

## **Anforderungen an Simulationssoftware zur Lichtsimulation im Kfz Entwicklungsprozess**

Autoren: Henning Kiel\*, Daniel Mensch\*\*, Sebastian Vogler\*\*\*

\*Volkswagen AG, Brieffach 1582, 38436 Wolfsburg, henning.kiel@volkswagen.de

\*\*Volkswagen AG, Brieffach 1582, 38436 Wolfsburg, daniel.mensch@volkswagen.de

\*\*\*Volkswagen AG, Brieffach 1582, 38436 Wolfsburg, sebastian.vogler1@volkswagen.de

### **1. Einführung**

In der frühen, virtuellen Absicherung des Entwicklungsprozesses ist das Raytracing die technologische Grundlage für die Berechnung der Photometrie eines Scheinwerfers oder einer Leuchte. Dabei werden den CAD-Daten der Entwicklungsstände die Modelle der lichttechnischen Eigenschaften der jeweiligen Oberflächen und Materialien zugeordnet. Die in unterschiedlicher Detaillierungstiefe eingesetzten Modelle der Lichtquellen werden entsprechend des Entwicklungsstandes /1/, /2/ angewendet. Die Anzahl  $N$  der zu berechnenden Strahlen wird je nach Anwendung der Simulation, der zu schätzenden photometrischen Größe und nach Art bzw. Lichtverteilung (LVK) der Funktion festgelegt. Das Vorgehen ist in Abbildung 1 dargestellt. Es zeigt die Bestandteile der Simulationsumgebung als Eingangsgrößen für die Simulation, deren typische

Anwendungen, sowie den hauptsächlichen Zeitraum der Anwendung der virtuellen Absicherung im abstrahierten Entwicklungsprozess.

