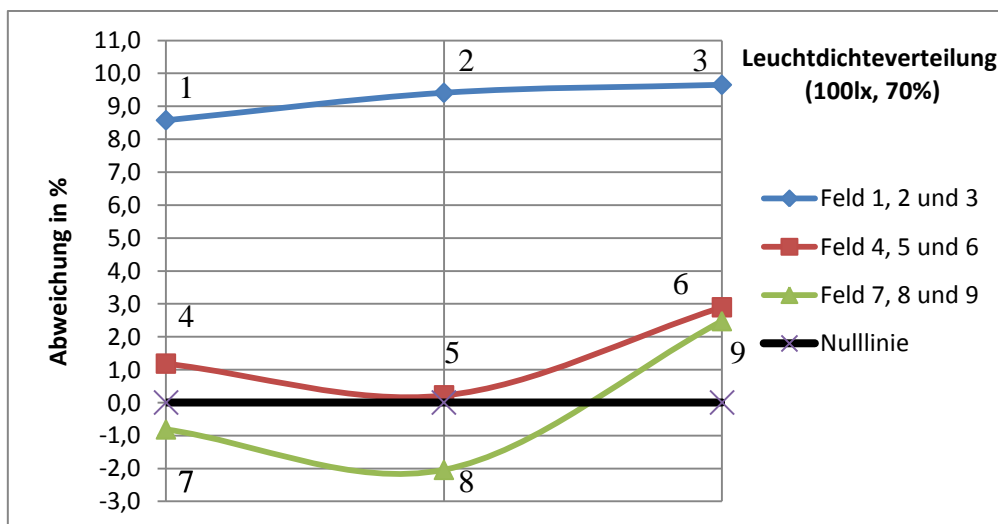


Abbildung 8: Leuchtdichteverteilung (100 lx, 70 %)

Helligkeit 500 Lux

Leuchtdichte
(Bezug) 228 cd/m²

Feld 1 Leuchtdichte: 238 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 4,1 %	Feld 2 Leuchtdichte: 242 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 6,0 %	Feld 3 Leuchtdichte: 240 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 4,9 %
Feld 4 Leuchtdichte: 234 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 2,5 %	Feld 5 Leuchtdichte: 234 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 2,5 %	Feld 6 Leuchtdichte: 238 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 4,0 %
Feld 7 Leuchtdichte: 227 cd/m ² Abweichung auf - Bezug: 0,6 %	Feld 8 Leuchtdichte: 225 cd/m ² Abweichung auf - Bezug: 1,6 %	Feld 9 Leuchtdichte: 231 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 1,3 %

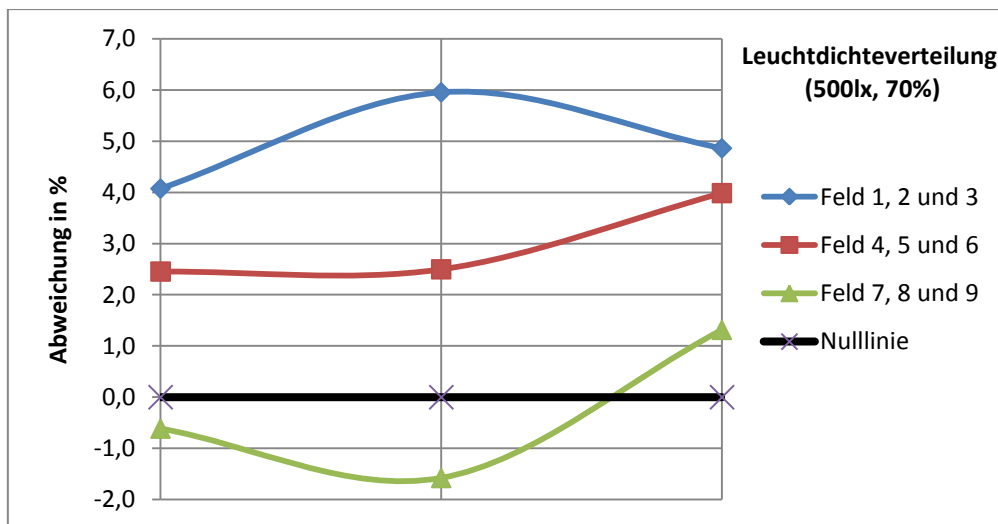


Abbildung 9: Leuchtdichteverteilung (500 lx, 70 %)

Helligkeit 1000 Lux
 Leuchtdichte 460 cd/m²
 (Bezug)

<u>Feld 1</u> Leuchtdichte: 469 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 1,9 %	<u>Feld 2</u> Leuchtdichte: 471 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 2,4 %	<u>Feld 3</u> Leuchtdichte: 470 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 2,2 %
<u>Feld 4</u> Leuchtdichte: 467 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 1,5 %	<u>Feld 5</u> Leuchtdichte: 467 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 1,4 %	<u>Feld 6</u> Leuchtdichte: 472 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 2,6 %
<u>Feld 7</u> Leuchtdichte: 453 cd/m ² Abweichung auf - Bezug: 1,5 %	<u>Feld 8</u> Leuchtdichte: 447 cd/m ² Abweichung auf - Bezug: 2,8 %	<u>Feld 9</u> Leuchtdichte: 465 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 1,0 %

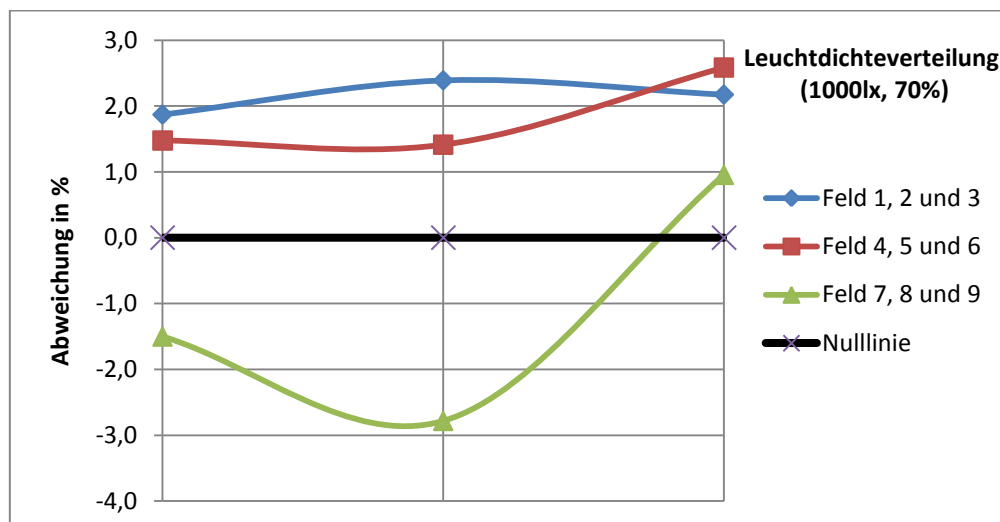


Abbildung 10: Leuchtdichteverteilung (1000 lx, 70 %)

