

BESTIMMUNG EINES REFLEXIONSNORMALS FÜR KONTRASTWIEDERGABE-MESSUNGEN

Carsten Funke¹, Michael Deter¹, Christoph Hupe¹, Robert Skoczowsky¹, Christoph Schierz¹

¹) Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik,
carsten.funke@tu-ilmenau.de

ABSTRACT

Bei Büroarbeitsplätzen spielt die Kontrastwiedergabe eine wichtige Rolle. Zur Beschreibung der Kontrastwiedergabe wurde in den 80er Jahren das CRF-Verfahren entwickelt. Mit der ortsauflösenden Leuchtdichtemesstechnik ist es mittlerweile möglich, auch CRF-Messungen ortsaufgelöst durchzuführen. Dafür wird ein hinreichend großes Reflexionsnormal benötigt, welches die heute typischen Sehaufgaben am Arbeitsplatz repräsentiert. Um ein derartiges Normal bestimmen zu können, wurde zunächst eine Umfrage online unter Büroangestellten durchgeführt und ausgewertet. Aus dieser Umfrage ging erwartungsgemäß hervor, dass es sich beim meistgenutzten Papier im Büro und Kopierpapier mit 80 g/m² handelt. Weiterhin werden in erster Linie Laseraufdrucke verwendet, gefolgt von Kugelschreiber und Tintenaufdrucke. Neben den beleuchteten Sehaufgaben spielen selbstleuchtende Geräte (z.B. Smartphones, Tablets) eine immer größere Rolle. Die Anforderungen an das Normal müssen sich daran orientieren.

Um diese Werte lichttechnisch zu erfassen, wurden zwei Messverfahren eingesetzt. Bei dem ersten Prinzip handelt es sich um einen Goniometeraufbau mit Spektralradiometer, ähnlich dem klassischen CRF-Verfahren [1]. Beim zweiten Prinzip wurde eine ortsaufgelöst messende Leuchtdichtemesskamera (LMK) eingesetzt. Beiden Aufbauten wurde eine bewegliche Lichtquelle (Halogenleuchte) hinzugefügt, sodass verschiedene Beleuchtungswinkel einstellbar sind. Aus den Messungen werden die Leuchtdichtefaktoren für verschiedene Proben bestimmt.

Für vorwiegend diffus reflektierende Proben konnte eine gute Übereinstimmung von punktueller Leuchtdichtemessung (Spektralradiometer) und ortsaufgelöster Leuchtdichtemessung (LMK) erreicht werden. Bei vorwiegend glänzenden Oberflächen (Glanzpapier, Tablet) weichen die Messergebnisse aber stark voneinander ab, sodass die Messaufbauten hinsichtlich Präzision und Stabilität für eine exakte Messung noch optimiert werden müssen, um Anforderungen für ein Kontrastwiedergabenormal definieren zu können.

Schlagwörter: CRF, Reflexblendung, Contrast Rendering Factor, Kontrastwiedergabe

1 EINLEITUNG

In der Innenraumbeleuchtung spielt neben der Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche die Wiedergabe von Kontrasten eine entscheidende Rolle. Der Kontrast wird aus den Leuchtdichten von Sehdetail L_o und dessen unmittelbarer Umgebung L_u bestimmt:

$$C = \frac{L_u - L_o}{L_u} \quad (1)$$

Abhängig von der Lichteinfallrichtung auf die Sehaufgabe kann der Kontrast unterschiedlich wiedergegeben werden. Zur Beschreibung der Kontrastwiedergabe wurde in der LiTG-Publikation Nr. 13 [1] wurde mit dem Kontrastwiedergabefaktor CRF (Contrast Rendering Factor) ein Gütemerkmal angegeben:

