FELSCH LIGHTING DESIGN

DER GRADIENT ALS **MASS DES CHARAKTERS**

Entwicklung einer Messmethodik zur Ermittlung
und Quantifizierung des Härtegrads des Lichts (HgF)

EINLEITUNG

Die vorliegende Publikation zum Thema „Härtegrad des Lichts“ (HgF) soll eine Einladung für jeden Lichtinteressierten sein, das Thema mit zu durchdenken und diesem Qualitätsmerkmal der Beleuchtung einen festen Platz im planerischen Handeln zu sichern und es weiterzuentwickeln.
Im ersten Teil werden die aktuellen Ergebnisse und Betrachtungsansätze aufgezeigt, im zweiten Teil die Grundlagenarbeiten aus der Master Thesis von Clarissa Borgstädt, Master of Arts vorgestellt.

INHALT

TEIL 1

1 Nachweis des Härtegrades des Lichts 03

TEIL 2

Auszüge Masterthesis „Reproduzierbarkeit von Beleuchtungssituationen mit Hilfe des Härtegrades von Licht“
Verfasser: Clarissa Borgstädt
Erstprüfer: Prof. Dr. Roland Greule
Zweitprüfer: Prof. Dr. Robert Mores
Themengeber / Gutachter: Dipl.-Ing. Markus Felsch

2 Entwicklung Demonstrator Messgerät 06

2.1 Kamera 06
2.1.1 Ermittlung der Länge der Objektivverlängerung 07
2.2 Rotation 11
2.3 Messaufbau 11
2.4 Messdatenauswertung 13
2.4.1 Bildauswertungsprogramm 13
2.4.2 Bildauswertung mit LMK LabSoft4 16
2.4.3 Datenauswertung in Excel 18

3 Lichtsimulationsprogramm – Tests und Ergebnisse 19

3.1 Messmethoden und Ergebnisdarstellung 19

4 Entwicklungsmöglichkeiten 21

4.1 Automation von Messgerät und Bildauswertung 21
4.2 Überprüfung der Skala 22
4.3 Bewertung und Einführung des Härtegrades als Planungsgröße 22

Autor und Impressum 24

1

NACHWEIS DES HÄRTEGRADES DES LICHTS

Um die theoretische Herleitung und den Nachweis des Härtegrades des Lichts nachvollziehen zu können, müssen wir uns mit der Entstehung eines Lichtteilchens (Photon) und dessen Aussendung in den Raum befassen.

Ein Photon – oder auch Lichtquant – ist ein Teil einer elektromagnetischen Strahlung. Es besitzt keine Masse, aber Energie und Impuls. Die enthaltene Energie und der enthaltene Puls sind von seiner Frequenz abhängig.

Kurze Frequenzen beinhalten mehr Energie als langwellige Strahlungen. Das lässt sich leicht bei der Lichterzeugung mittels Temperaturstrahler beobachten. Z. B. ist die blaue Flamme die eines Gasbrenners sehr heiß bzw. energiereich, die orange Flamme einer Kerze hingegen ist im Verhältnis recht kühl bzw. energieärmer.

Das von einer Lichtquelle erzeugte Licht wird in Lumen (lm) gemessen und gibt die Strahlungsleistung einer Lichtquelle pro Zeit an, also wieviel sichtbares Licht in den Raum abgegeben wird.

Zusätzlich wird der Wert Lumen mit der Helligkeitsempfindung des menschlichen Auges korreliert. Per Definition liegt die maximale Lichtausbeute einer Lichtquelle bei einer Wellenlänge von 555 nm (photopisch). Das entspricht einem gelb/grünen Farbeindruck. Das theoretische Maximum der Lichterzeugung liegt bei 683 lm/W.

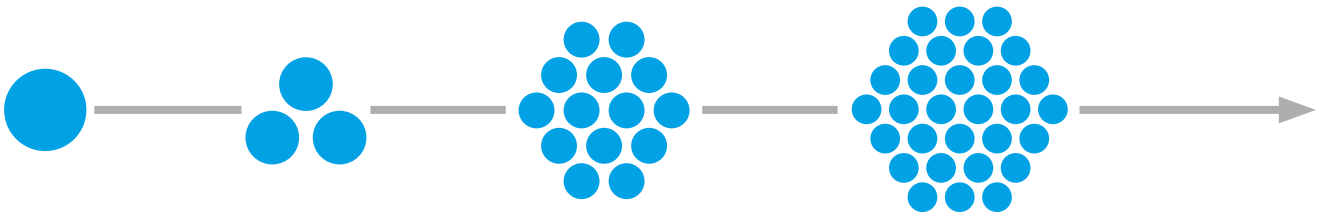
Dieser Lichtstrom einer Lichtquelle wird mehr oder weniger geordnet in den Raum (Raumwinkel) vor oder um die Lichtquelle herum ausgestrahlt. Er wird primär durch das optische System einer Leuchte gelenkt. Dies kann z. B. durch eine diffuse Abdeckung (große Streuung) oder im Gegensatz dazu durch eine klare Linse (wenig Streuung) erfolgen.

Diese primäre Lichtmodulation bestimmt die entstehende Lichtcharakteristik einer Raumlichtsituation. Sekundäre Lichtlenkungen wie z. B. Oberflächenreflexionen machen das Raumlicht immer weicher, niemals härter.

Die Entwicklung der Lichthärte kennt in der Praxis nur eine Richtung: von Hart nach Weich. Bei dieser Transformation zerfällt ein gebündelter Lichtstrahl in „N" viele kleinere Lichtquellen. Eine punktförmige Lichtquelle mit einer Leuchtdichte (L_v) cd/m² weitet sich in viele kleine einzelne Lichtpunkte auf.

Diese Einzellichtpunkte bilden in ihrer Summe und ihrer Verteilung im Raum eine größere emittierende Fläche als die Ursprungsquelle. Das resultierende Licht fällt aus einem größeren Raumwinkel in unser Messgerät.

ABBILDUNG 1 Lichtpunktzerlegung: ein gebündelter Lichtstrahl zerfällt in viele kleinere Lichtquellen auf einer größeren Fläche



Der relevante Betrachtungsraum (Messraum) für die HgF-Messung ist die obere Hemisphäre (1/2) einer Raumwinkelbetrachtung von z. B. 360 Grad x 360 Grad (129.600 Messpunkte). Er wird für die Messwertermittlung in einen Halbraum 360 Grad x 180 Grad (64.800 Messpunkte) reduziert. Dieser kann horizontal oder vertikal betrachtet werden, je nach vorrangiger Nutzung der zu betrachtenden Bezugsfläche.

Technisch gelingt es dem Messkopf die 360-Grad-Betrachtung in 180 Messschritten à 1 Grad zu absolvieren, da sich die Rotationsache mittig der Messfläche bzw. des Schattengebers befindet.

Aus den zuvor beschriebenen Einflussgrößen entsteht die resultierende Lichtcharakteristik eines Raumlichtes. Damit ist die zu definierende Lichthärte (HgF) zunächst multidimensional.

Maßgebliche Faktoren sind:

- **Der Lichtcharakter der Leuchte, also wie weich oder hart das Licht in den Raumwinkel abgegeben wird. Wir nennen das den Lichtweitungsfaktor (LwF).**
- **Anzahl und Positionierung der Lichtquellen**
- **Abstand der Messstelle zu den Lichtquellen**
- **Verortung und Ausrichtung der Messstelle**
- **Aufbau der Messapparatur/Schattengeber/Sensorfläche/Software zur Auswertung**
- **Theoretisch die Zeit einer Messung (mit zunehmender Zeit müsste die Anzahl an Interreflexionen im Raum zunehmen)**

Um diese Vielzahl an Faktoren wieder auf einen greifbaren Wert zurückzuführen, bedienen wir uns einer Momentauf-

Flächenprojektion Kugeloberfläche

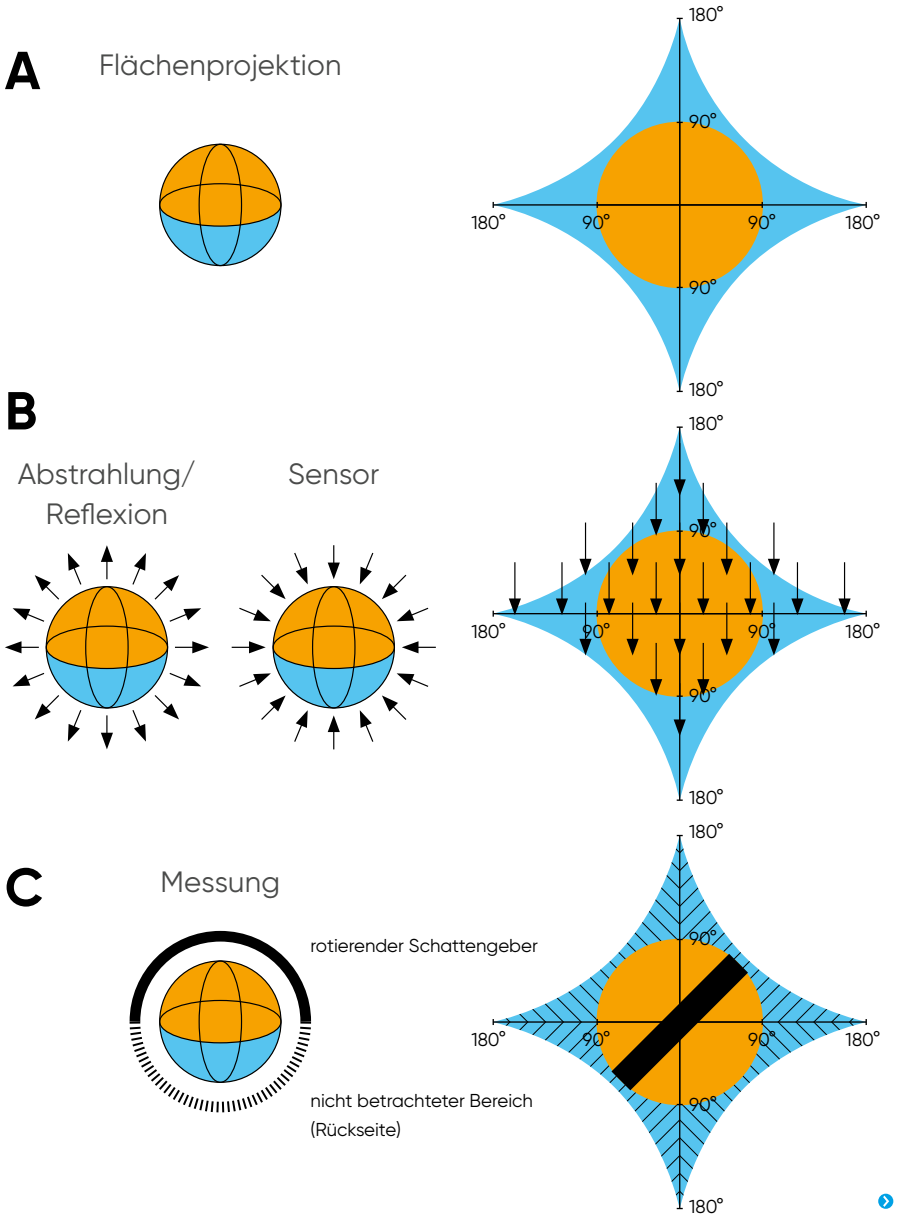


ABBILDUNG 2 Die Grafiken veranschaulichen …

A die Flächenprojektion einer dreidimensionalen Form auf eine zweidimensionale Fläche,

B die Licht-Emission bzw. Licht-Immission in bzw. aus dem Raum und deren zweidimensionale Projektion,

C die Anordnung des Schattengebers über der Messfläche und dessen zweidimensionalen Projektion.

nahme einer Raumlichtsituation. Im Moment der Messung entfalten alle Faktoren ihren eigenen Beitrag zum Ergebnis.

Aus den zuvor beschriebenen 180 Messschritten wird die Messung mit dem höchsten HgF bzw. kleinstem „D" herausgefiltert und als führende Messgröße abgespeichert.

In der bisherigen Betrachtung, u. a. in der Bearbeitung der Masterthesis (siehe folgende Kapitel), galt die höchste Steigung im Übergang von der voll beleuchten Fläche zum Kernschatten als Maß für den HgF.

Diese Betrachtung wird den tatsächlichen Raumlichtbedingen nicht gerecht. Tatsächlich ändert sich der HgF einer Situation durch das Abdimmen der Lichtquellen nicht. Jedoch würde sich die Steigung ändern, da die X-Achse gleich bleibt, während die Y-Achse verändert wird. Diese Herangehensweise würde bei gleichbleibender Lichthärte aber geänderter Helligkeit zu einer Veränderung des HgF-Wertes führen.