Helligkeit 1200 Lux
 Leuchtdichte 554 cd/m²
 (Bezug)

Feld 1	Feld 2	Feld 3
Leuchtdichte: 559 cd/m ²	Leuchtdichte: 563 cd/m ²	Leuchtdichte: 562 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 1,0 %	Bezug: 1,7 %	Bezug: 1,4 %
Feld 4	Feld 5	Feld 6
Leuchtdichte: 561 cd/m ²	Leuchtdichte: 561 cd/m ²	Leuchtdichte: 562 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 1,2 %	Bezug: 1,3 %	Bezug: 1,5 %
Feld 7	Feld 8	Feld 9
Leuchtdichte: 548 cd/m ²	Leuchtdichte: 545 cd/m ²	Leuchtdichte: 557 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf -	Abweichung auf
Bezug: -1,1 %	Bezug: 1,6 %	Bezug: 0,6 %

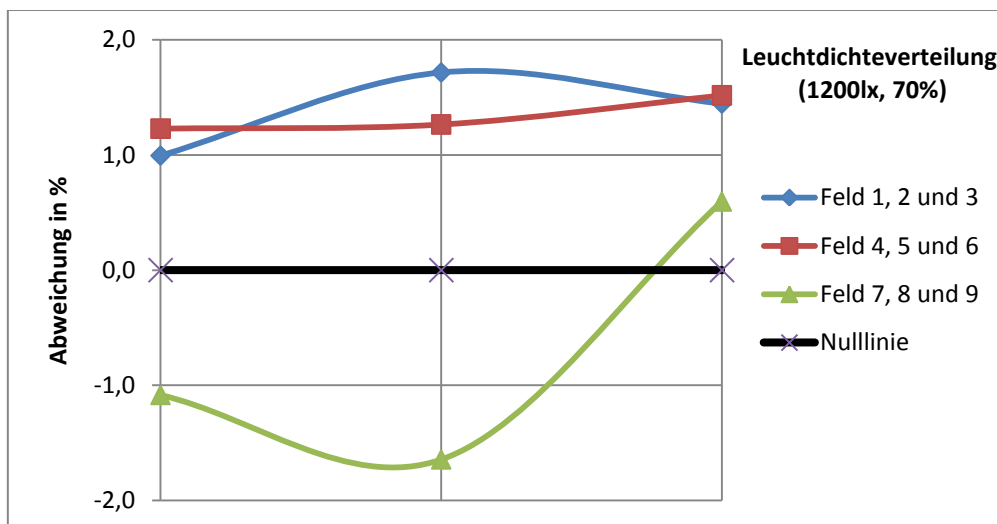


Abbildung 11: Leuchtdichteverteilung (1200 lx, 70 %)

Helligkeit 2400 Lux

Leuchtdichte
(Bezug) 1110 cd/m²

Feld 1 Leuchtdichte: 1105 cd/m ² Abweichung auf Bezug: -0,5 %	Feld 2 Leuchtdichte: 1109 cd/m ² Abweichung auf Bezug: -0,1 %	Feld 3 Leuchtdichte: 1110 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,0 %
Feld 4 Leuchtdichte: 1111 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,1 %	Feld 5 Leuchtdichte: 1109 cd/m ² Abweichung auf Bezug: -0,1 %	Feld 6 Leuchtdichte: 1113 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,3 %
Feld 7 Leuchtdichte: 1101 cd/m ² Abweichung auf Bezug: -0,8 %	Feld 8 Leuchtdichte: 1101 cd/m ² Abweichung auf Bezug: -0,8 %	Feld 9 Leuchtdichte: 1118 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,7 %

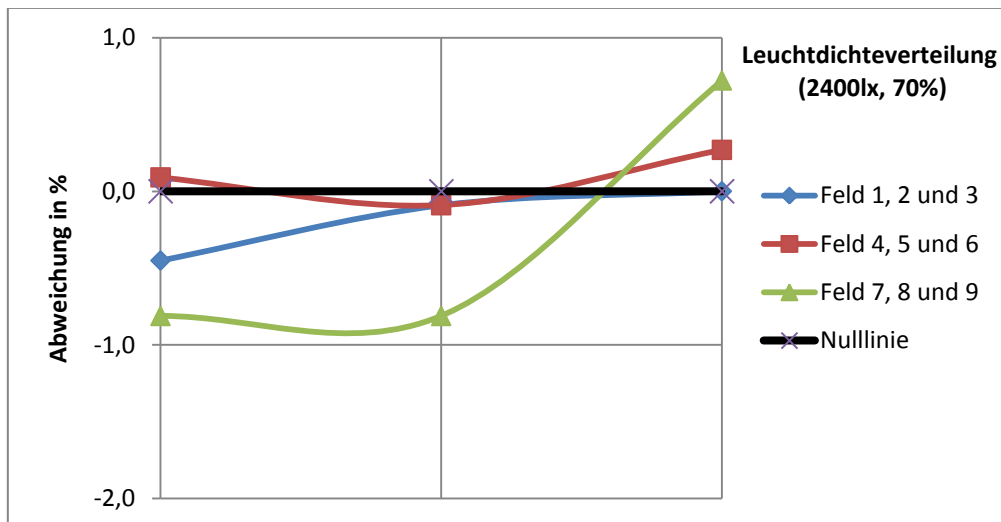


Abbildung 12: Leuchtdichteverteilung (2400 lx, 70 %)

Helligkeit 3600 Lux
 Leuchtdichte 1632 cd/m²
 (Bezug)

Feld 1	Feld 2	Feld 3
Leuchtdichte: 1635 cd/m ²	Leuchtdichte: 1640 cd/m ²	Leuchtdichte: 1638 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 0,2 %	Bezug: 0,5 %	Bezug: 0,4 %
Feld 4	Feld 5	Feld 6
Leuchtdichte: 1631 cd/m ²	Leuchtdichte: 1629 cd/m ²	Leuchtdichte: 1633 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: -0,1 %	Bezug: -0,2 %	Bezug: 0,1 %
Feld 7	Feld 8	Feld 9
Leuchtdichte: 1630 cd/m ²	Leuchtdichte: 1627 cd/m ²	Leuchtdichte: 1646 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: -0,1 %	Bezug: -0,3 %	Bezug: 0,9 %