$$CRF = \frac{C}{C_0} \quad (2)$$

In dieser Gleichung ist C der Kontrast der Sehaufgabe bei der aktuellen Beleuchtung und C_0 der Kontrast bei einer vollkommen diffusen Beleuchtung. Der CRF-Wert korreliert sehr gut mit der empfundenen Kontrastwahrnehmung bei verschiedenen Beleuchtungssituationen [2]. Jedoch hat sich das Verfahren in der Praxis nicht durchgesetzt, da beim bisherigen Messvorgang auf der Tischplatte 112 Punkte einzeln mit einem Leuchtdichtemesskopf vermessen werden mussten. In vorangegangenen Untersuchungen [3; 4] konnte gezeigt werden, dass das CRF-Verfahren auch mit einer Leuchtdichtemesskamera (LMK) anstatt des Brüel & Kjaer-Leuchtdichtemessgeräts durchgeführt werden kann. Um den gesamten aktiven Bereich mit einem Bild messen zu können, benötigt man jedoch ein ausreichend großes Reflexionsnormal, mit welchem man die Kontrastwiedergabe für verschiedene Sehaufgaben ableiten kann. Derartige Reflexionsnormale sind derzeit nicht am Markt verfügbar.

In dieser Untersuchung wurden zunächst typische Sehaufgaben mit einer Umfrage unter Büroangestellten ermittelt und daraus die notwendigen Eigenschaften für die Reflexionsnormale abgeleitet. In diversen Versuchen wurden dann mehrere Reflexionsplatten hergestellt, um die geforderten Eigenschaften zu erreichen.

2 UMFRAGE: TYPISCHE SEHAUFGABEN IM BÜROBEREICH

In der Umfrage wurden neben der allgemeinen Arbeitsplatzgestaltung (Größe und Beschaffenheit der Schreibtischfläche, Größe und Ausrichtung des Monitors, etc.) vor allem die Eigenschaften der typischen Sehaufgaben während eines Arbeitstages abgefragt. Zu den Sehaufgaben gehören Computeranwendungen, die Tastatur, verschiedene Papiersorten sowie deren Aufdrucke. Die Umfrage wurde online an verschiedenen Büroarbeitsplätzen durchgeführt. Im Wesentlichen handelte es sich hier um Universitätsbüros der Technischen Universität Ilmenau (wobei zwischen Lehre/Forschung und Verwaltung unterschieden wird), Büros in Handels-, Dienstleistungs- und Industrieunternehmen und in der öffentlichen Verwaltung (vgl. Abb. 1). Insgesamt wurden 207 Personen befragt, davon 112 Frauen und 95 Männer (Altersdurchschnitt ca. 40 Jahre, vgl. Abb. 2)

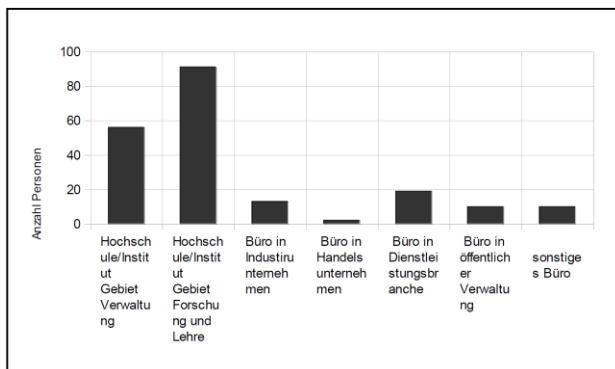


Abbildung 1 – Berufsgruppen der Umfrageteilnehmer.

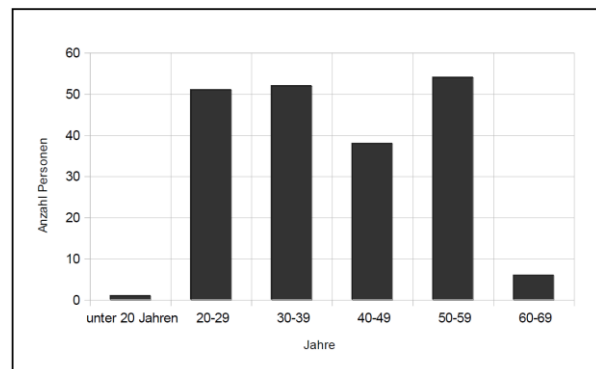


Abbildung 2 – Altersstruktur der Umfrageteilnehmer.