Entscheidend bleibt die Strecke „D", welche sich aus der Summe der ermittelten „d" zusammensetzt.

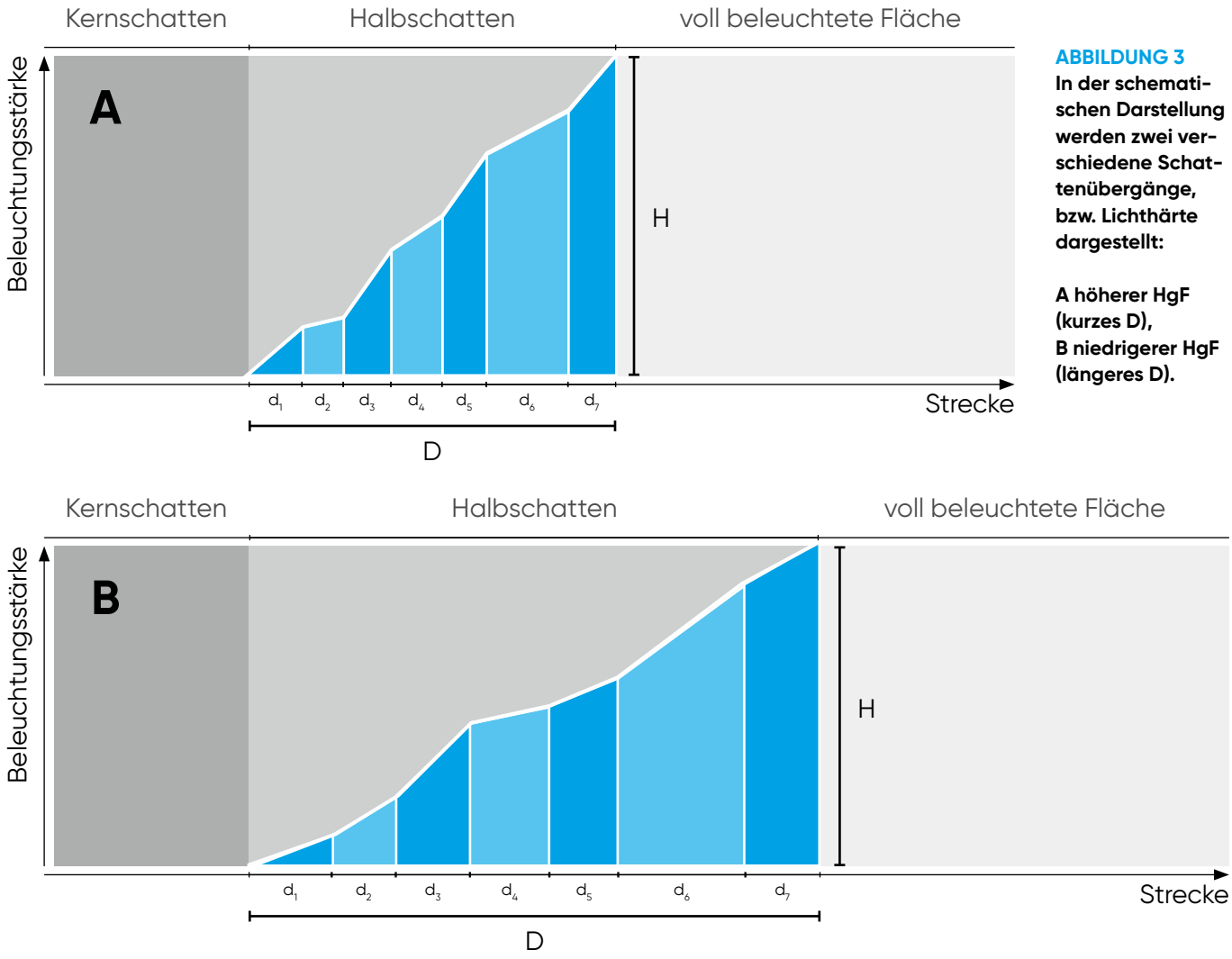


ABBILDUNG 3
In der schematischen Darstellung werden zwei verschiedene Schattenübergänge, bzw. Lichthärte dargestellt:

A höherer HgF (kurzes D),
B niedrigerer HgF (längeres D).

Fazit

Die Arbeit zum Thema Licht zeigt immer wieder aufs Neue, dass die Gestaltungsmöglichkeiten nahezu unerschöpflich sind. Ebenso sind die Möglichkeiten neues Wissen über die physikalischen Eigenarten des Lichts und seiner Wahrnehmung herauszufinden ebenfalls praktisch unbegrenzt. Diese Gewissheit wird die Arbeit mit dem Licht auch in Zukunft spannungsreich und erstrebenswert machen.

2

ENTWICKLUNG DEMONSTRATOR MESSGERÄT

Die Entwicklung eines Demonstrators dient dem Beweis, dass eine Messbarkeit des Härtegrades von Licht über diese Methode generell möglich ist.

2.1 KAMERA

Zur Entwicklung des Demonstrators wurde (eine dem Lichtlabor der HAW Hamburg zur Verfügung stehende) LMK mobile air genutzt, siehe Abbildung 4.

Diese EOS 650D Spiegelreflexkamera von Canon ist mit einem 18 Megapixel CMOS-Sensor ausgestattet.

Das mitgelieferte Objektiv (Sigma 17-50mm F2,8 EX DC OS HSM) hat eine Brennweite von 17-50 mm und eine Lichtstärke, also einen minimalen Blendenwert, von 1:2,8. Die Naheinstellgrenze liegt bei 28 cm, wobei dies dem minimalen Abstand zwischen der Sensorebene und der Fokusebene entspricht. Die Sensorebene der Kamera ist mit folgendem Symbol auf der Kamera markiert: ⊖

Für die Messungen wurde der Autofokus über den Schalter am Objektiv ausgeschaltet, da die Schärfeebene zu Beginn des Messaufbaus einmal eingestellt wird und unverändert bleiben sollte.

Da die Naheinstellgrenze bei 28 cm liegt war es nötig, die ursprünglich als Messelement Oberfläche bezeichnete Projektionsfläche mindestens auf diesen Abstand zu bringen. Dies stellt sicher, dass die Schärfeebene immer auf der Projektionsfläche liegen kann, so dass für die Messbilder eine Vergleichbarkeit erreicht wird.

Zur Erstellung dieses Mindestabstandes und für ein gleichzeitiges Ausschließen von seitlichem Streulicht wurde ein handelsübliches, im Baumarkt erhältliches, Marley HT-Rohr mit einem Durchmesser von 75 mm und einer Länge von 250 mm als Hilfsmittel verwendet. Hiermit wurde eine Objektivverlängerung umgesetzt. Dazu wurde zunächst die Naheinstellgrenze auf dem Rohr markiert, um die Projektionsfläche an die richtige Position zu bringen.

ABBILDUNG 4 LMK mobile air Kamera, Technoteam

ABBILDUNG 5
Demonstrator im finalen Zustand

Das Rohr wurde nun mit einer groben Zugabe von 5 cm über der Projektionsfläche gekürzt. Zusätzlich zur Kürzung des Rohres wurde auf der Höhe der Projektionsfläche von beiden Seiten ein Schlitz in das Rohr gesägt. Durch diesen Schlitz wurde eine passend geformte Filterfolie geführt, welche die Innenfläche des Rohres komplett abdeckte. Hierfür wurde die Filterfolie 252 Eighth White Diffusion (LEE Filters, 2018) verwendet. Um die manuelle Fokussierung auf die Projektionsfläche setzen zu können, wurde auf dieser eine kleine Markierung in Form eines Kreuzes aufgezeichnet. Über eine Vergrößerung des Bildausschnittes auf dem Display der Kamera, in dem das Kreuz zu sehen ist, konnte mit Fokussierung auf das Kreuz die Projektionsebene scharf gestellt werden.

Da der Durchmesser des Rohres etwas kleiner ist als der Innendurchmesser des Objektivfiltergewindes, musste der Durchmesser des Rohres angepasst werden. Dafür wurde das Rohr an dem unteren Ende mit schwarzem Isolierband umwickelt, bis eine Passgenauigkeit des Rohres auf das Objektiv geschaffen war. Dabei wurde die erste Schicht des Isolierbandes so aufgebracht, dass sie über die Kante des Rohres nach innen umklappbar war, um ein Zerkratzen der Objektivfront durch das Rohr zu verhindern.

Da das Rohr nur in Staubgrau (RAL 7037) erhältlich war, waren die Reflexionen auf der Innenseite des Rohres noch recht hoch. Dieses Problem wurde durch das Auskleiden des Rohres mit schwarzem Molton erheblich verbessert.

2.1.1
Ermittlung der Länge der Objektivverlängerung

Für den Schattengeber wurden zwei flache Holzstäbchen mit schwarzem Gaffer Tape nebeneinander zusammengeklebt. Auf diese Konstruktion wurden dann mit Hilfe von doppelseitigem Klebeband zwei Streifen Alufolie so aufgebracht, dass die spiegelnden Seiten nach oben zeigte und die Streifen jeweils an den langen Seiten überstanden. Durch die scharfe Kante der Alufolie sollte die Beugung des Lichts an der Kante möglichst reduziert werden. Mit der resultierenden Schattengeberbreite von 15 mm betrug das Verhältnis von Schattengeberbreite zum Durchmesser der Objektivverlängerung somit 1:5.

Um einen möglichst optimalen Abstand zwischen Projektionsfläche und Schattengeber zu erreichen, wurden Testmessungen mit verschiedenen Abständen durchgeführt. Dazu wurden sechs verschiedenen Abstände mit Hilfe von 7,5 mm breiten Ringen realisiert. Diese Abstände entsprachen somit einem Verhältnis von Schattengeberbreite zum Abstand zur Projektionsfläche von 1:0,5 bis hin zu 1:3 in 0,5-Schritten, siehe Abbildung 6.

ABBILDUNG 6 Schematische Darstellung des Messaufbaus zur Ermittlung des optimalen Abstandes von Schattengeber zu Projektionsfläche

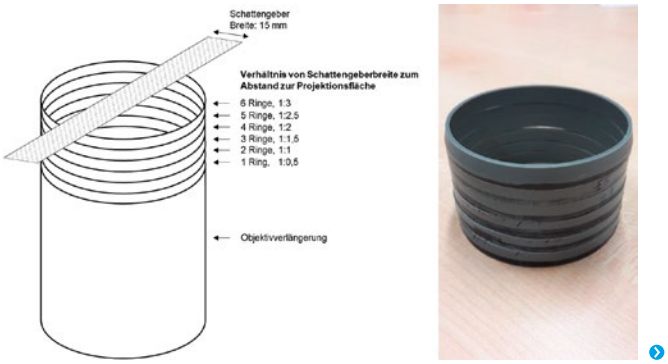


ABBILDUNG 7 Messaufbau zur Ermittlung des optimalen Abstandes des Schattengebers, diffuses Licht

Die Messungen wurden einmal mit diffusem Licht (siehe Abbildung 7) und einmal mit einer Mischlichtquelle durchgeführt.

Dabei wurde zunächst ein Ring auf die Projektionsebene gelegt. Auf den Ring wurde der Schattengeber möglichst parallel zum Kamerasensor platziert. Die Belichtungsparameter wurden eingestellt und die Aufnahme durchgeführt. Daraufhin wurde der nächste Ring zusätzlich zu dem Vorherigen aufgelegt und die Messung durchgeführt. Dieses Verfahren wurde wiederholt, bis die Messung mit 6 Ringen und einem Gesamtabstand von Projektionsebene zu Schattengeber von 4,5 cm erfolgt war.

Die Belichtungsparameter (Blende 8, ISO 100, Belichtungszeit 1/60 Sekunde) wurden bei der diffusen Beleuchtung nicht verändert, sondern blieben für alle sechs Messungen gleich.

Die Messbilder wurden mit Hilfe der LMK-Software LabSoft4 (TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, 2018) untersucht. Anhand dieser Software lassen sich die Leuchtdichten in einem Bild untersuchen und visualisieren.