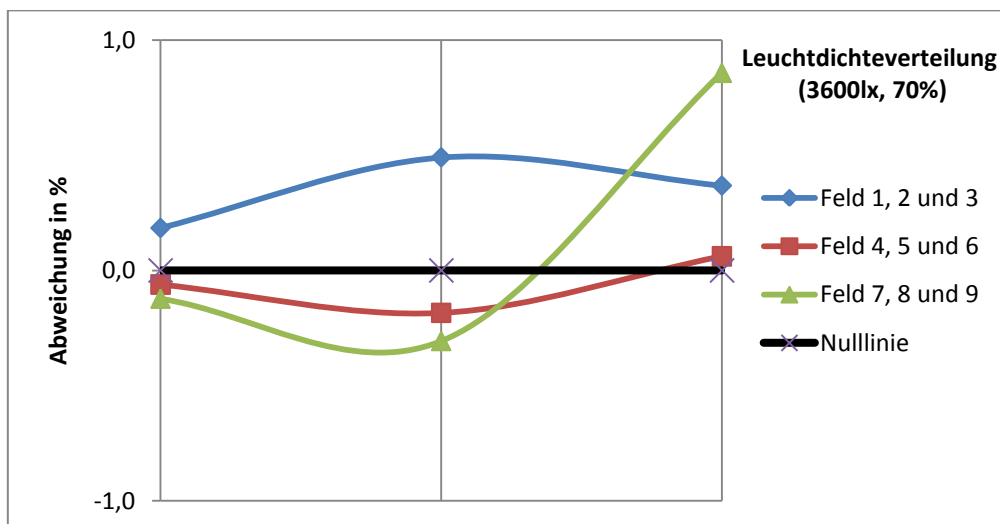


Abbildung 13: Leuchtdichteverteilung (3600 lx, 70 %)

Helligkeit 4800 Lux
 Leuchtdichte (Bezug) 2162 cd/m²

Feld 1	Feld 2	Feld 3
Leuchtdichte: 2181 cd/m ²	Leuchtdichte: 2179 cd/m ²	Leuchtdichte: 2181 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 0,9 %	Abweichung auf Bezug: 0,8 %	Abweichung auf Bezug: 0,9 %
Feld 4	Feld 5	Feld 6
Leuchtdichte: 2171 cd/m ²	Leuchtdichte: 2165 cd/m ²	Leuchtdichte: 2173 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 0,4 %	Abweichung auf Bezug: 0,1 %	Abweichung auf Bezug: 0,5 %
Feld 7	Feld 8	Feld 9
Leuchtdichte: 2166 cd/m ²	Leuchtdichte: 2165 cd/m ²	Leuchtdichte: 2189 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 0,2 %	Abweichung auf Bezug: 0,1 %	Abweichung auf Bezug: 1,2 %

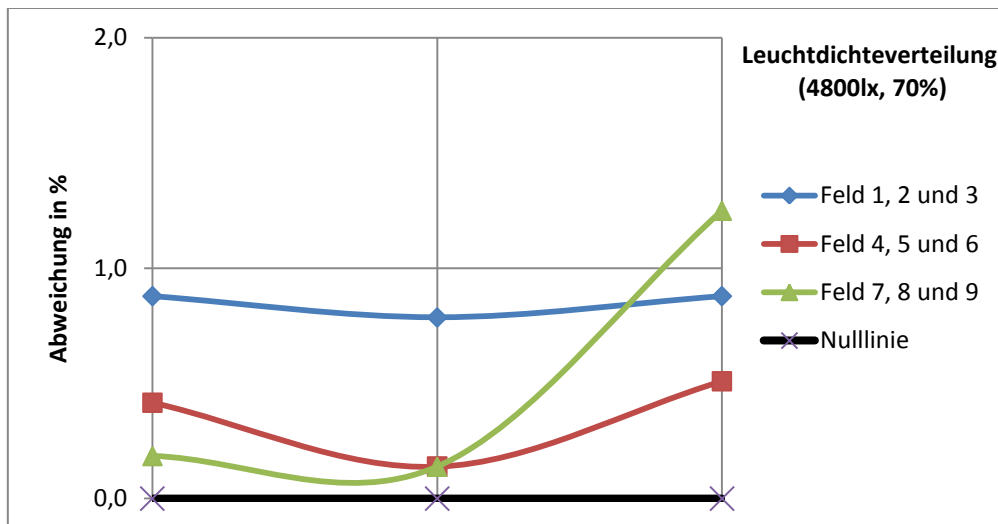


Abbildung 14: Leuchtdichteverteilung (4800 lx, 70 %)

4.2 Ergebnisse bei 100%:

Helligkeit 100 Lux
 Leuchtdichte (Bezug) 45,5 cd/m²

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 49,3 cd/m ²	Leuchtdichte: 49,9 cd/m ²	Leuchtdichte: 49,4 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 8,4 %	Abweichung auf Bezug: 9,8 %	Abweichung auf Bezug: 8,5 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 49,4 cd/m ²	Leuchtdichte: 49,3 cd/m ²	Leuchtdichte: 50,4 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 8,6 %	Abweichung auf Bezug: 8,3 %	Abweichung auf Bezug: 10,8 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 46,3 cd/m ²	Leuchtdichte: 45,1 cd/m ²	Leuchtdichte: 45 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 1,8 %	Abweichung auf Bezug: -0,9 %	Abweichung auf Bezug: -1,0 %

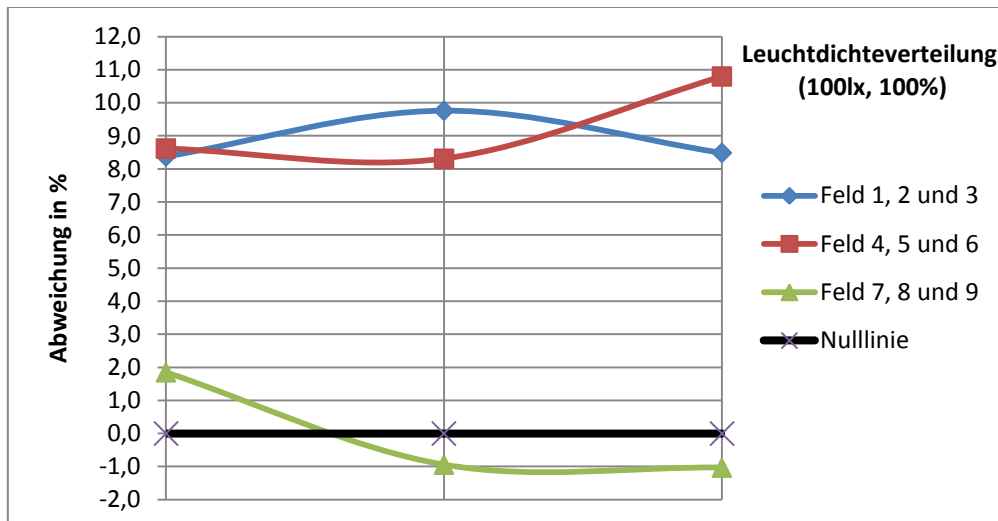


Abbildung 15: Leuchtdichteverteilung (100 lx, 100 %)