Aus der Abb. 3 ist zu erkennen, dass die am häufigsten verwendete Papiersorte weißes Druckerpapier ist, denn ca. 60 % der befragten Personen verwenden dieses sehr häufig. Weiter verwenden 50 % der Befragten Klebezettel regelmäßig bis sehr häufig. Von noch ca. 25 % der Befragten wird kariertes bzw. liniertes Schreibpapier verwendet. Glänzende Papiersorten wurden von den Befragten eher selten verwendet. Bei den Aufdrucken (vgl. Abb. 4) verwendeten 60 % der Befragten sehr häufig schwarze und farbige Aufdrucke mittels Laserdrucker. Weitere 30 % verwenden diese noch regelmäßig bis häufig. Der Kugelschreiber wird von 60 % der Befragten regelmäßig bis sehr häufig verwendet. Auch Tablet-PCs werden immer häufiger eingesetzt. Über 80 % der 207 befragten Personen gaben an, Tablet-PCs durchschnittlich eine Stunde pro Tag am Arbeitsplatz zu benutzen.

Folglich müssen Reflexionsnormale für den Bürobereich sowohl für Standardanwendungen (Kopierpapier mit Laseraufdruck) als auch hochglänzende Anwendungen geschaffen werden. Die Größe eines Reflexionsnormals soll 420 x 300 mm betragen (vgl. [1]).

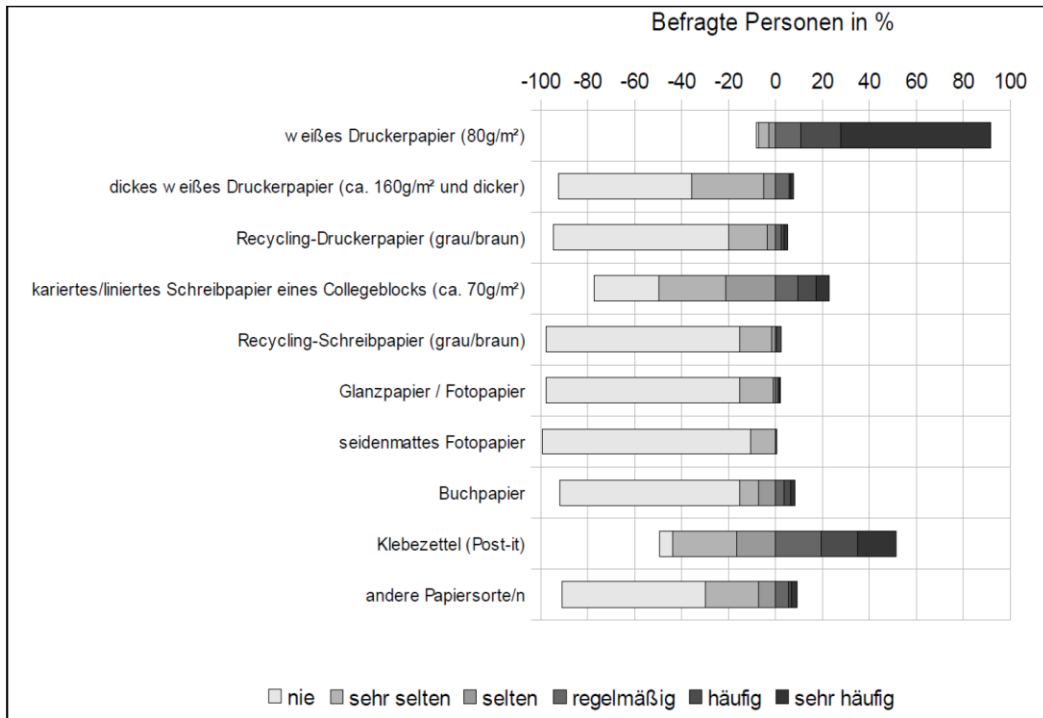


Abbildung 3 – Häufigkeit der eingesetzten Papiersorten (von durchschnittlich 180 befragten Personen)