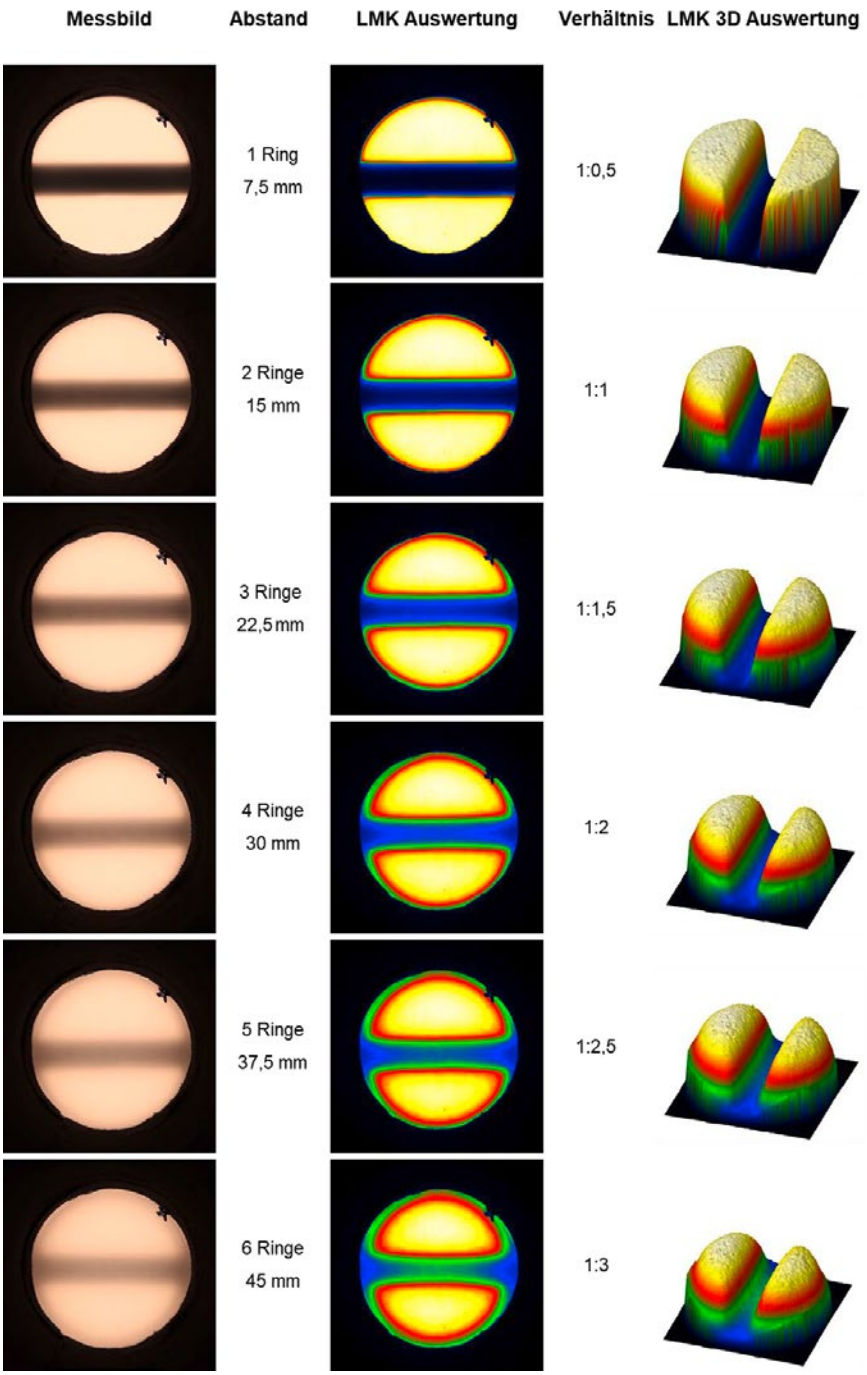
Die Auswertung durch die Software sollte helfen, genau den Zustand zu finden, an dem bei diffusem Licht die Schatten verschwinden und sobald gerichtetes Licht hinzukommt, Schattenbildung erkennbar ist. Zudem sollte ermittelt werden, bei welchem Abstand der äußere Ring-Schattenwurf durch die Objektivverlängerung möglichst gering ist. Dazu wurden

die sechs Messbilder mit dem jeweils unterschiedlichen Abstand des Schattengebers zur Projektionsfläche nebeneinandergestellt und verglichen, siehe Abbildung 8.

Wie man in der Gegenüberstellung der Auswertung der Messergebnisse durch die LMK-Software erkennen kann, nimmt mit zunehmendem Abstand des Schattengebers der Einfall des Streulichtes zu. Auch der Einfluss des äußeren Ring-Schattenwurfs durch die Objektivverlängerung ist deutlich an der Zunahme des äußeren grünen Ringes, insbesondere in den Falschfarbendarstellungen, sichtbar. Zudem kann man anhand der 3D Auswertungs-Diagramme sehen, dass mit zunehmendem Abstand zwischen Schattengeber und Projektionsfläche die Konturen der Messbilder ungenauer werden.

Für Die Auswertung der vom Schattengeber produzierten Schatten werden die ersten drei Messbilder genauer betrachtet (siehe Abbildung 9), da diese zum einen nur sehr gering durch die Objektivverlängerung verschatten werden und zum anderen die Lichtcharakteristik hier am besten ablesbar erscheint.

In der Detailansicht ist deutlich sichtbar, dass mit zunehmendem Abstand des Schattengebers der Lichteinfall auf die



Daten-Visualisierung

- Mit zunehmendem Abstand des Schattengebers nimmt der Einfall des Streulichtes zu.
- Der Einfluss des äußeren Ring-Schattenwurfs durch die Objektivverlängerung ist deutlich an der Zunahme des äußeren grünen Ringes sichtbar.
- Anhand der 3D-Auswertungs-Diagramme kann man sehen, dass mit zunehmendem Abstand zwischen Schattengeber und Projektionsfläche die Konturen der Messbilder ungenauer werden.

ABBILDUNG 8 Messergebnisse zur Ermittlung des optimalen Abstandes, diffuses Licht

Detail-ansicht

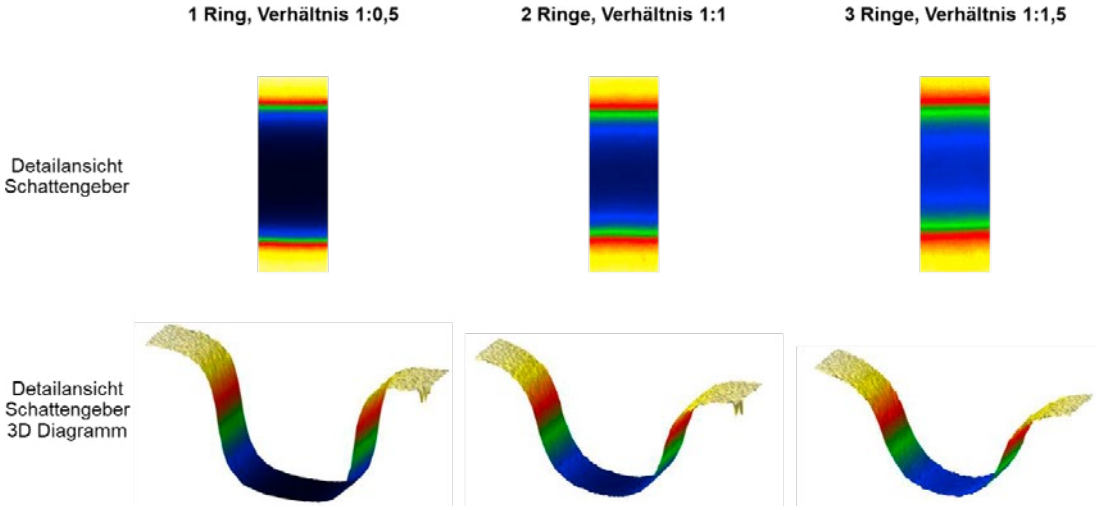


ABBILDUNG 9
Feinauswertung zur Ermittlung des optimalen Abstandes, diffuses Licht

darunter liegende Fläche zunimmt. In den Ausschnitten der 3D Diagramme ist hierbei erkennbar, dass bei einem Abstand mit nur einem Zwischenring die Fläche unter dem Schattengeber selbst bei nahezu komplett diffuser Beleuchtung ohne Lichteinfall bleibt. Zudem ist der Helligkeitsverlauf auf einen sehr kleinen Bereich begrenzt, wodurch weitere Untersuchungen erschwert werden.

Bei einem Abstand mit 2 Zwischenringen ist der Helligkeitsverlauf feiner abgestuft. Zudem reicht der Lichteinfall hier gerade eben bis zur Mitte der vom Schattengeber erzeugte Fläche.

Betrachtet man hingegen die Detailauswertung des Messaufbaus mit 3 Ringen, so kann man erkennen, dass die Helligkeitsabstufungen noch feiner sind, da sie über einen größeren Bereich verlaufen. Allerdings ist hier die vom Schattengeber erzeugte Fläche nicht mehr so differenziert abgebildet.

Betrachtet man vergleichsweise die in Abbildung 10 dargestellten Messergebnisse der Aufnahmen bei Mischlicht, kann man auch hier sehen, dass bei nur einem Ring unter dem Schattengeber auf der Hälfte der Fläche kein Lichteinfall vorhanden ist. Da die Beleuchtung aber auch einen diffus-Anteil hat, sollte hier zumindest ein wenig Lichteinfall abgebildet sein. Bei zwei Ringen lässt sich dieser schon erkennen, bei drei Ringen hingegen ist fast der komplette Kernschatten mit zusätzlichem Lichteinfall überlagert.

Auf Basis dieser Auswertungen wurde der Abstand zwischen Schattengeber und Projektionsfläche auf 15 mm festgelegt. Das Verhältnis der Schattengeberbreite zum Abstand beträgt demnach 1:1.

Detail-ansicht

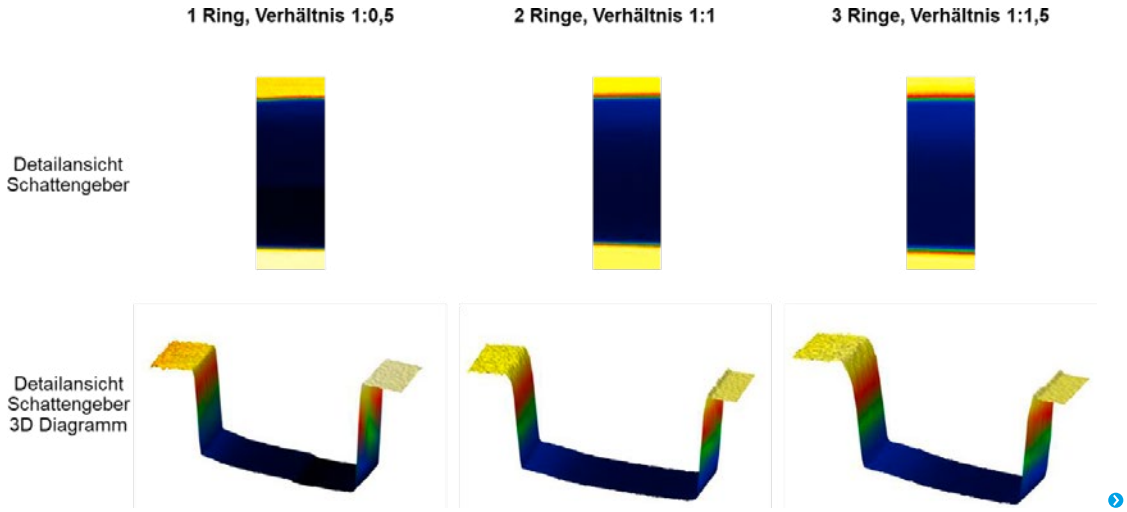


ABBILDUNG 10
Feinauswertung zur Ermittlung des optimalen Abstandes, Mischlicht

2.2
ROTATION

Ursprünglich war eine Rotation des Schattengebers angedacht. Bei der Weiterentwicklung stellte sich jedoch heraus, dass dies zu Problemen bei der Bildauswertung führen kann, da Analysefilter hier meistens horizontal oder vertikal arbeiten, teilweise auch diagonal in einem 45° Winkel. Entsteht der geworfene Schatten nun aber so, dass er nicht vertikal oder horizontal im Bildausschnitt verläuft kann es sein, dass der angewandte Analysefilter die Kante des Schattens nicht erfassen kann. Um dieses Problem auszuschließen wurde anstatt einer Schattengeberrotation eine Rotation des kompletten Messgerätes umgesetzt, wobei der Schattengeber immer in der gleichen Position zur Kamera blieb. Mit Hilfe einer Markierung auf der Objektivverlängerung und der Fixierung des Schattengebers an die Objektivverlängerung wurde die parallele Position des Schattengebers zum Kamerasensor sichergestellt.