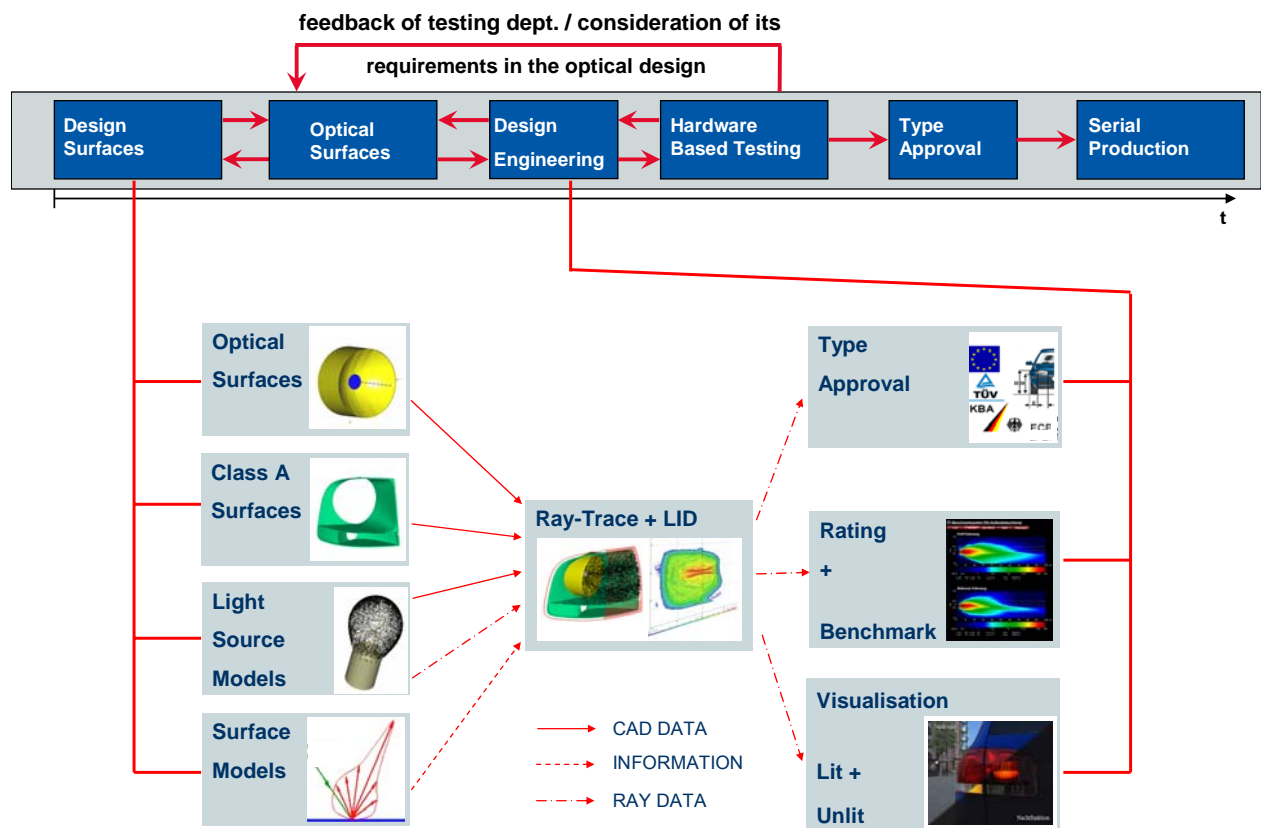


Abbildung 1: Lichtsimulation im Entwicklungsprozess

Die Simulationsergebnisse, die auf einer finalen Geometrie eingezählten Strahlen  $N_{EIN}$ , werden für die Darstellung der Nachtfunktion, die wahrnehmungsbasierte Bewertung der Lichtverteilung sowie die virtuelle Typprüfung genutzt. In letzterem Fall werden die höchsten Genauigkeitsanforderungen an die Simulation gestellt. Sinnvollerweise sollte die Simulation eine Unsicherheit ähnlich der realen, hardware-basierten, Typprüfung aufweisen. Die Abweichungen der quantitativ genutzten Simulation, im Gegensatz zu der typischerweise vergleichenden Simulation, sowie die Anforderungen der Simulation von Leuchtdichten im Hinblick auf eine Visualisierung der Nachtfunktion werden nachfolgend thematisiert.

## 2. Fallbeispiel eines Abblendlichtscheinwerfers

Der Abblendlichtscheinwerfer ist einer der lichttechnisch anspruchvollsten Funktionen der Kfz-Außenbeleuchtung. Die Umsetzung am ECE-Markt erfolgt überwiegend mittels eines facettierten Freiformreflektors und einer H7-Glühlampe. Das darauf

basierende Fallbeispiel wird in Abbildung 2 inklusive seiner typischen Komponenten gezeigt.

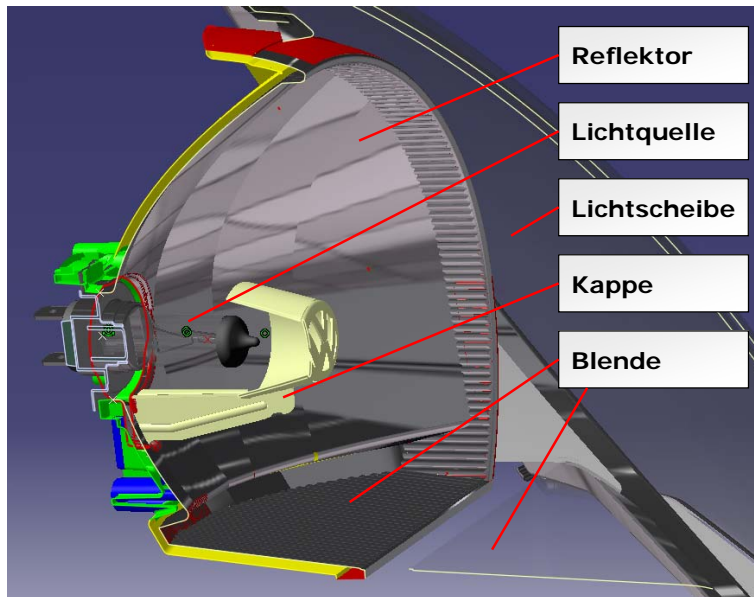


Abbildung 2: Abblendlichtscheinwerfer mit Freiformreflektor und typischen Komponenten