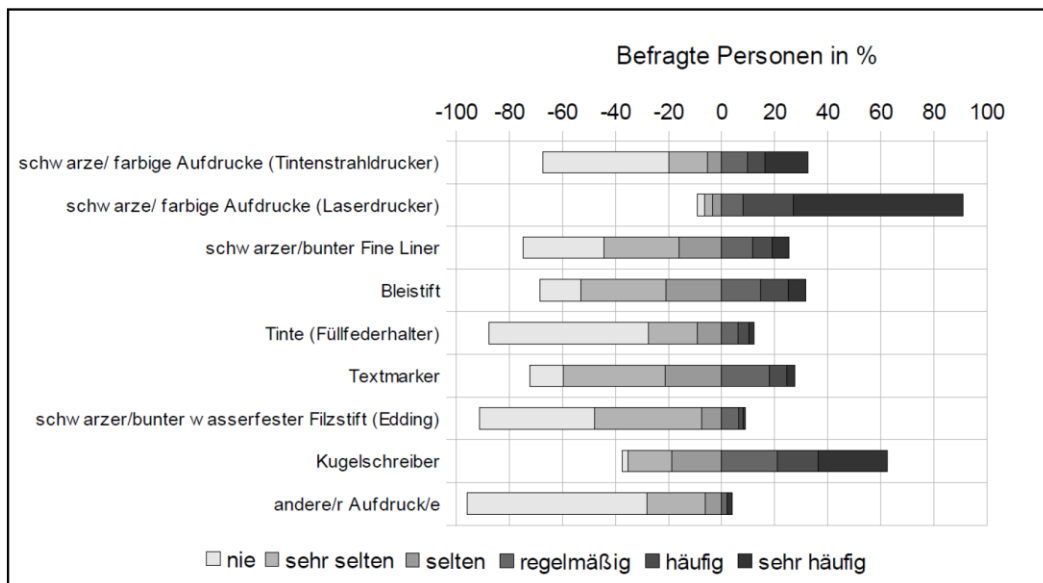


Abbildung 4 – Häufigkeit der verwendeten Aufdrucke (von durchschnittlich 170 befragten Papiersorten)

3 MESSMETHODE UND -AUFBAU

Die zur Anwendung kommenden Messprinzipien beruhen in allen Fällen auf einer Leuchtdichtemessung auf der Probenoberfläche. Dafür werden verschiedene Messungen durchgeführt und daraus der Leuchtdichtefaktor für die jeweilige Probe bestimmt. Die Bestimmung des Leuchtdichtefaktors geschieht, um die Proben miteinander vergleichen zu können. Sind die Leuchtdichtefaktoren für die jeweiligen Beobachtungs-, wie Beleuchtungswinkel gleich, bzw. sehr ähnlich, kann darauf geschlossen werden, dass auch der erzielte CRF-Wert identisch ist. Auf diese Weise wird versucht Materialienkombinationen zu finden, welche als Reflexionsnormal dienen können. Der Leuchtdichtefaktor berechnet sich wie folgt:

$$\beta_{vp}(\gamma) = \frac{L_{vp}(\gamma)}{L_{vw}} \quad (3)$$

L_{vp} und L_{vw} sind die jeweiligen Leuchtdichten von Probe und vollkommen mattweißer Referenz. Als Referenz diente eine mattweiße Keramikoberfläche. Insgesamt wurden 25 schwarze und weiße Proben mit unterschiedlichem Glanzgrad vermessen.

Das Messprinzip mit dem JETI Specbos 1201 ist ähnlich aufgebaut wie das Gerät von Brüel & Kjaer [1]. Allerdings sind Beleuchtung und Messgerät voneinander getrennt verstellbar und erlauben so verschiedene Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel. Die entsprechenden Winkelbereiche wurden in entsprechender Auflösung einzeln nacheinander eingestellt und die Proben vermessen werden (s. Abb. 5). Für jede Probe wurden die Leuchtdichten für die Beobachtungswinkel 5° , 25° , 45° und für die Beleuchtungswinkel im Winkelbereich von 0° bis 80° aufgenommen. Der Beleuchtungswinkel wird dabei in 10° -Schritten abgefahren, analog dem in [1] beschriebenen Vorgehen.