Die Rotation des Messgerätes wurde mit Hilfe eines Movinglight (GLP Impression) umgesetzt. Zur Positionierung und Fixierung der Kamera wurde eine Schaumstoffschablone erstellt, welche sich genau in den Kopf des Movinglight einfügt. Dadurch war auch der Schutz des Movinglight gegeben. Bei der Erstellung der Schablone wurde darauf geachtet, dass der Mittelpunkt des Objektives auf dem Mittelpunkt des Movinglight-Kopfes liegt, so dass sich bei der Rotation während der Messungen die Position der Objektivachse nicht verändert.

Angesteuert wurde das Movinglight mit Hilfe eines Lichtstellpultes (MA Dot2). Der GLP Impression wurde im Normal Mode gepatcht. In welchem Modus das Movinglight gepatcht wird sagt aus, wie viele Parameter ansteuerbar sind. Da hier die eigentliche Funktion des Movinglight nicht gebraucht wird ist es nur wichtig einen Modus zu wählen, in welchem die horizontale Rotation feinauflösend einstellbar ist.

Das Movinglight wurde in die Center-Position gebracht. In dieser Position zeigt der Kopf des nach oben, so dass für die Messungen lediglich die Rotation des Movinglight auf der horizontalen Ebene um jeweils 1° verändert werden musste. Hierfür wurde der Pan-Wert für jedes Bild in 1° Schritten angepasst.

2.3
MESSAUFBAU

Zur Prüfung des Demonstrators auf Funktionalität bezüglich des Erfassens der Lichtcharakteristik wurden Messungen mit diffusem und gerichtetem Licht durchgeführt. Zur Ansteuerung der Leuchten wurde das Lichtstellpult MA Dot2 genutzt.

Als diffuse Lichtquelle wurde eine quadratische Flächenleuchte mit den Maßen 1m x 1m x 0,2 m der Firma Rentex Wand- und Deckensysteme GmbH verwendet (Rentex Wand- und Deckensysteme GmbH, 2018). Für diese Leuchten lassen sich die Farben Rot, Grün, Blau, Kaltweiß und Warmweiß einstellen. Für die Messung wurde lediglich Kaltweiß und Warmweiß zusammen auf jeweils 100% genutzt.

Die Leuchte wurde in einem Abstand zum Boden von 0,89 m, gemessen an der Unterkante, installiert. Der Demonstrator wurde darunter aufgebaut und erreichte eine Gesamthöhe

ABBILDUNG 11 Messaufbau zur Messung des Härtegrades; links diffuses Licht, rechts gerichtetes Licht

von 65,5 cm, so dass sich ein Abstand von 23,5 cm zwischen Leuchte und Schattengeber ergab, siehe Abbildung 11.

Die Kamera wurde so eingestellt, dass pro Bild jeweils eine RAW-Datei mit den Rohdaten des Bildsensors sowie eine komprimierte Version des Bildes als JPG-Datei abgespeichert wurde. Zudem wurde im Menü die Einstellung gewählt, dass die Aufnahme der Bilder über den Fernauslöser aktiviert werden konnte. Die Zählung der Bilder wurde zurückgesetzt, so dass die Nummerierung der Messbilder bei 1 begann. Dies ist für die spätere Auswertung von Bedeutung.

Mit dem Live View Modus wurde das Bild auf den Bildschirm der Kamera geholt, um so den Bildausschnitt, den Fokus und die Belichtung einstellen zu können.

Die Kamera wurde nun in die angefertigte Schaumstoff-schablone auf den Kopf des Movinglight platziert und die Objektivverlängerung auf das Objektiv platziert.

Für den passenden Bildausschnitt wurde zunächst der Zoom Lock deaktiviert und das Bild vergrößert. Die Schärfe wurde mit Hilfe der Kreuz-Markierung auf die Projektionsfläche gelegt und die Belichtungsparameter passend für die Beleuchtungssituation eingestellt. Um Rauschen im Bild möglichst gering zu halten, wurde ein niedriger ISO-Wert von 100 gewählt. Um Probleme der Schärfentiefe zu vermeiden, sollte nach Möglichkeit ein Blendenwert zwischen 5,6 – 8 gewählt werden. Für diese Beleuchtungssituation wurde Blende 8 mit einer Belichtungszeit von 1/100 Sekunde gewählt.

Das Movinglight wurde auf der horizontalen Ebene in 1° Schritten bewegt, wobei bei jedem Schritt per Fernauslöser die Aufnahme eines Bildes erfolgte. Dies wurde wiederholt, bis die Rotation 180° erreicht hatte und somit 180 Messbilder entstanden waren.

Die Datenmenge eines Messpunktes beträgt knapp 4 GB.

Für die Messung mit direktem Licht wurde ein ETC Source Four 750 mit einer 15-30° Optik verwendet, wobei die Optik auf 15° eingestellt und der Fokus auf den kleinsten Lichtkegel reduziert wurde. Die Messung erfolgte bei voller Leistung des Scheinwerfers.

Der Aufbau des Demonstrators war identisch zur Messung der diffusen Lichtquelle, lediglich die Belichtungszeit wurde auf 1/60 Sekunde angepasst.

Der Demonstrator wurde für die Messung frei im Raum in dem Lichtkegel des Scheinwerfers platziert. Der Ablauf der Messung war identisch zur Messung des diffusen Lichts.

Zusätzlich wurde der Einfluss unterschiedlicher Leuchtmittel, also konventionell und LED, in baugleichen Leuchten überprüft. Hierfür wurde der ETC Source Four ebenso als LED-Version (ETC Source 4 Lustr, Series 1) mit der gleichen Optik von 15-30° vermessen. Die Optik wurde ebenso auf 15° eingestellt und der Fokus auf den kleinsten Lichtkegel reduziert.

Die Lichtrichtung war fast die gleiche wie beim ETC Source Four 750, da die beiden Scheinwerfer nebeneinander an die Traverse gehängt wurden, siehe Abbildung 12.

Die Belichtungsparameter wurden auf eine Belichtungszeit von 1/60 Sekunde, Blende 5,6 und einen ISO von 100 eingestellt.

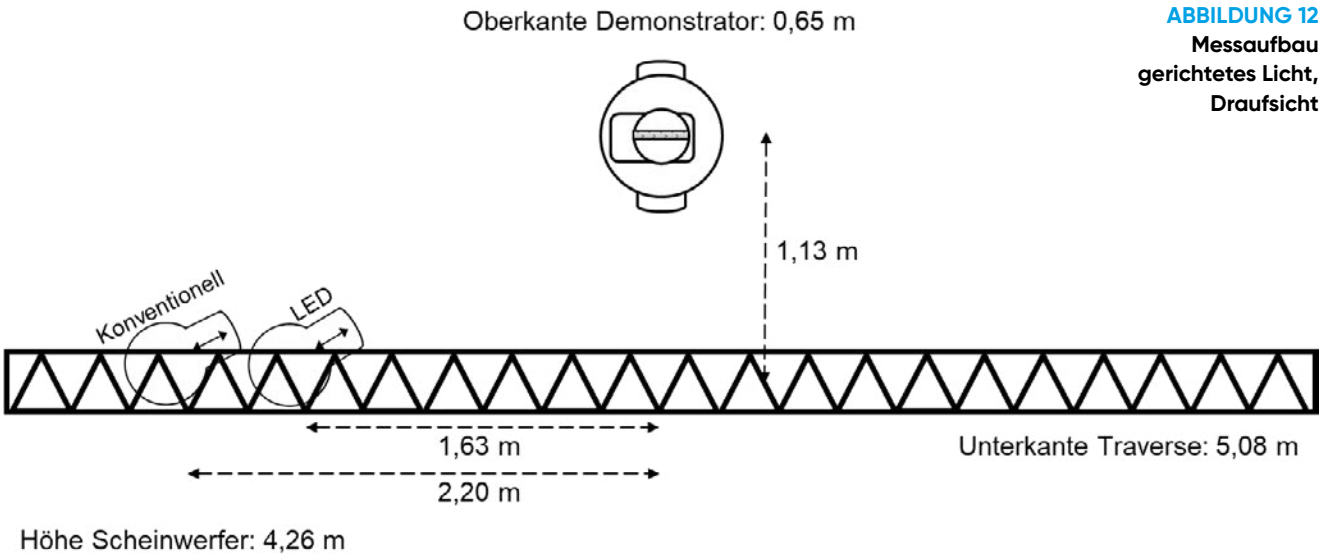


ABBILDUNG 12
Messaufbau gerichtetes Licht, Draufsicht

2.4 MESSDATENAUSWERTUNG

An jedem Messpunkt im Raum entstehen durch die Rotation des Messgerätes um 180° jeweils 180 Bilder. Diese müssen miteinander abgeglichen werden, um das Bild zu finden, auf welchem der kleinste Kernschatten beziehungsweise die klarste Abgrenzung eines Schattens zu sehen ist.

Das ermittelte Bild wird dann in der LMK-Software LabSoft4 (TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, 2018) weiter ausgewertet. Diese Auswertung ist die Grundlage für die weiteren Schritte dieser Arbeit.

2.4.1 Bildauswertungsprogramm

Für den Abgleich der 180 Bilder wurde ein Programm in Python 3.7 geschrieben, welches die Nummer des gesuchten Bildes wiedergibt. Der Programmcode gilt als Grundlage für die Auswertung der Messreihen und wurde gegebenenfalls angepasst.[1]

Die Aufnahme der Messbilder musste als RAW-Datei und JPG erfolgen, da die Bildauswertung in Python mit JPG-Format erheblich einfacher ist.

Das Programm startet mit einer Funktion zum Laden eines Messbildes (load) aus dem mit ‚JPG' benannten Ordner. Zur Beschleunigung der Verarbeitung wird innerhalb der Funktion eine Reduzierung der Bildgröße auf 256 x 256 Pixel vorgenommen, da die hohe Originalauflösung für diese Bildauswertung nicht zwingend notwendig ist. Zudem wird das Bild in ein Graustufen-Bild gewandelt. Diese Schritte passieren automatisch bei jedem Aufruf der Funktion load.

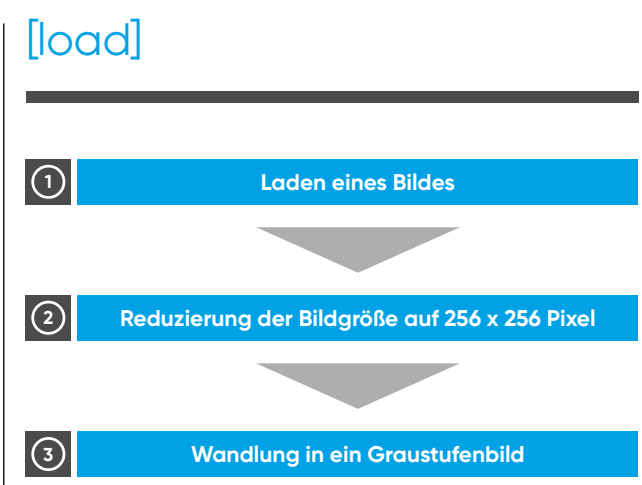


ABBILDUNG 13 Bildauswertung, grafische Darstellung der Funktion [load]

Nun wird exemplarisch ein beliebiges Bild aus dem Ordner geladen und der vertikale Grauverlauf des Bildes an der Position 150 auf der x-Achse als Graph angezeigt.

Auf Basis des geladenen Bildes wird der betrachtete Bildausschnitt reduziert und ein Mittelwert über die vertikalen Linien in dem ausgewählten Bereich gebildet. Dies glättet den Graphen vereinfacht die Analyse des Grauverlaufs.

Es folgt eine Schleife zum Laden aller Messbilder. Hierin wird jedes Bild mit der Funktion load geladen. Sollte ein Bild nicht vorhanden sein erfolgt die Textausgabe „Bild nicht da" und es wird versucht, das nächste Bild zu laden. Der Bildausschnitt der geladenen Bilder wird wieder auf den gleichen Bereich wie zuvor begrenzt und es wird aus jedem Bild eine Vertikale Achse, bestehend aus der Mittelung über den ausgewählten Bereich innerhalb des Bildes, extrahiert.

Die Begrenzung dieses Bereiches ist im Quellcode zwischen den Pixeln 100-150 auf der x-Achse festgelegt, siehe Abbildung 14. Dies ist insofern sinnvoll, als dass hier der mittlere Teil des Bildes ausgewertet wird, in welchem die gesuchten Informationen immer liegen sollten.

Die soeben extrahierten vertikalen Achsen der 180 Bilder werden nun nebeneinander in ein neues Bild zusammengefügt und ausgegeben, siehe Abbildung 14.