Helligkeit 500 Lux
 Leuchtdichte 227 cd/m²
 (Bezug)

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 244 cd/m ²	Leuchtdichte: 239 cd/m ²	Leuchtdichte: 241 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 7,4 %	Bezug: 5,2 %	Bezug: 6,3 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 245 cd/m ²	Leuchtdichte: 243 cd/m ²	Leuchtdichte: 244 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 7,8 %	Bezug: 6,9 %	Bezug: 7,7 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 230 cd/m ²	Leuchtdichte: 227 cd/m ²	Leuchtdichte: 231 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 1,2 %	Bezug: 0,0 %	Bezug: 1,6 %

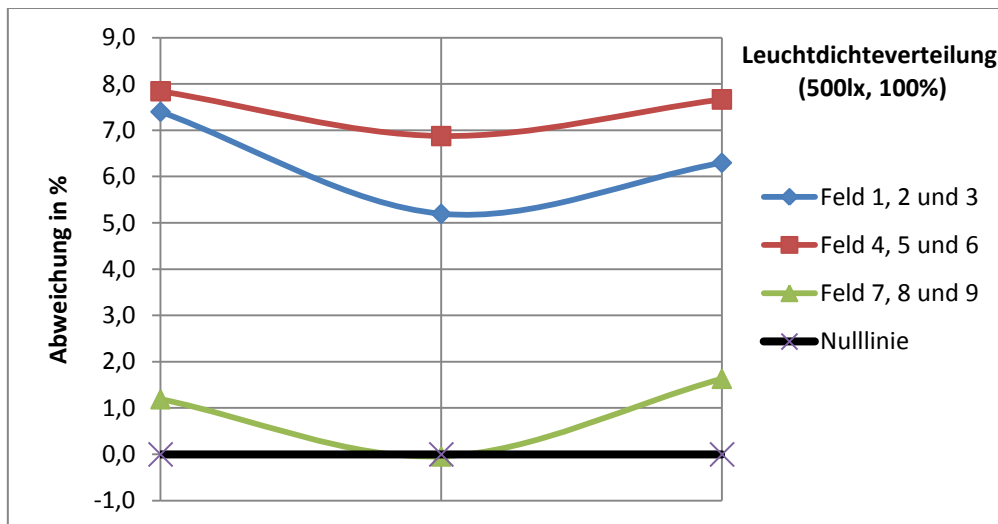


Abbildung 16: Leuchtdichteverteilung (500 lx, 100 %)

Helligkeit 1000 Lux
 Leuchtdichte 461 cd/m²
 (Bezug)

Feld 1	Feld 2	Feld 3
Leuchtdichte: 470 cd/m ²	Leuchtdichte: 470 cd/m ²	Leuchtdichte: 474 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 2,1 %	Bezug: 2,0 %	Bezug: 2,8 %
Feld 4	Feld 5	Feld 6
Leuchtdichte: 478 cd/m ²	Leuchtdichte: 482 cd/m ²	Leuchtdichte: 480 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 3,8 %	Bezug: 4,7 %	Bezug: 4,2 %
Feld 7	Feld 8	Feld 9
Leuchtdichte: 463 cd/m ²	Leuchtdichte: 451 cd/m ²	Leuchtdichte: 463 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf -	Abweichung auf
Bezug: 0,5 %	Bezug: 2,1 %	Bezug: 0,6 %

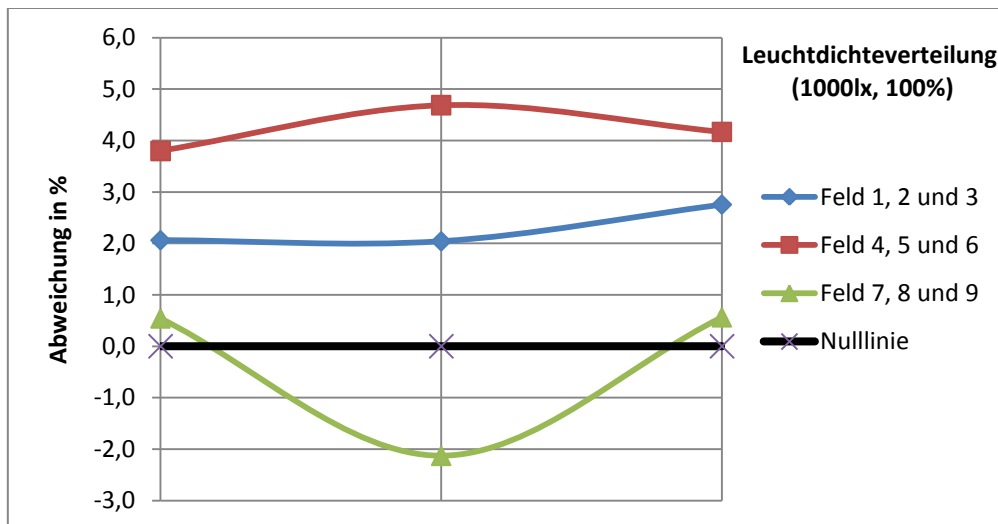


Abbildung 17: Leuchtdichteverteilung (1000 lx, 100 %)

Helligkeit 1200 Lux
 Leuchtdichte 552 cd/m²
 (Bezug)

Feld 1	Feld 2	Feld 3
Leuchtdichte: 565 cd/m ²	Leuchtdichte: 564 cd/m ²	Leuchtdichte: 564 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 2,4 %	Abweichung auf Bezug: 2,3 %	Abweichung auf Bezug: 2,2 %
Feld 4	Feld 5	Feld 6
Leuchtdichte: 572 cd/m ²	Leuchtdichte: 568 cd/m ²	Leuchtdichte: 556 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 3,6 %	Abweichung auf Bezug: 2,9 %	Abweichung auf Bezug: 0,7 %
Feld 7	Feld 8	Feld 9
Leuchtdichte: 554 cd/m ²	Leuchtdichte: 544 cd/m ²	Leuchtdichte: 558 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 0,4 %	Abweichung auf Bezug: 1,4 %	Abweichung auf Bezug: 1,1 %