Für die Diskussion der Unsicherheiten ist es wichtig zu beachten, dass die Abweichungen der Photogoniometermessung der Typprüfung durch das Messgerät, den Messvorgang und durch das Messobjekt entstehen. Eine photometrische Typprüfung kann mit unterschiedlichen Scheinwerfern einer Produktion in unterschiedlichen Laboren erfolgen. Deswegen wurden zur Ermittlung des Mittelwertes und der zugeordneten Messunsicherheit nach DIN 1319 bzw. GUM Type A zehn Scheinwerfer gemessen. Die Bedingungen der Wiederholmessung am Photogoniometer lassen hinreichend geringe Messunsicherheiten zu, um den Unsicherheitsbeitrag der Messobjekte zu identifizieren. Für die vergleichbare Ausrichtung der Hell-Dunkel-Grenze, die in der Typprüfung visuell und manuell erfolgt, wurde eine Software zu verteilungsbasierten, eindeutigen Ausrichtung erstellt [3], [4]. Die Verteilung der Mittelwerte sowie die Verteilung der relativen erweiterten Messunsicherheiten sind in Abbildung 3 dargestellt.

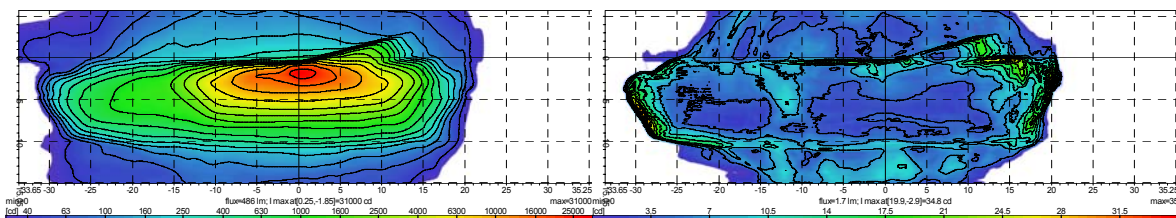


Abbildung 3: Verteilung der Mittelwerte und der Messunsicherheiten des Scheinwerfers

Die Verteilung der Unsicherheiten zeigt dabei, dass die größeren Unsicherheitsbeiträge im Bereich der Hell-Dunkel-Grenze und in peripheren Bereichen mit Werten nahe der Messgrenze liegen. Dafür sind die Toleranzen der Bauteile und der Ausrichtung ursächlich. Die Ausrichtung hat trotz ihrer höheren Reproduzierbarkeit zur visuellen Methode einen signifikanten Beitrag /3/. Für die Messeinrichtung wurde eine Messunsicherheitsanalyse nach DIN 1319 durchgeführt /5/. Die Unsicherheit umfasste die signifikanten Beiträge vom Lichtquellennormal zum Photometer und beträgt in dieser Fallstudie  $U_{rel}(I) = 6,7\%$ .

Die Simulation des Untersuchungsgegenstandes erfolgte inklusive der Modellierung der Messeinrichtung. Die Notwendigkeit dafür, und der Einfluss der Lichtquellenabweichungen auf die Photometrie, sind ebenfalls in /5/ dargestellt worden. Somit wurde in der Simulation das Rayset einer gemessenen Lichtquelle des gleichen Typs, Herstellers und Derivats verwendet. Im Gegensatz zur Messung, bei der jeweils eine Lichtquelle im Toleranzfeld ausgewählt, kalibriert und elektrisch kontaktiert wird sowie einer Alterung unterliegt, kann ein Lichtquellenmodell identisch kopiert und ausgetauscht und damit standardisiert werden. Dessen Unsicherheitsbeitrag durch zufällige Abweichungen ist damit deutlich reduziert.