Wie im Quellcode erkennbar, wurden die früheren Messbilder, welche für die Erstellung des Programmcodes verwendet wurden, nicht mit einer konstanten Belichtung aufgenommen. Die Belichtungsparameter wurden hier noch nicht komplett manuell eingestellt, sondern es wurde die Einstellung AV (Aperture value) gewählt, bei der eine feste Blende gewählt wird und die anderen Parameter automatisch angepasst werden. Aufgrund dessen musste eine Nachkalibrierung des Gesamtbildes im Auswertungsprogramm vorgenommen werden.

Dieses Bild wurde nun mit einem Laplace-Filter nach vertikalen Kanten gefiltert.

Anhand eines Graphen des Maximalwertes über y in x-Richtung ist sichtbar, wo sich die stärkste Kante in dem gefilterten Bild findet. Das Programm gibt einem zum Schluss die Nummer des Bildes aus, welches durch den Kantenerkennungsfilter als gesuchtes Bild detektiert wurde. Dieses Bild weist den kleinsten Kernschatten aller an diesem Messpunkt aufgezeichneten Bilder auf.

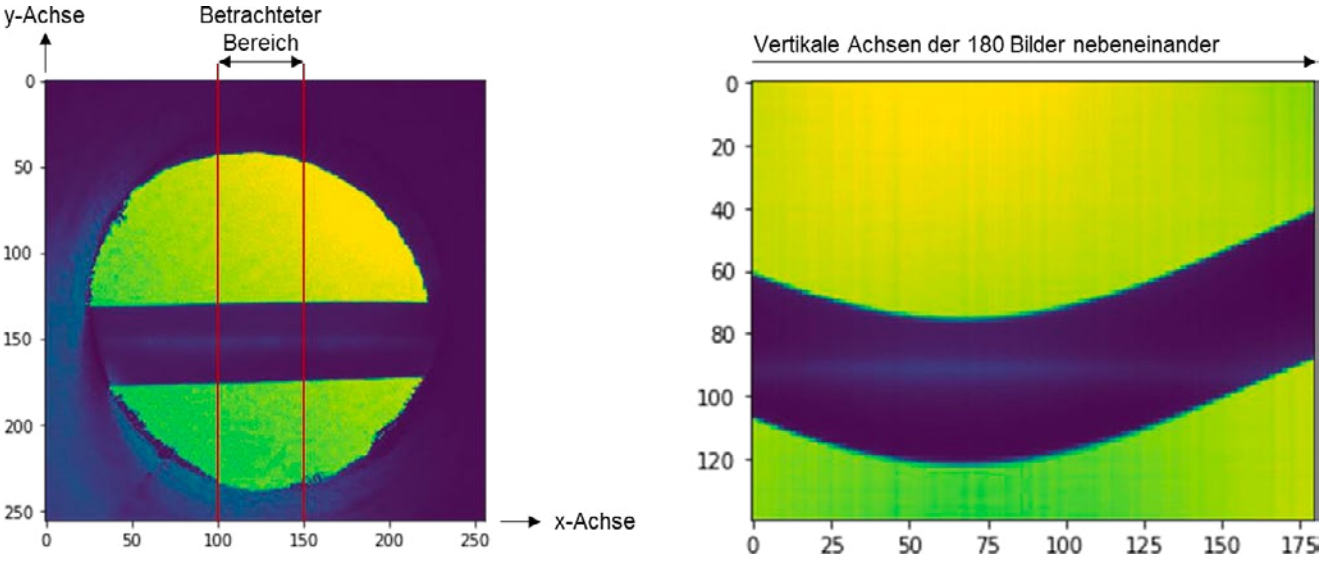


ABBILDUNG 14 Bildauswertung; links, Begrenzung des betrachteten Bereiches auf der x-Achse; rechts, Bilder der Messreihe nebeneinander angezeigt

Es erwies sich als sinnvoll, die Belichtungseinstellungen der Kamera für jeden Messpunkt vor Beginn der Messung einmal manuell festzulegen und diese nicht über eine Belichtungsautomatik steuern zu lassen. So ergeben sich 180 gleichmäßig belichtete Bilder, welche sich besser vergleichen und auswerten lassen. Die Kalibrierungsfunktion im Quellcode wurde einfach deaktiviert und kann jederzeit wieder aktiviert werden.

Zudem wurde das Programm für die jeweiligen Auswertung noch dahingehend angepasst, als dass der zu betrachtende Abschnitt auf der y-Achse je nach Messung auf einen optimalen Bereich begrenzt wurde. Dieser definiert sich darüber, dass die durch den Schattengeber erzeugte dunklere Fläche, sowie die im Bild darüber und darunter liegenden, noch in dem Kreis befindlichen Informationen, auf allen 180 Bildern erfasst wird.

Die Auswertung der Messbilder durch die Software ist in Abbildung 16 zu sehen.

Bildauswertungsablauf

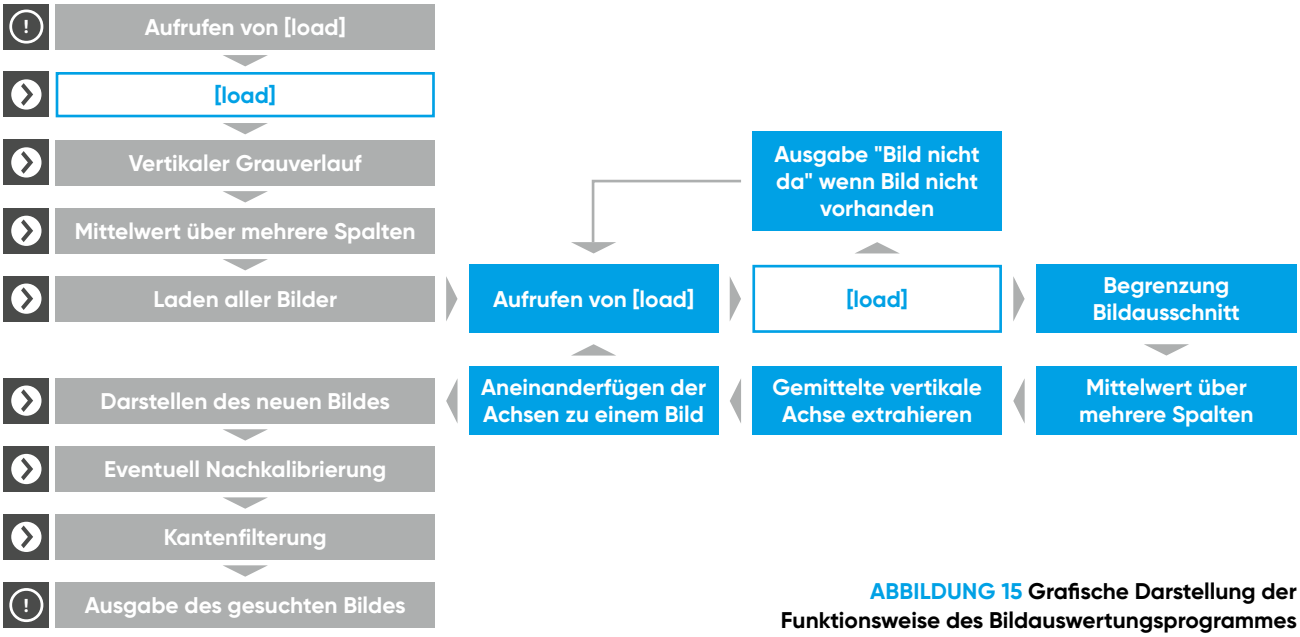


ABBILDUNG 15 Grafische Darstellung der Funktionsweise des Bildauswertungsprogrammes

Auswertung der Messbilder

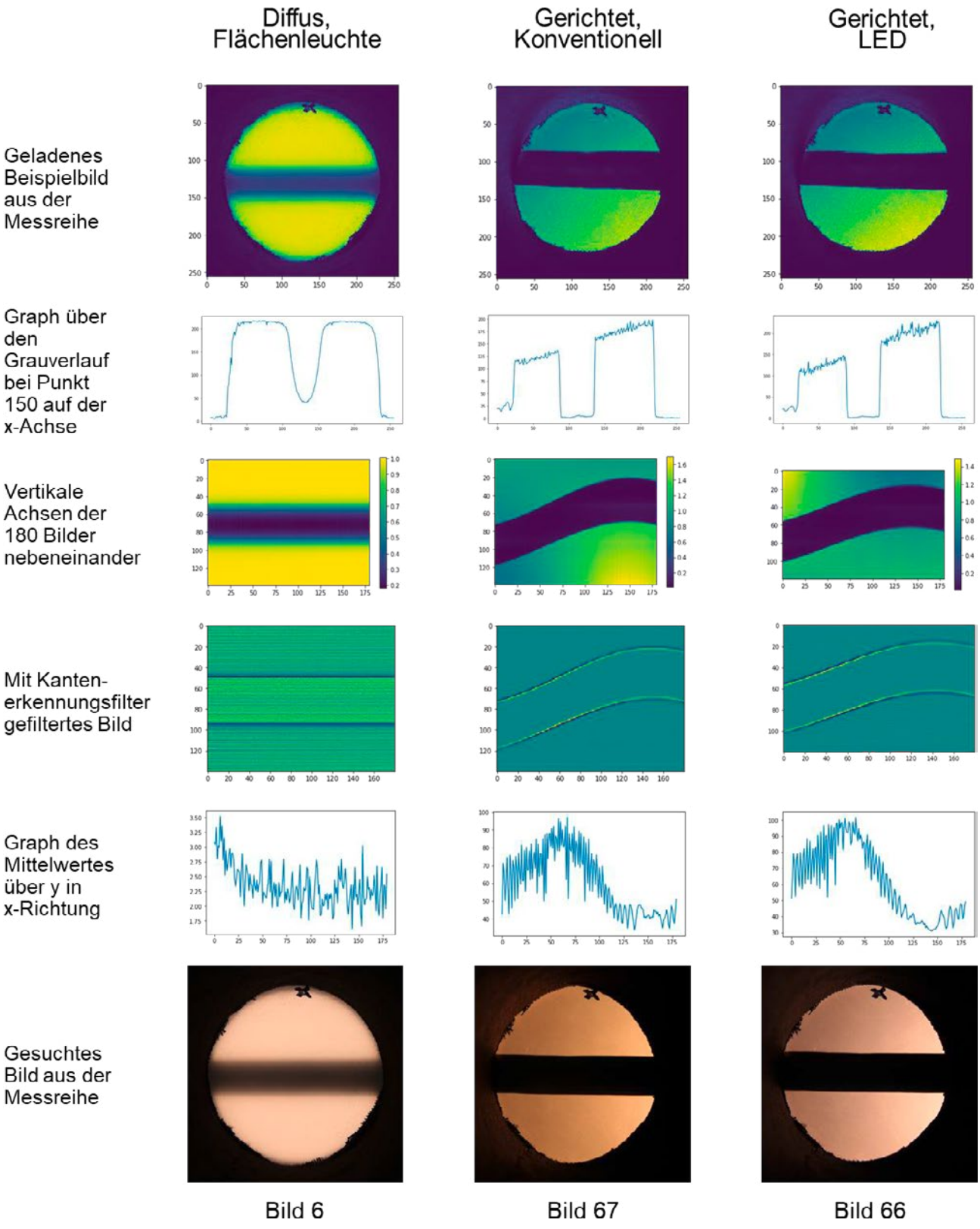


ABBILDUNG 16 **Bildauswertung; Auswertungsprozess Python**

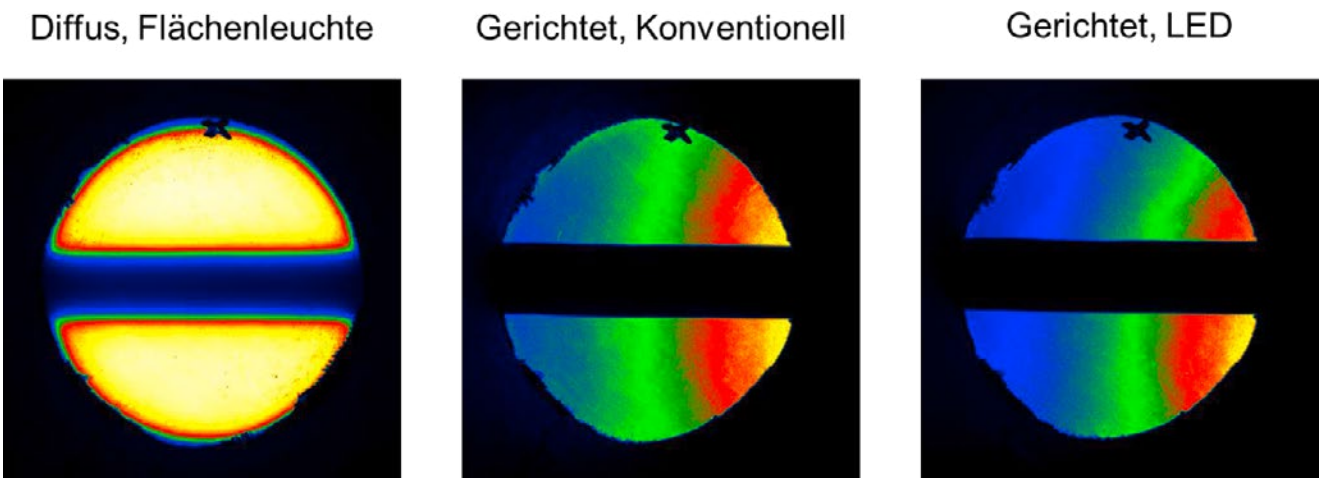


ABBILDUNG 17 **Bildauswertung, Leuchtdichtebilder**

2.4.2
Bildauswertung mit LMK LabSoft4

Die weitere Auswertung des gefundenen Bildes erfolgt in der LMK-Auswertungssoftware LabSoft4 (TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, 2018). Hierfür wird die aufgenommene RAW-Datei benötigt, welche bei Canon die Dateiendung .CR2 hat.