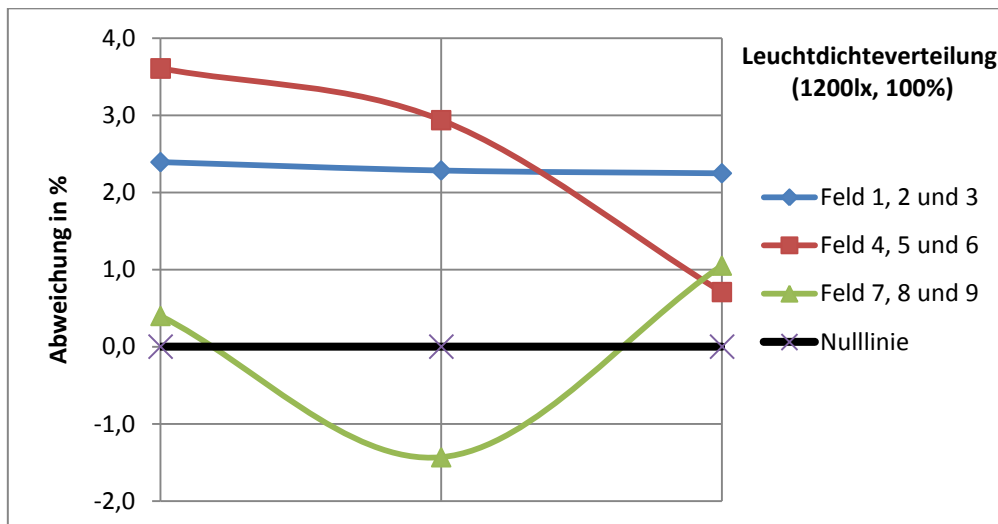


Abbildung 18: Leuchtdichteverteilung (1200 lx, 100 %)

Helligkeit 2400 Lux
 Leuchtdichte 1116 cd/m²
 (Bezug)

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 1114 cd/m ²	Leuchtdichte: 1109 cd/m ²	Leuchtdichte: 1119 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: -0,2 %	Abweichung auf Bezug: -0,6 %	Abweichung auf Bezug: 0,3 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 1133 cd/m ²	Leuchtdichte: 1123 cd/m ²	Leuchtdichte: 1117 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 1,5 %	Abweichung auf Bezug: 0,6 %	Abweichung auf Bezug: 0,1 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 1119 cd/m ²	Leuchtdichte: 1104 cd/m ²	Leuchtdichte: 1119 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 0,3 %	Abweichung auf Bezug: -1,1 %	Abweichung auf Bezug: 0,3 %

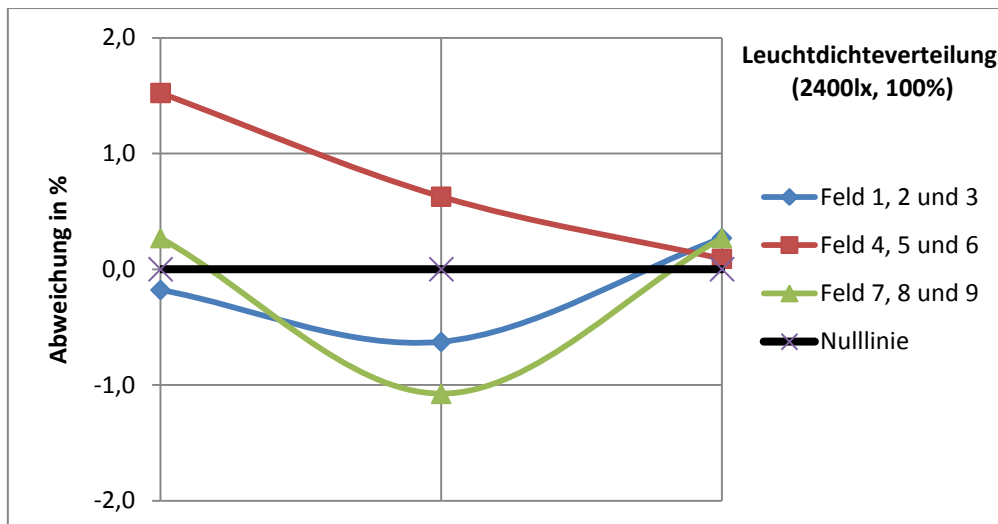


Abbildung 19: Leuchtdichteverteilung (2400 lx, 100 %)

Helligkeit 3600 Lux
 Leuchtdichte 1669 cd/m²
 (Bezug)

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 1650 cd/m ²	Leuchtdichte: 1657 cd/m ²	Leuchtdichte: 1666 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: -1,1 %	Abweichung auf Bezug: -0,7 %	Abweichung auf Bezug: -0,2 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 1685 cd/m ²	Leuchtdichte: 1670 cd/m ²	Leuchtdichte: 1629 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 1,0 %	Abweichung auf Bezug: 0,1 %	Abweichung auf Bezug: -2,4 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 1677 cd/m ²	Leuchtdichte: 1661 cd/m ²	Leuchtdichte: 1680 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 0,5 %	Abweichung auf Bezug: -0,5 %	Abweichung auf Bezug: 0,7 %

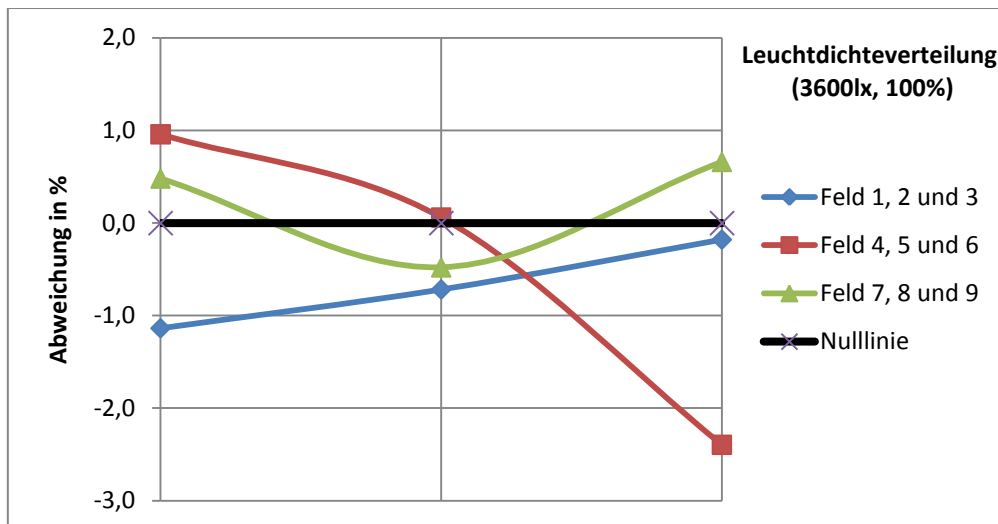


Abbildung 20: Leuchtdichteverteilung (3600 lx, 100 %)