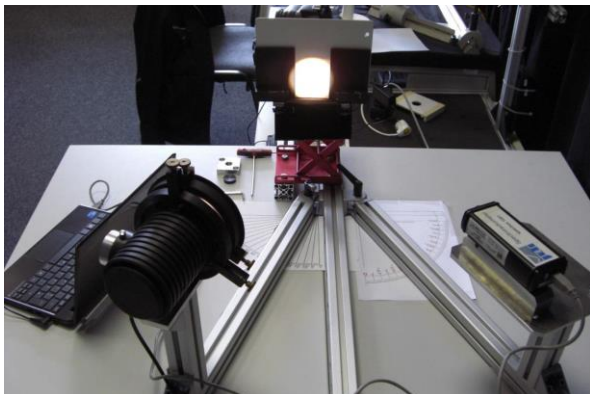


Abbildung 5 – Messaufbau mit Spektralradiometer und Beleuchtung

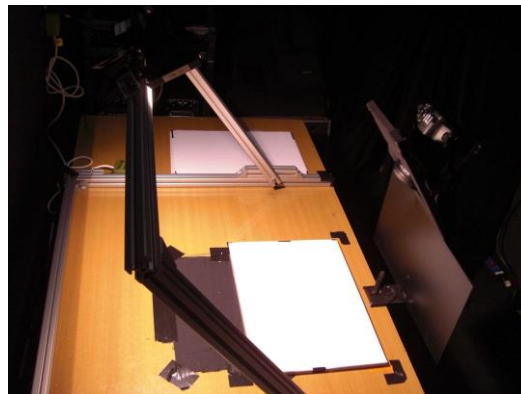


Abbildung 6 – Messaufbau mit LMK und Beleuchtung

Der Messaufbau mit der Leuchtdichtemesskamera LMK mobile basiert im Wesentlichen auf dem Messplatzaufbau des Unternehmens Zumtobel [4]. Die dort genannten Anforderungen wurden übernommen. Dazu zählen etwa Kompaktheit und die Möglichkeit den Messaufbau

auch in realen Büros außerhalb des Labors nutzen zu können. Daher wird die Leuchtdichtemesskamera auf einem Gestell aus Aluminiumprofilen am Tisch befestigt. Weiter zählt zum Aufbau ein Normabschattkörper, welcher in seiner Dimensionierung eine vor dem Bewertungsfeld sitzende Person nachbilden soll (vgl. [1]). Zusätzlich wird auf dem Tisch ein Gestell positioniert, das ebenfalls aus Aluminiumprofilen besteht und einen 100 W Halogenstrahler trägt. Dieser Strahler kann durch das Gestell um die Querachse des Bewertungsfeldes gedreht werden, womit verschiedene Lichteinfallswinkel realisiert werden können (s. Abb. 6).

4 ERGEBNISSE

Für matte Proben konnten gute Übereinstimmungen zwischen Spektralradiometermessung und Leuchtdichtemesskamera erreicht werden, unabhängig davon ob es sich um weiße oder schwarze Proben handelt (vgl. Abb. 7, Zumtobel schwarz). Je höher jedoch der gerichtete Anteil der Reflexion auf der Probenoberfläche ist, desto größere Unterschiede ergaben sich zwischen der ‚konventionellen‘ und der ortsaufgelösten Messung (vgl. Abb. 7, Fotogloss / Glas).