Diese Datei kann in die Software eingelesen werden und es wird sofort ein Leuchtdichtebild in einer Falschfarbendarstellung erstellt, siehe Abbildung 17.

Die Falschfarben lassen sich nach Bedarf anpassen, das war für diese Auswertung aber nicht notwendig. Für die weitere Analyse dieses Bildes stehen verschiedene Auswertungsmöglichkeiten zur Verfügung.

Das Platzieren verschiedener Messflächen (Rechteck, Kreis, Linie, Polygon) ist möglich. Für jede eingefügte Messfläche steht hierbei eine Auswahl an statistischen Auswertungsmöglichkeiten zur Verfügung, siehe Abbildung 18.

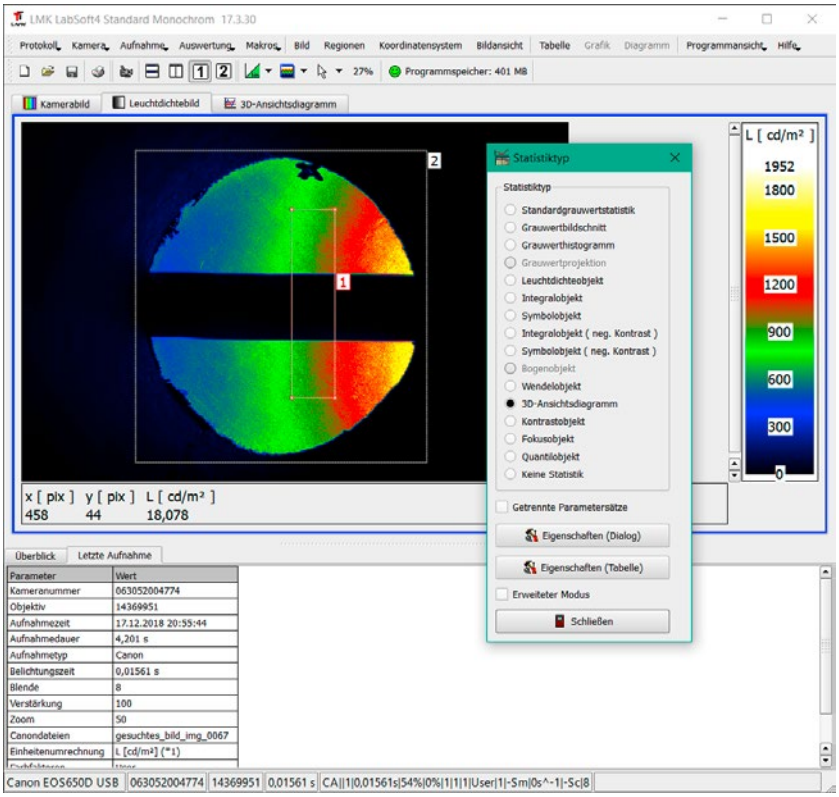


ABBILDUNG 18 **LMK LabSoft 4, Benutzeroberfläche**

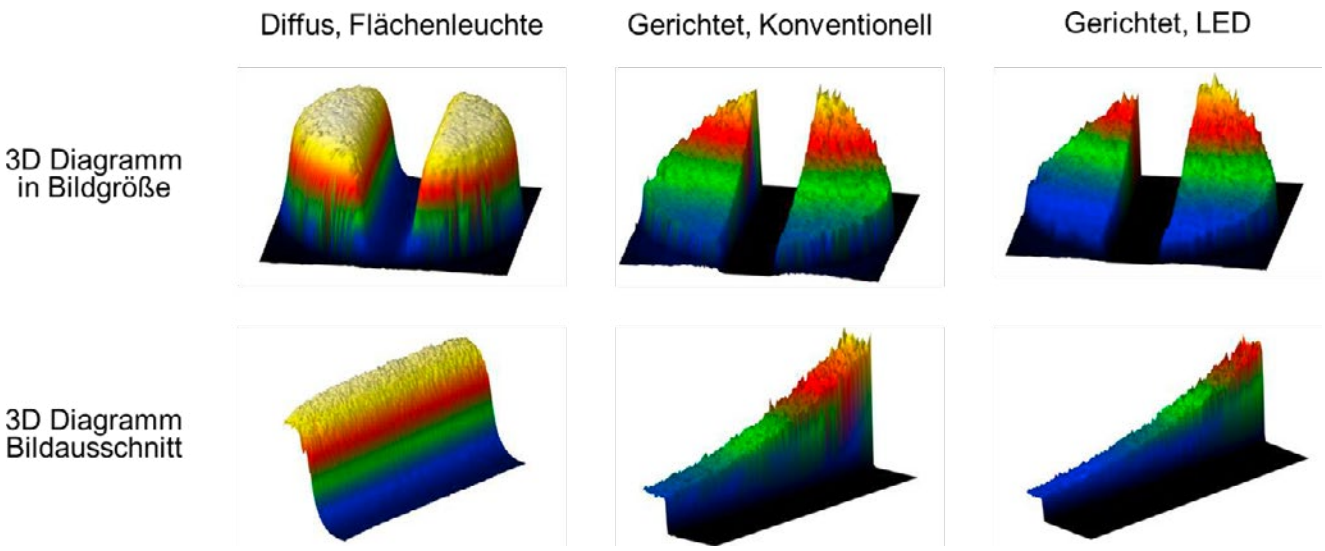


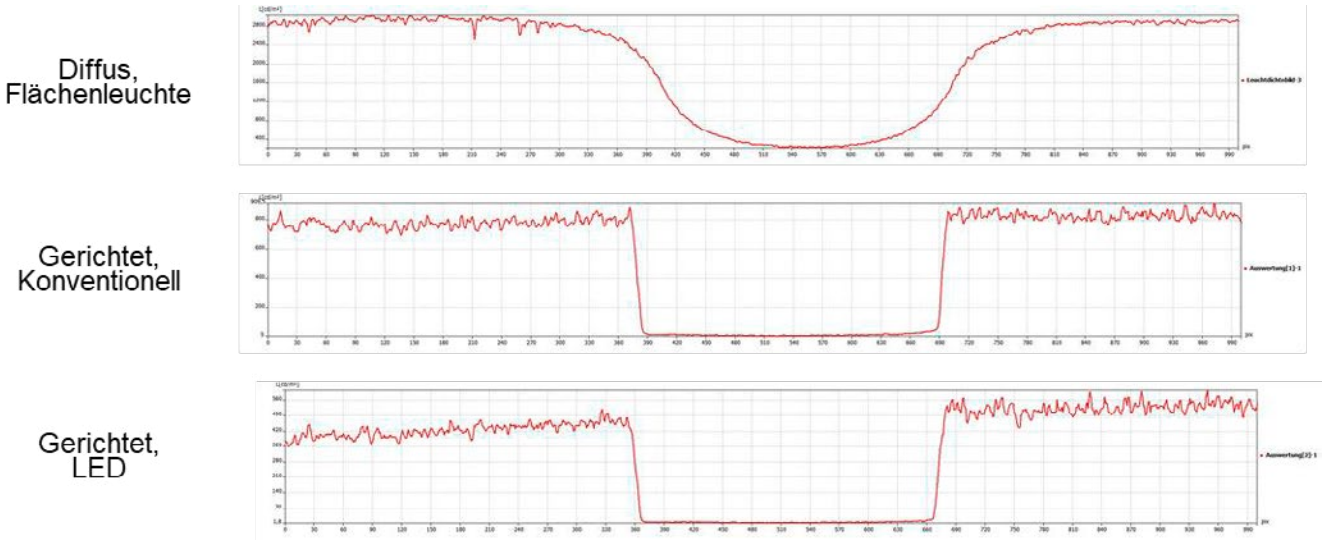
ABBILDUNG 19 **Bildauswertung, 3D-Leuchtdichte Diagramm**

Zum einen kann man sich die Helligkeiten in einem 3D-Ansichtsdiagramm darstellen lassen. Dies ist auch für einen selbst bestimmten Ausschnitt des Bildes möglich, wie in diesem Fall dem Übergang von beleuchteter zu beschatteter Fläche, siehe Abbildung 19.

Eine weitere Auswertungsmöglichkeit ist der Grauwert-bildschnitt, siehe Abbildung 20. Dieser lässt sich über eine linienförmige Messregion im Bild abrufen und gibt den Helligkeitsverlauf über die Messlinie wieder. Wichtig ist hierbei darauf zu achten, dass die Messlinie genau auf der vertikalen Achse in das Bild gelegt wird. Dies lässt sich beim Erstellen oder Anpassen der Linie einfach anhand des angegebenen Winkels überprüfen. Mit Hilfe des Grauwertbildschnittes lässt sich die Steigung des Helligkeitsverlaufs sehr gut grafisch ablesen.

Für eine genauere Auswertung der Steigung im Bereich des Überganges von beleuchteter zu unbeleuchteter Fläche lassen sich die Daten des Grauwertbildschnittes in einer .csv-Datei exportieren, welche einfach in eine Excel-Datei eigelesen werden kann.

ABBILDUNG 20 **Bildauswertung, Grauwertbildschnitt**



2.4.3
Datenauswertung in Excel

Zunächst werden die Daten normiert und die Kurve geglättet, um die gesuchte Steigung besser detektieren zu können. Nun kann die Steigung an jedem Punkt ermittelt werden, indem das Delta zwischen dem vorherigen und aktuellen Punkt berechnet wird. Zur Untersuchung der ersten Flanke sucht man hierbei die stärkste negative Steigung.

Anhand dieser Steigung lässt sich dann eine Aussage über den Härtegrad des Lichts an dem Messpunkt treffen.

Die ermittelte stärkste negative Steigung aus den Werten der Messung des diffusen Lichts hat einen Wert von -13. Der Punkt der stärksten Steigung in der linken Flanke ist in dem Diagramm mit einem Roten Kreuz markiert, siehe Abbildung 21.

Die Auswertung der Messwerte des gerichteten Lichts mit konventionellem Leuchtmittel ergibt einen maximalen Wert von -79, bei gerichtetem Licht mit LED-Leuchtmittel einen Wert von -67.

Die fiktiven Werte einer Steigung von 0 für komplett diffuses Licht bis 100 für komplett gerichtetes Licht könnten also die Grenzen einer Härtegrad-Skala ergeben. Die reellen Werte werden sich immer zwischen diesen Begrenzungen bewegen, wobei die Skala für den Betrag der ermittelten Steigung gilt.