Helligkeit 4800 Lux
 Leuchtdichte 2193 cd/m²
 (Bezug)

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 2181 cd/m ²	Leuchtdichte: 2183 cd/m ²	Leuchtdichte: 2192 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: -0,5 %	Bezug: -0,5 %	Bezug: 0,0 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 2211 cd/m ²	Leuchtdichte: 2198 cd/m ²	Leuchtdichte: 2152 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 0,8 %	Bezug: 0,2 %	Bezug: -1,9 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 2205 cd/m ²	Leuchtdichte: 2182 cd/m ²	Leuchtdichte: 2204 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 0,5 %	Bezug: -0,5 %	Bezug: 0,5 %

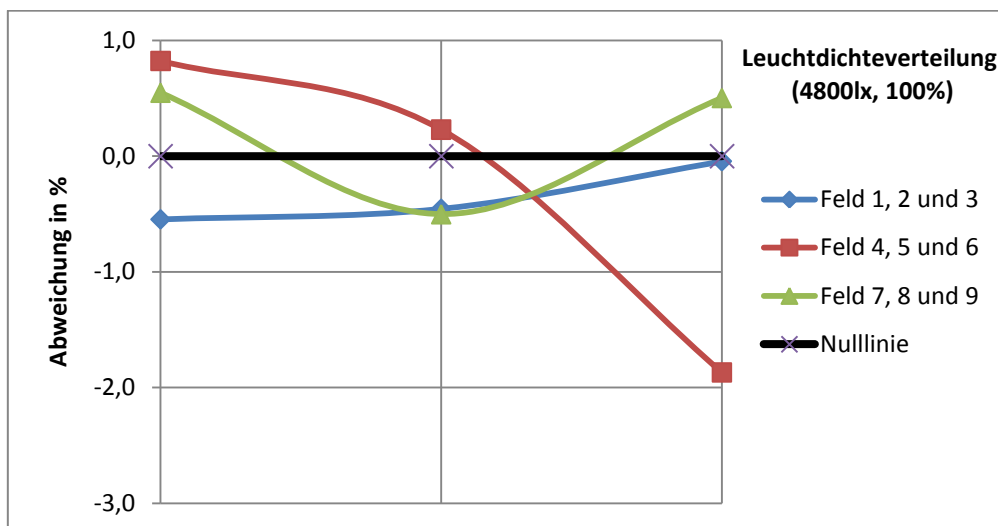


Abbildung 21: Leuchtdichteverteilung (4800 lx, 100 %)

Helligkeit 6000 Lux
 Leuchtdichte 2719 cd/m²
 (Bezug)

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 2707 cd/m ²	Leuchtdichte: 2709 cd/m ²	Leuchtdichte: 2723 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: -0,4 %	Abweichung auf Bezug: -0,4 %	Abweichung auf Bezug: 0,1 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 2744 cd/m ²	Leuchtdichte: 2706 cd/m ²	Leuchtdichte: 2696 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 0,9 %	Abweichung auf Bezug: -0,5 %	Abweichung auf Bezug: -0,8 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 2733 cd/m ²	Leuchtdichte: 2711 cd/m ²	Leuchtdichte: 2732 cd/m ²
Abweichung auf Bezug: 0,5 %	Abweichung auf Bezug: -0,3 %	Abweichung auf Bezug: 0,5 %

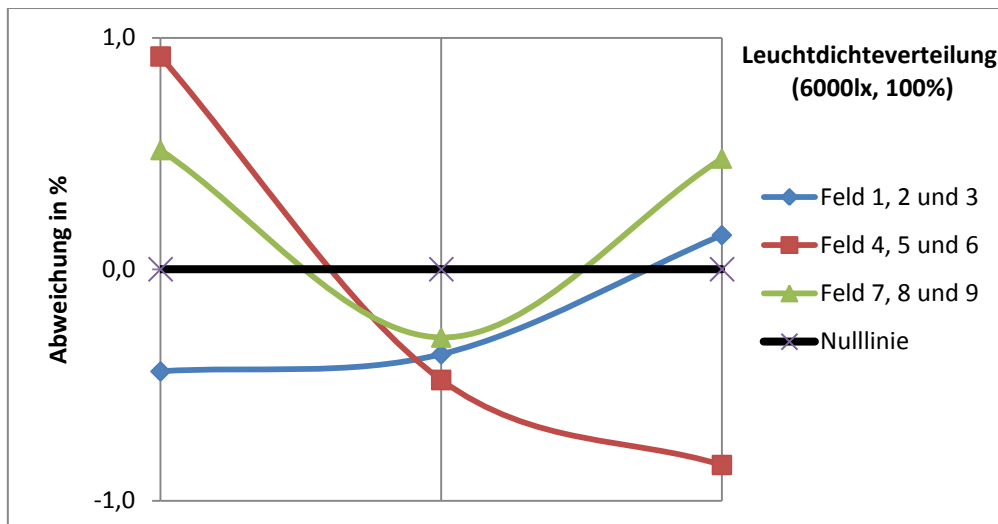


Abbildung 22: Leuchtdichteverteilung (6000 lx, 100 %)

Helligkeit 7200 Lux
 Leuchtdichte (Bezug) 3260 cd/m²

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 3254 cd/m ²	Leuchtdichte: 3251 cd/m ²	Leuchtdichte: 3274 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: -0,2 %	Bezug: -0,3 %	Bezug: 0,4 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 3288 cd/m ²	Leuchtdichte: 3238 cd/m ²	Leuchtdichte: 3240 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 0,9 %	Bezug: -0,7 %	Bezug: -0,6 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 3274 cd/m ²	Leuchtdichte: 3254 cd/m ²	Leuchtdichte: 3277 cd/m ²
Abweichung auf	Abweichung auf	Abweichung auf
Bezug: 0,4 %	Bezug: -0,2 %	Bezug: 0,5 %