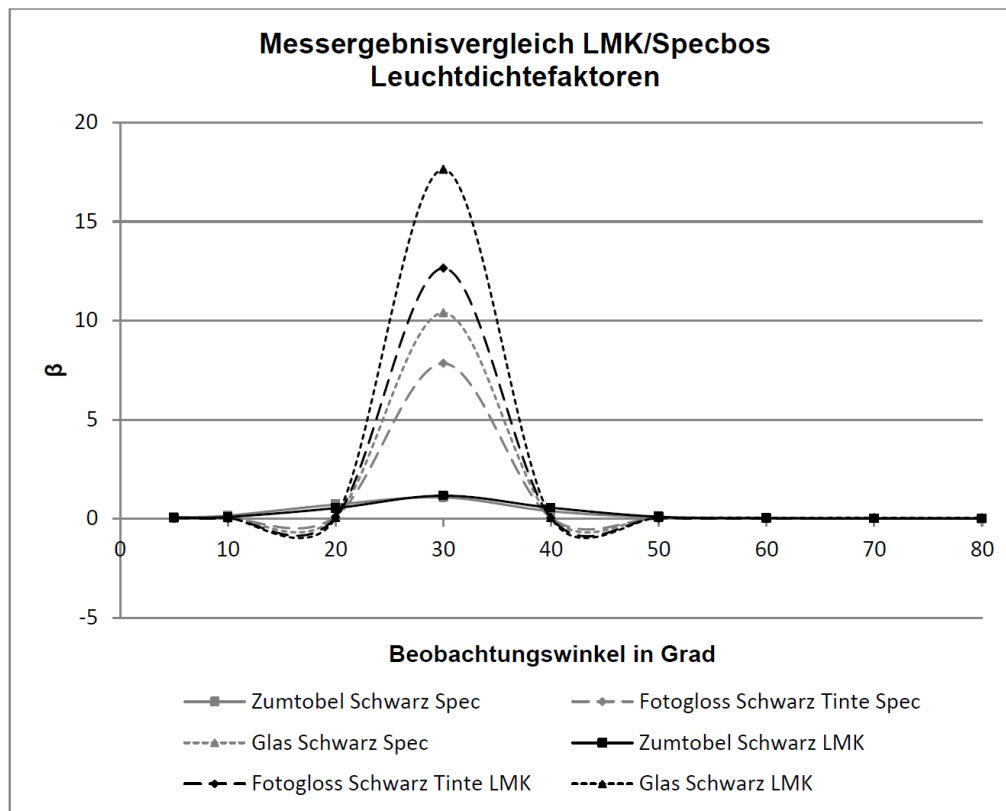


Abbildung 7 – Vergleich der Messergebnisse für ausgewählte schwarze Proben. Zumtobel Schwarz ist ein matt pulverbeschichtetes Aluminiumblech, Fotogloss Schwarz ist schwarz bedrucktes hochglänzendes Papier und Glas Schwarz ist Floatglas auf mattschwarzem Papier (Simulation „dunkles Tablet“).

Um diese Messunterschiede zu beseitigen, wurden verschiedene Untersuchungen für ausgewählte Proben unternommen. Unter anderem wurden die Messgeräte und die Messaufbauten getauscht, die elastischen Proben auf stabile Trägerplatten aufgeklebt und die Messgeometrien überprüft. Trotz dieser Verbesserungen konnte noch keine hinreichende Übereinstimmung erzielt werden.

Für die Standardanwendung (Laserdruck auf Kopierpapier) konnte ein pulverbeschichtetes schwarzes Aluminiumblech hergestellt werden (vgl. Abb. 8), welches sowohl die Reflexionseigenschaften eines Laseraudrucks hinreichend nachbildet, als auch hinsichtlich Langzeitstabilität, Verfügbarkeit und Herstellungskosten für orts aufgelöste CRF-Messungen geeignet ist. Eine geeignete weiße Probe konnte noch nicht gefunden werden.