ABBILDUNG 21 Normiertes Diagramm, Ermittlung der Steigung bei diffusem Licht

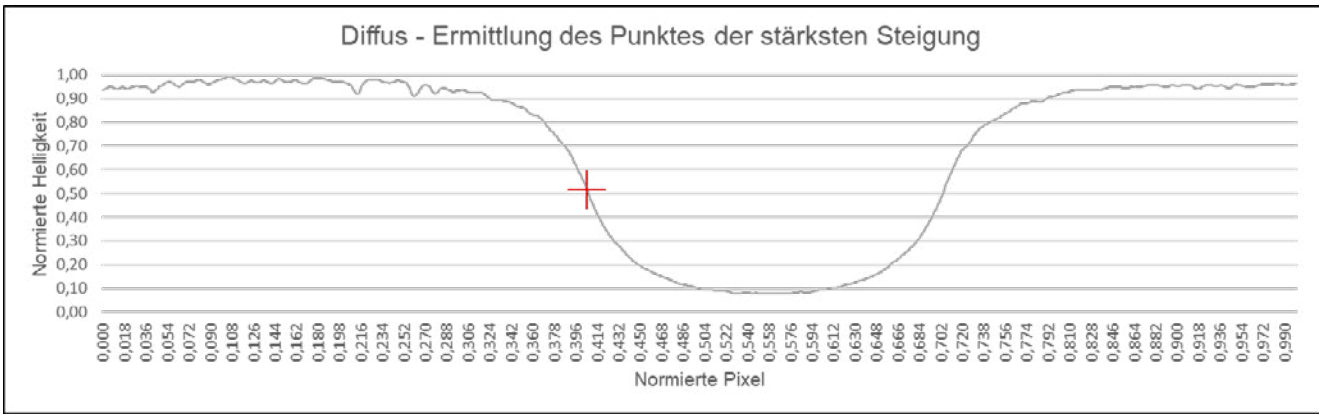
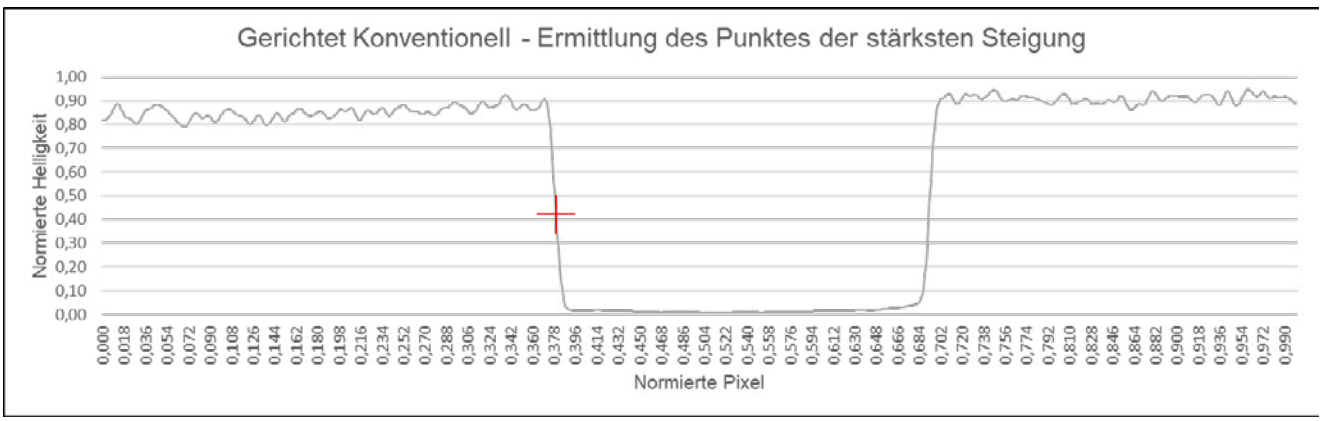


ABBILDUNG 22 Normiertes Diagramm, Ermittlung der Steigung bei gerichtetem Licht



3

LICHTSIMULATIONSPROGRAMM – **TESTS UND ERGEBNISSE**

Die Arbeit mit Lichtsimulationsprogrammen zur Berechnung und Visualisierung von Beleuchtungssituationen ist tägliche Praxis im Bereich der Architekturlichtplanung. Für eine Betrachtung der aktuellen Simulations- und Darstellungsmöglichkeiten wurde eine dem Messaufbau ähnliche Situation in Relux nachgebaut. Dabei wurden die digitalen Lichtstärkeverteilungskurven der zur realen Messung benutzen Leuchten verwendet.

Für die Simulation wurde ein Standardraum von 3 mal 6 m mit einer Höhe von 2,80 m verwendet. Die Reflexionsgrade von Boden, Decke und Wänden blieben bei den Standardeinstellungen von 20, 70 und 50.

Als schattengebendes Element dient eine Fläche mit einer Breite von 15 cm und einer Länge von 5 m sowie ein im Abstand von 40 cm eingefügter langgezogener Quader. Dieser hat eine Breite und Höhe von jeweils 15 cm bei ebenfalls einer Länge von 5 m. Auch hier beträgt der Abstand zum Boden 15 cm. Zu sehen ist dies in Abbildung 23.

Eine zusätzliche Messfläche in Form eines parallel zur kurzen Seite des Raumes ausgerichteten Streifens wurde auf einer Höhe von 1 cm über dem Boden eingefügt.

Für die Simulation wurde die Flächenleuchte von Rentex so eingesetzt, dass sich die Unterkante auf einer Höhe von 2,70 m befand. Damit war der Abstand zwischen den Schattenwerfenden Objekten und der Lichtaustrittsfläche erheblich höher ist als bei den realen Messungen. Um trotzdem eine Vergleichbarkeit herzustellen wurden die Maße der Leuchte in der digitalen Lichtstärkeverteilungskurve auf die neunfache Fläche mit den Abmessungen 3 m mal 3 m angepasst. Äquivalent dazu wurden die Werte der Leuchte mit 9 multipliziert. Zudem lässt sich im Expertenmodus die Lichtquellenunterteilung anpassen. Diese Anpassung ist bei der Simulation einer Flächenleuchte wichtig, da diese sonst als flächige Lichtquelle behandelt wird (Relux Informatik AG, 2017).

3.1 MESSMETHODEN UND ERGEBNISDARSTELLUNG

Die gängigsten Lichtsimulationsprogramme Relux und DIALux rechnen beide nach der Radiosity Methode. Hierbei wird vor allem für eine bessere Visualisierung ein adaptives Meshing verwendet. So wird an den Stellen mit höherem Beleuchtungsstärkegradienten eine feinere Auflösung des Messrasters erzeugt, während weniger beleuchtete Flächen mit einer gröberen Auflösung berechnet werden.

Nach DIN EN 12464-1 für die Beleuchtung von Arbeitsstätten müssen jedoch die Rasterpunkte eines Messrasters für Berechnungsflächen einen festen, gleichmäßigen Abstand beibehalten (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2011) S.13. Dies wird in den beiden Programmen unterschiedlich umgesetzt.

DIALux löst diese Anforderung, indem für eingefügte Berechnungsflächen die Werte für diese festen Messpunkte interpoliert werden (Witzel, 2014) S.1. Die einzige Möglichkeit die tatsächlichen Werte an den Punkten zu ermitteln ist durch Einsatz von einzelnen Berechnungspunkten möglich, was allerdings in der Praxis einen erheblichen Mehraufwand bedeutet.

Relux hingegen bietet die Möglichkeit, das adaptive Raster auf ein starres umzustellen. Zudem wird hier für jede eingefügte virtuelle Messfläche ein festes Messraster erzeugt,

dessen Abstände je nach Planungsanforderung angepasst werden können (Heiß, 2018).

Basierend auf den aktuellen Berechnungsmethoden würde sich für die virtuelle Ermittlung des Härtegrades von Licht in einer Raumlichtsituation eine adaptive Messmethode anbieten. Diese adaptiven Raster am Rand eines Lichtkegels müssten dann allerdings nicht nur zur Berechnung einer besseren Visualisierung dienen, sondern sollten dann auch durch die Auswertung der Messwerte zu einer Aussagen über den Härtegrad führen.

Eine solche Auswertungsmethode würde allerdings nur für Simulationsprogramme Sinn ergeben, nicht für Messungen in der Realität.

Aktuell bietet Relux als Visualisierungsmöglichkeit ein 3D-Gebirge über die Beleuchtungsstärke an. Dieses lässt sich über das Raster auf der Messfläche in der Auflösung einstellen und berücksichtigt bei einer feinen Ratereinstellung die erzeugten Schatten, siehe Abbildung 23.

Die Rasterabstände der Messfläche wurden auf 1 cm heruntergesetzt. Dadurch ergibt sich eine hohe Auflösung, so dass ein Verlauf der Helligkeit ähnlich zu den realen Messergebnissen sichtbar wird.

Relux bietet zudem die Möglichkeit die Messwerte einer Berechnungsfläche als Excel-Datei zu exportieren.

DIALux bietet eine Darstellung der Beleuchtungsstärke oder Leuchtdichte als 3D-Gebirge in seinen aktuell verfügbaren Versionen gar nicht an, weder in DIALux 4 noch in DIALux evo 8.1.

Wie schon in Kapitel 2.3 vorgeschlagen, wäre ebenso eine Scatter Graph- ähnliche Darstellung denkbar. Hierbei wäre eine Abbildung des Härtegrades über die Z-Achse sinnvoll. Je gerichteter das Licht, desto höher wäre der Wert an dem jeweiligen Messpunkt, so dass die durch gerichtetes Licht gesetzten Akzente deutlich sichtbar werden. Mit einer farblichen Zuordnung der Messpunkte zu den durch Leuchten mit gerichtetem Licht verursachten Peaks wäre auch eine leichte Identifizierung zwischen Verursacher und Wirkung möglich.

ABBILDUNG 23 Relux, 3D-Leuchtdichte (li.) und 3D-Gebirge über die Beleuchtungsstärke auf Messfläche (re.), diffues Licht

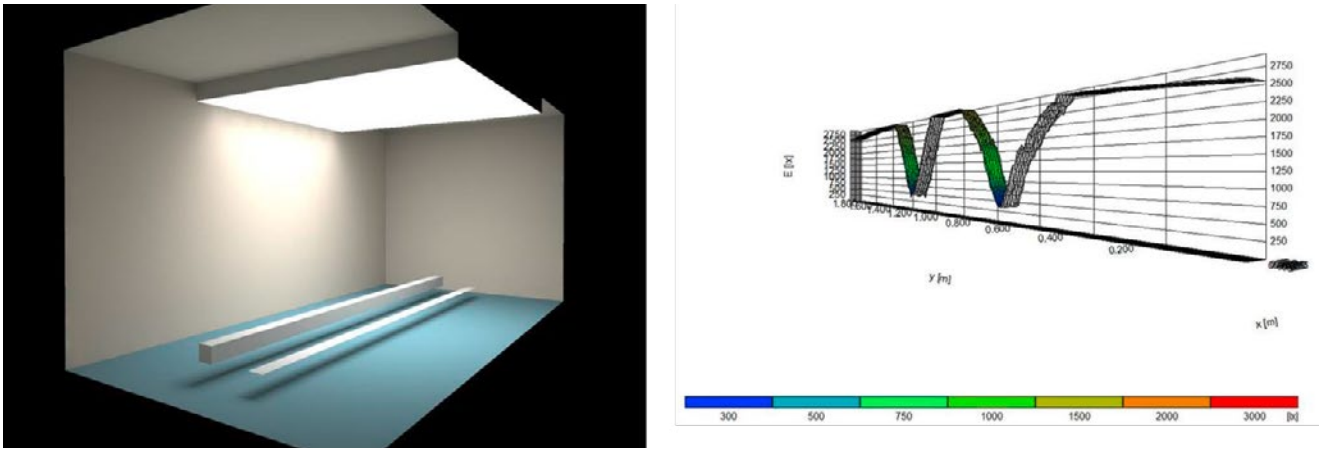
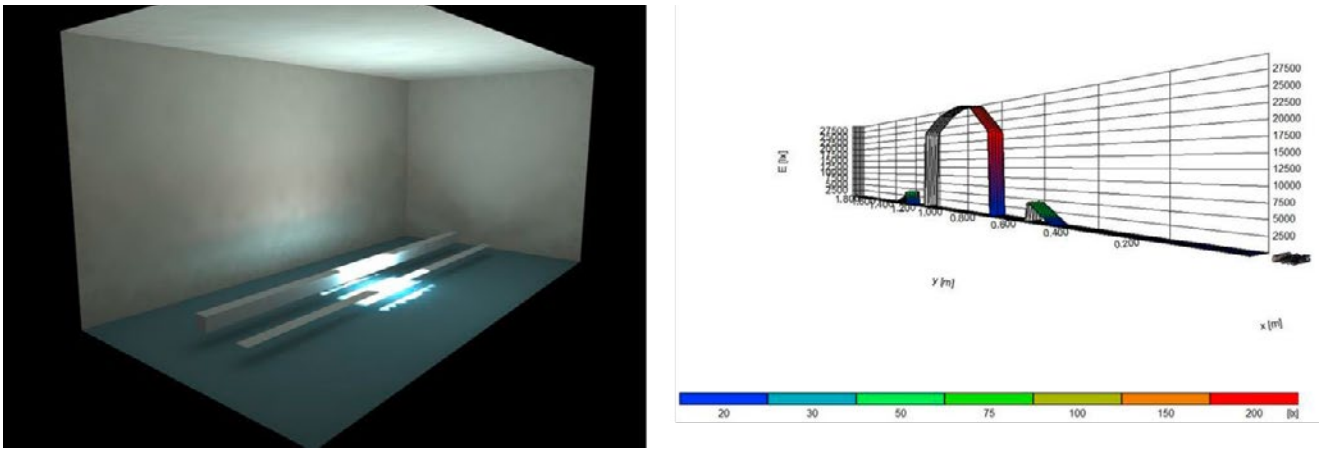


ABBILDUNG 24 Relux, 3D-Leuchtdichte (li.) und 3D-Gebirge über die Beleuchtungsstärke auf Messfläche (re.), gerichtetes Licht



4
ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Die Messbarkeit des Härtegrades wurde mit der vorgestellten Messmethode und der dazugehörigen Auswertung bewiesen. Die darauf aufbauende Weiterentwicklung des Messgerätes sowie die Möglichkeiten einer Skalenfestlegung wird im folgenden Abschnitt diskutiert. Auch eine Etablierung des Härtegrades als feste Planungsgröße wird betrachtet.