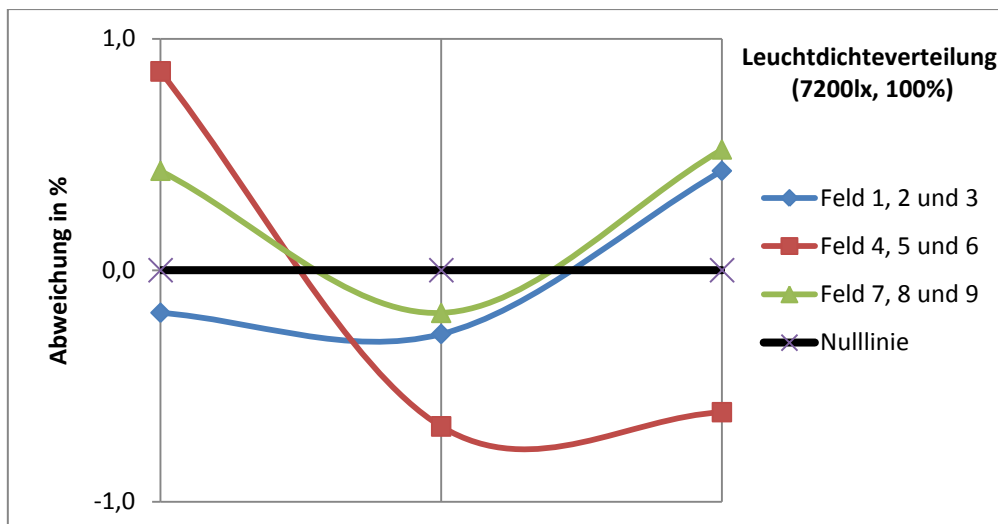


Abbildung 23: Leuchtdichteverteilung (7200 lx, 100 %)

Helligkeit 8400 Lux
 Leuchtdichte 3782 cd/m²
 (Bezug)

<u>Feld 1</u>	<u>Feld 2</u>	<u>Feld 3</u>
Leuchtdichte: 3786 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,1 %	Leuchtdichte: 3790 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,2 %	Leuchtdichte: 3809 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,7 %
<u>Feld 4</u>	<u>Feld 5</u>	<u>Feld 6</u>
Leuchtdichte: 3812 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,8 %	Leuchtdichte: 3769 cd/m ² Abweichung auf Bezug: -0,3 %	Leuchtdichte: 3774 cd/m ² Abweichung auf Bezug: -0,2 %
<u>Feld 7</u>	<u>Feld 8</u>	<u>Feld 9</u>
Leuchtdichte: 3807 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,7 %	Leuchtdichte: 3772 cd/m ² Abweichung auf Bezug: -0,3 %	Leuchtdichte: 3807 cd/m ² Abweichung auf Bezug: 0,7 %

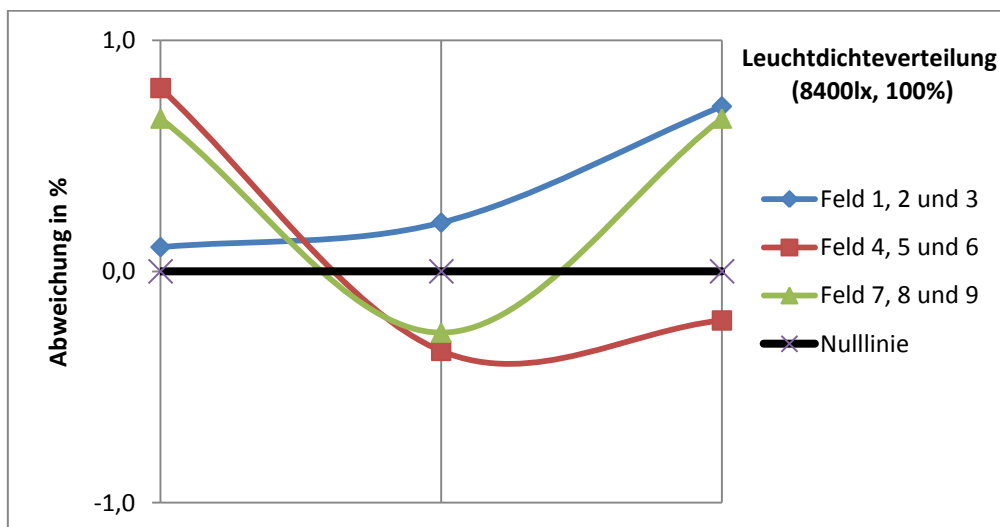


Abbildung 24: Leuchtdichteverteilung (8400 lx, 100 %)

4.3 Auswertung der Messergebnisse

Bei Betrachtung der grafischen Darstellung der Messergebnisse lässt sich feststellen, dass die Messkurven einem Trend folgen. Die Kurvenverläufe bleiben in ihrer Ausprägung ähnlich und schmiegen sich dem Bezug immer mehr an, je höher die Beleuchtungsstärke des Leuchtmittels der Ulbrichtkugel ist. Unter 2400 lx ist die Streuung noch sehr groß, über 2400 lx sind die überwiegenden Abweichungen, sowohl bei 70 % als auch 100 % Leistung des Leuchtmittels, bei unter einem Prozent. Einige wenige Ausnahmen brechen diese Regel. Dies sind z. B.:

- 70 %: 4800 lx: Feld 9 zu hell (Abweichung > 1 %)
- 100 %: 2400 lx: Feld 4 zu hell (Abweichung > 1 %)
3600 lx: Feld 6 zu dunkel (Abweichung < 1 %)
4800 lx: Feld 6 zu dunkel (Abweichung < 1 %)

Weiterhin lässt sich feststellen, dass die Kurvenverläufe zwar immer ähnlich sind, jedoch keine Aussage getroffen werden kann, ob die äußeren oder inneren Felder der Maske die höchsten oder geringsten Abweichungen aufweisen. Dies ändert sich ständig mit der Ausprägung der Kurve.

Als Fazit dieser Messung liegt der Entschluss nahe, dass die Ulbrichtkugel für Messzwecke mit einer Beleuchtungsstärke über 2400 lx genutzt werden sollte. Ab diesem Wert kann die Leuchtdichtevertelung als eine annähernd homogene Lichtfläche der Ulbrichtkugel betrachtet werden. Demzufolge ist sie unter 2400 lx nicht für Messzwecke geeignet. Mit Abweichungen von bis zu 11 % zum Bezugswert können Beeinflussungen auf weitere Messungen nicht ausgeschlossen bzw. kaum mehr vernachlässigt werden.