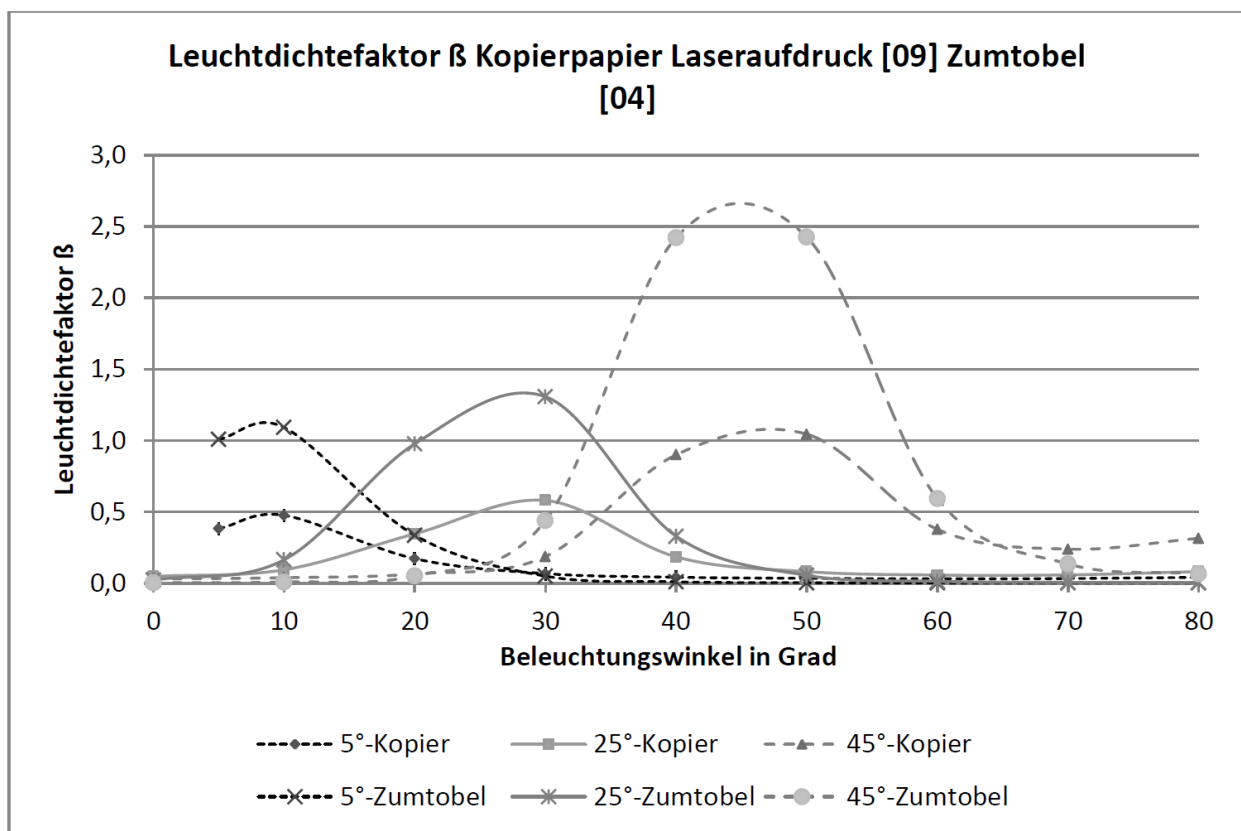


Abbildung 8 – Vergleich der Messergebnisse des Spektralradiometers für schwarzen Laseraufdruck auf Kopierpapier und ein mattschwarz pulverbeschichtetes Aluminiumblech. 5°, 25° und 45° stellen jeweils die Beobachtungswinkel dar.

5 DISKUSSION UND AUSBLICK

Die Messunterschiede zwischen der punktuellen Messung mit Spektralradiometer und Leuchtdichtemesskamera könnten nach Ansicht der Autoren darauf zurückzuführen sein, dass besonders im Bereich Einfallswinkel = Ausfallswinkel bei hochglänzenden Proben auch kleinste geometrische Abweichungen zu erheblichen Messfehlern führen. Dieser Einfluss wird in einer nachfolgenden Untersuchung mit feineren Winkelschritten in diesem Bereich näher betrachtet.

Sobald die Messabweichungen beseitigt sind, können Reflexionsnormale für hochglänzende Sehaufgaben definiert werden. Anschließend soll mit psychometrischen Untersuchungen überprüft werden, inwiefern die gemessenen CRF-Werte des neuen Reflexionsnormals mit den Probandenurteilen übereinstimmen. Neben der Lesbarkeit sollen die Testpersonen auch die Störung durch Reflexionen von LED-Matrix-Leuchten auf der Arbeitsfläche bewerten.

DANKSAGUNG

Diese Forschungsarbeit wurde mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungsprojekts UNILED (Förderkennzeichen: 13N10751) durchgeführt.



QUELLEN

- [1] Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (Hrsg.) (1991): Der Kontrastwiedergabefaktor CRF - ein Gütemerkmal der Innenraumbeleuchtung. Berlin: Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG-Publikation 13).
- [2] Jentsch, Jürgen; Schmits, Paul W.; Stolzenberg, Klaus (1984): Subjektive Bewertung von Beleuchtungsanlagen und Kontrastwiedergabe. Teil 2. In: Licht-Forschung 6 (2), S. 87–91.
- [3] Wolf, Stefan; Löffler, Karin; Gall, Dietrich (1996): Ermittlung von CRF-Werten mittels bildaufgelöster Leuchtdichtemessung. In: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (Hrsg.): Licht 96. 12. Gemeinschaftstagung, 2. bis 4. Oktober 1996, Leipzig ; Tagungsband.
- [4] Junghans, Bert (2012): CRF – „Wiederbelebung eines Messverfahrens“. Vortrag bei der 22. Mitgliederversammlung des Vereins zu Förderung des Fachgebiets Lichttechnik an der TU Ilmenau am 19.10.2012 in Ilmenau