4.1
AUTOMATION VON MESSGERÄT UND BILDAUSWERTUNG

Die Vision für eine Weiterentwicklung des Messgerätes sieht vor, dass man ein kompaktes Gehäuse hat, welches auf einen Messpunkt gestellt werden kann, die Bildaufnahme selbstständig durchführt und direkt das gesuchtes Bild ausgibt.

Der Bildsensor befindet sich dabei in dem Messgehäuse auf welchem, parallel zum Bildsensor angeordnet, ein fester Schatter verbaut ist. Das Messgehäuse ist auf einem drehbaren Untersatz fest installiert. Die Ansteuerung des drehbaren Untersatzes sowie die Kommunikation zwischen Messgerät und Drehscheibe (Auslösen der Aufnahme nach jedem Rotationsschritt) müssen ebenfalls in dem Gehäuse untergebracht werden.

Die Belichtungseinstellungen sollten automatisch für jeden Messpunkt vom Messgerät festgelegt werden, so dass eine gute Belichtung gewährleistet ist und keine zusätzlichen Kenntnisse diesbezüglich für die Nutzung des Gerätes notwendig sind. Da eine Automation in der Einstellung von Belichtungsparametern heutzutage in fast jeder Kamera möglich ist, sollte dies auch hier umsetzbar sein.

Unabdingbar ist ein von außen zugänglicher Anschluss für ein Speichermedium (zum Beispiel SD-Card, USB) um die erfassten Daten zu übertragen.

Eine weiterentwickelte Lösung könnte so aussehen, dass ein eingebauter Microcontroller mit Hilfe eines Bildauswertungsprogrammes wie zum Beispiel in Kapitel 1.4.1 vorgestellt, das gesuchte Bild aus den 180 Messbildern ermittelt.

Noch einen Entwicklungsschritt weiter könnte eventuell auch die weiterführende Bildauswertung des gesuchten Bildes im Messgerät implementiert werden, so dass das Messgerät nur noch den Wert des Härtegrades an dem Messpunkt ausgibt. Hierfür wäre natürlich eine Anzeige des Wertes über ein Display sinnvoll, jedoch sollte auch weiterhin eine Bildausgabe über ein Speichermedium möglich sein. Um ein zugeführtes Speichermedium überflüssig zu machen müsste eine drahtlose Kommunikation implementiert werden, so dass der Zugriff auf das Messgerät über eine Programmoberfläche von einem Computer aus möglich ist. Zumindest ein Abrufen der Daten des Messgeräts sollte möglich sein.

Des Weiteren ist eventuell eine Videoaufnahme der 180 Messwerte an einem Messpunkt möglich. Hierbei wäre es dann unerheblich an welchem Punkt die direkte Lichtrichtung eingefangen wird, da die einzelnen Winkelpositionen schon zusammengefügt sind. Das Video müsste in seine Einzelbilder zerlegt werden, welche dann den vorher beschriebenen Bildauswertungsprozess durchlaufen. Ein Vorteil dieser Methode wäre eine Beschleunigung der Messdurchführung da nicht abgewartet werden muss, bis 180 Bilder ausgelöst wurden.

Die Implementierung einer Positionserkennung, zum Beispiel mit Distanzmessern (Laser) in 4 Richtungen, würde die Möglichkeit bieten, die Koordinaten des Messpunktes im Raum zu erkennen. So könnte man die Messwerte von mehreren Messpunkten als Grafik über die Raumlichtsituation ausgeben.

Diese hypothetischen Weiterentwicklungen des Messgerätes beziehen sich auf die Annahme der horizontalen Messung.

4.2
ÜBERPRÜFUNG DER SKALA

Wie eingangs in Kapitel 2.2 beschrieben gilt es, die vorgeschlagenen Skalen auf Ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Dabei hat es den Anschein, dass eine prozentuale Einteilung einer Skala nicht notwendig ist.

Ausgehend von der Ermittlung des Härtegrades über die normierte Steigung des Helligkeitsanstieges, wie in Kapitel 1.4.3 beschrieben, bietet sich eine Skala mit Werten von 0 bis 100 an, wobei die Grenzwerte als theoretische Werte zu betrachten sind.

Inwieweit eine lineare Abstufung innerhalb der Skala sinnvoll ist muss durch Messung verschiedener Lichtcharakteristika mit einem weiterentwickeltem Messgerät geprüft werden. Da die Steigung über den normierten Helligkeitsanstieg pro Pixel ermittelt wird, lässt sich hier schon eine Vermutung über die Bewertung der Skala durch Probanden äußern. Geht man von der Wahrnehmung der Helligkeit durch das menschliche Auge aus, ist eine logarithmische Einteilung der Skala denkbar. Wäre dies der Fall müssten die Werte der Steigung auf die Werte der Skala normiert werden.

4.3
BEWERTUNG UND EINFÜHRUNG DES HÄRTEGRADES ALS PLANUNGSGRÖSSE

Ist eine Skala festgelegt muss diese bewertet werden. Eine einheitliche Bewertung für alle Raumlichtsituationen erscheint hierbei nicht sinnvoll, da unterschiedliche Räume nicht die gleichen Anforderungen haben. So ist ein Lichtkonzept für ein Büro zum Beispiel nicht unbedingt passend für einen Shop, ebenso unterscheiden sich die Anforderungen für ein Restaurant oder den Eingangsbereich eines Hotels.

Eine Festlegung von vorgeschlagenen Härtegraden für die Planung kann erst dann erfolgen, wenn die Bewertung der Skala im Rahmen eines empirischen Tests durchgeführt wurde. Dabei müssen die Härtegradabstufungen für die jeweilige Raumsituation bewertet werden. Hier wären in der Befragung Einteilungen von gut, schlecht, störend, irritierend, unterstützend, ermüdend, anregend und Ähnlichem denkbar. Zudem sollte bei der Bewertung des Härtegrades auch der Zusammenhang mit Erkennbarkeit von Gegenständen und Umgebung berücksichtigt werden.

Diese Erkennbarkeit wird heutzutage in Normen und Planungsempfehlungen meist als Modelling bezeichnet und in der Schrift der LiTG (Heft 35) wie folgt beschrieben:

„Modelling beschreibt die Ausgewogenheit zwischen diffusem und gerichtetem Licht. Das allgemeine Erscheinungsbild eines Innenraumes verbessert sich, wenn seine baulichen Merkmale, die Menschen sowie die Gegenstände im Raum so beleuchtet werden, dass Form und Struktur deutlich und gefällig vermittelt werden. Die Beleuchtung sollte nicht zu stark gerichtet sein, weil sich sonst zu harte Schatten bilden. Sie sollte auch nicht zu diffus sein, da sonst der Modelling-Effekt völlig verloren geht, was zu einer sehr ausdrucksarmen Lichtumgebung führt. Starke Mehrfachschatten, die durch gerichtetes Licht aus mehr als einer Position erzeugt werden, sind zu vermeiden, da sie zu verwirrenden visuellen Effekten führen können. Das Verhältnis zwischen zylindrischer und horizontaler Beleuchtungsstärke in einem Punkt ist ein guter Modelling-Indikator. Die Rasterpunkte für zylindrische und horizontale Beleuchtungsstärken müssen bei einer Lichtplanung übereinstimmen.

Grenzwerte

- Für regelmäßige Anordnungen von Leuchten oder Dachoberlichtern ist ein Wert zwischen 0,30 und 0,60 ein Indikator für gutes Modelling.

- Von Fenstern breitet sich Tageslicht hauptsächlich horizontal aus. Die zusätzlichen Vorteile von Tageslicht können den Einfluss auf den Modelling-Wert kompensieren. Modelling-Werte für Tageslicht können daher von dem angegebenen Wertebereich abweichen.“

(Dehoff & Tralau, 2017) S.105

In derselben Schrift gibt es noch die zusätzliche Kategorie des Schlagschatten.

„Schlagschatten werden durch starke punktförmige Lichtquellen erzeugt, die ein Objekt aus einer Richtung anstrahlen. Schlagschatten sind störend, wenn sie die Sichtbarkeit der Sehaufgabe oder den Eindruck des Raumes beeinträchtigen. Bei künstlicher Beleuchtung ist zu beachten, dass jede punktförmige Lichtquelle potenziell einen Schlagschatten erzeugt.

Grenzwerte

- Derzeit gibt es keine normativen Festlegungen.“

(Dehoff & Tralau, 2017) S.104

Es ist also festzuhalten, dass derzeit keine normativen Vorgaben festgelegt sind wie es etwa bei der mittleren Beleuchtungsstärke oder Gleichmäßigkeit der Fall ist. Es gibt jedoch in der Norm (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2011) Planungsgrundlagen sowie die Vorschläge aus der Schrift der LiTG zur Lichtqualität, die versuchen das Thema zu fassen und auch Lösungen anzubieten. Jedoch fehlt es hier an quantitativen Aussagen für die Planung. Dadurch lassen sich Raumlichtsituationen nur durch einen gewissen Erfahrungswert reproduzieren.

Um dies zu ändern ist die Einführung des Härtegrades, abzukürzen mit HgF, als zusätzliche Planungsgröße sinnvoll.

ABBILDUNG 25
Kontrastreiche Wareninszenierung nach deutlicher Erhöhung des HgF.

ABBILDUNG 26 **Die Ware durchläuft eine Zone mit hohem HgF und wird dadurch inszeniert. Der Kunde hingegen bewegt sich um einen Raum mit niedrigem HgF. Das schafft eine intimere, geschütztere Atmosphäre. Dies wird durch die niedrig hängenden und raumbildenden Flächenleuchten unterstützt.**

DER ENTWICKLER

MARKUS FELSCH

Geburtsjahr	Geburtsort	Beruf
1972	Berg. Gladbach	Dipl.-Ing. Lighting Design

Markus Felsch beschäftigt sich seit seinem 16. Lebensjahr mit dem Thema Lichtgestaltung. Anfänglich im Rahmen der Eventbeleuchtung, dann im Zuge einer Ausbildung zum Energieanlagen-Elektroniker mit den technischen Aspekten und schließlich während des Lichtdesign-Studiums an der HAWK in Hildesheim mit den architektonischen Gesichtspunkten der Lichtplanung. Parallel zur Planungstätigkeit mit seinem Büro Felsch Lighting Design GmbH forscht und lehrt er an der HAW Hamburg im Fachbereich Veranstaltungstechnik zu den Themen Lichtdesign und Lichttechnik. Im Wintersemester 2020 / 21 und Sommersemester 2021 wird Herr Felsch als verwaltender Professor an der HAWK einen Lehrauftrag übernehmen.

Impressum

FELSCH LIGHTING DESIGN GmbH
Markus Felsch
Dipl.-Ing. (FH) Lighting Design

Gaußstraße 190b
D-22765 Hamburg

Fon: +49 (0) 40 636 599 10
Fax: +49 (0) 40 636 599 16

E-Mail: mail@felsch.de
Web: www.felsch.de

LinkedIn
Facebook
Xing
Research Gate

Literaturangaben

DIN EN 12464
LiTG Schrift Heft 35
Masterarbeit Clarissa Borgstädt vom 21.12.2018

„Aus dem Zusammenspiel von Licht und Schatten entsteht der Kontrast, in dem die Aussage zum Vorschein kommt.“

MARKUS FELSCH