5 Messfehler und Verbesserungsmöglichkeiten

Da jegliche Messungen ohne Messfehler schwer bis gar nicht zu realisieren sind, wird an dieser Stelle eine kritische Beurteilung der Messfehler durchgeführt. Ebenfalls sollen Verbesserungen genannt werden, welche bei der Messung auffielen. Diese können als Grundlage dienen, um erneute Messungen zu perfektionieren.

5.1 Messfehler

1. Als kritischster Messfehler ist die Optik des Messgerätes einzuordnen. Es war nicht möglich, den gesamten Messausschnitt einzufangen. Somit wurden Leuchtdichteverhältnisse bei der Messung einfach nicht berücksichtigt.
2. Der Raum konnte nicht komplett verdunkelt werden. Es gelangt durch den Unterbau der Ulbrichtkugel, genauer durch die Lüftungsgitter, Restlicht in die Umgebung und wird an der Laborwand reflektiert.
3. Zwar lassen sich die Messfelder mithilfe der Maske leicht reproduzieren, allerdings ist die Justierung des Ausschnittes sehr mühsam. Durch die Optik des Messgerätes kann nicht erkannt werden, ob der zu sehende Rand, welcher sich um die helle Fläche abbildet, zur Maske oder zum Messgerät gehört. Erst mithilfe einer weiteren Person und einem Hilfsmittel (z. B. Bleistift) ist es möglich die Ränder zu definieren.
4. Der Messbereich des Luxmeters an der Ulbrichtkugel ist im Lux-Bereich mit zwei Nachkommastellen abzulesen. Im Kilolux-Bereich entfällt eine Nachkommastelle. In diesem Bereich ist ein mehrmaliges kurzes Drücken (zwei bis drei Mal) auf der Fernbedienung möglich, ohne dass sich am Messwert etwas ändert.

5.2 Verbesserungsvorschläge

1. Um den Einfluss der Messoptik abschätzen zu können, kann zum einen eine Optik eingesetzt werden mit der es möglich ist, den gesamten Ausschnitt zu erfassen oder das Messgerät wird während der Messung um 180° gedreht. Dadurch wird der halbrunde Ausschnitt der Optik einmal nach oben und einmal nach unten gerichtet. Ein Vergleich der aufgenommenen Messungen sollte Aufschluss über den Einfluss geben.
2. Der Einfluss des Restlichtes wurde nicht untersucht. Falls ein Einfluss vorhanden ist, wird dieser sicherlich kleiner, je größer die Beleuchtungsstärke gewählt wird. Eine Untersuchung des Einflusses bei geringer Beleuchtungsstärke wäre interessant, um festzustellen, ob sich die relativ hohen Abweichungen damit erklären lassen.
3. Die Entwicklung eines Verfahrens oder die Nutzung von Hilfsgeräten, welche eine präzisere Einstellung des Messausschnittes ermöglichen.

Quellenverzeichnis:

[Osram]

http://www.osram.de/osram_de/Lichtplanung/Ueber_Licht/Licht_%26_Raum/Lichtechnische_Groessen/Quantitative/index.html (Zugriff am 23.03.2011)

[Minolta]

Benutzerhandbuch Konica Minolta LS – 100/LS – 110; Quelle:
<https://imtdb.rz.tu-ilmenau.de/wiki/> (Zugriff am 20.03.2011)

Anhang

Messtabelle 1: 70% (8,44V) mit Maske

Leuchtdichte in cd/m²

Helligkeit in lx	Feld 1		Feld 2		Feld 3		Feld 4		Feld 5		Feld 6		Feld 7		Feld 8		Feld 9	
	min	0,84	0,362	0,73	0,338	0,8	0,353	0,73	0,327	0,79	0,326	0,74	0,323	0,75	0,323	0,75	0,323	0,75
100	49,51		49,89		50		46,14		45,7		46,92		45,23		44,67		46,73	
500	237,7		242		239,5		234		234,1		237,5		227		224,8		231,4	
1000	468,8		471,2		470,2		467		466,7		472,1		453,3		447,4		464,6	
1200	559,4		563,4		561,9		560,7		560,9		562,3		547,9		544,8		557,2	
2400	1105		1109		1110		1111		1109		1113		1101		1101		1118	
3600	1635		1640		1638		1631		1629		1633		1630		1627		1646	
4800	2181		2179		2181		2171		2165		2173		2166		2165		2189	
max	5790	2613	5810	2622	5780	2612	5790	2596	5790	2587	5800	2601	5810	2601	5780	2587	5820	2630

Messtabelle 2: 100% (11,76V) mit Maske

Leuchtdichte in cd/m²

Helligkeit in lx	Feld 1		Feld 2		Feld 3		Feld 4		Feld 5		Feld 6		Feld 7		Feld 8		Feld 9	
	min	1,16	0,566	1,15	0,555	1,14	0,555	1,14	0,521	1,15	0,508	1,14	0,52	1,15	0,503	1,2	0,493	1,2
100	49,3		49,93		49,35		49,41		49,27		50,4		46,33		45,06		45,02	
500	243,8		238,8		241,3		244,8		242,6		244,4		229,7		226,9		230,7	
1000	470,3		470,2		473,5		478,3		482,4		480		463,3		451		463,4	
1200	565		564,4		564,2		571,7		568		555,7		554		543,9		557,6	
2400	1114		1109		1119		1133		1123		1117		1119		1104		1119	
3600	1650		1657		1666		1685		1670		1629		1677		1661		1680	
4800	2181		2183		2192		2211		2198		2152		2205		2182		2204	
6000	2707		2709		2723		2744		2706		2696		2733		2711		2732	
7200	3254		3251		3274		3288		3238		3240		3274		3254		3277	
8400	3786		3790		3809		3812		3769		3774		3807		3772		3807	
max	9410	4207	9370	4185	9310	4202	9600	4202	9600	4169	9600	4200	9280	4181	9,33	4168	9,28	4181

Messtabelle 3: ohne Maske

Leuchtdichte in cd/m²

Helligkeit in lx	70%		Helligkeit in lx	100%	
	min	0,69		0,31	min
100	45,6		100	45,49	
500	228,4		500	227	
1000	460,2		1000	460,8	
1200	553,9		1200	551,8	
2400	1110		2400	1116	
3600	1632		3600	1669	
4800	2162		4800	2193	
			6000	2719	
			7200	3260	
max	5550	2488	8400	3782	
			max	8890	3977