Die Lichtsimulation kann in diversen Softwareprodukten durchgeführt werden, ähnlich wie eine Ringvergleichsmessung eines Messobjektes auf verschiedenen Messeinrichtungen durchgeführt werden kann. Um die Abweichungen zwischen drei im Kfz-Bereich maßgeblichen Softwareprodukten<sup>1</sup> abzuschätzen, wurde der Untersuchungsgegenstand in diesen Programmen jeweils modelliert. Im Unterschied zum hardwarebasierten Ringvergleich werden in der Simulation die zu Grunde liegenden CAD Flächen mittels NURBS (A, B) oder deren Approximation durch Dreiecke bzw. Tessellierung (C) im jeweiligen Simulationsprogramm unterschiedlich repräsentiert und unterliegen Konvertierungen. Die Flächen, die der Schnittpunktberechnung des Raytracing zu Grunde liegen, sind in typischen Softwareprodukten nicht vollständig nachvollziehbar.

Es wurden in erster Näherung Standardeinstellungen für den CAD-Import bauteilbezogener Flächenverbunde verwendet, was einem prozesstypischen Vorgehen entspricht. Wurden die Deviationen der resultierenden Lichtverteilungen der Programme A,B und C mittels  $(A-B)/B$  bzw.  $(A-C)/C$  ermittelt, so ergaben sich die Darstellungen der Abbildung 4, 5 und 6. Für den Vergleich der zwei auf NURBS-Flächen rechnenden Programme A und B ergab sich eine weitgehende Übereinstimmung im Bereich hinreichender Anzahlen eingezählter Strahlen  $N_{EIN}$ . In den peripheren Bereichen, das heißt außerhalb der Lichtfunktion, ergaben sich zufällige Abweichungen durch das so genannte „Monte-Carlo“-Rauschen. Hinzu kamen systematische Abweichungen in den vertikalen Randbereichen sowie ein

lokales Phänomen in typprüfungsrelevanten Bereichen, das rechts oben vergrößert dargestellt wird und Abweichungen über 20% umfasst.

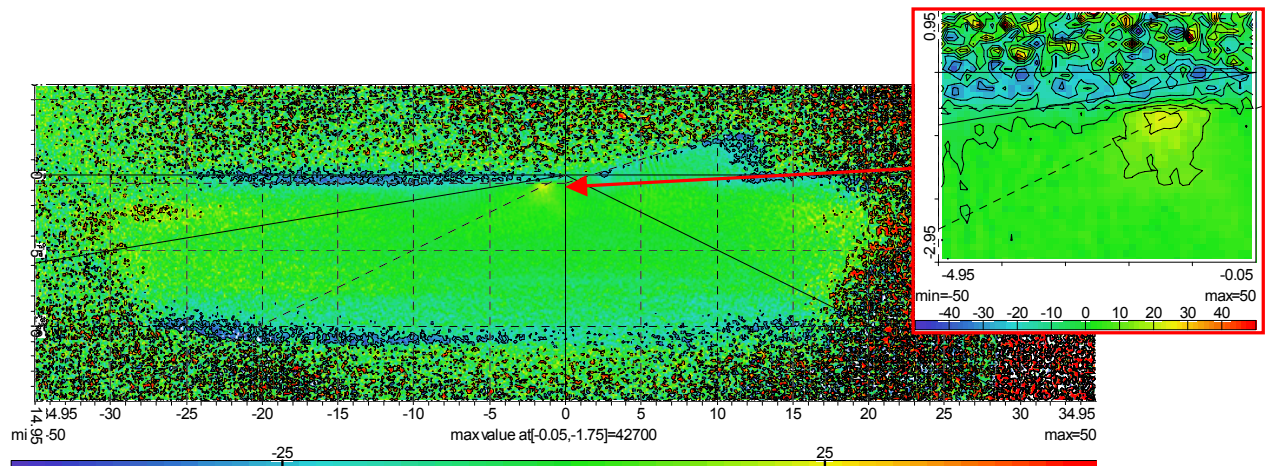


Abbildung 4: Deviation der Ergebnisse aus A und B bei bauteilsektivem Datenimport

Kritisch war, dass eine visuelle Kontrolle der CAD-Daten in typischen Flächenmodellierungsprogrammen oder in den Simulationsprogrammen keinen Rückschluss auf einen vorhandenen Fehler zuließ. Erst ein selektiver Import der Einzelflächen in das ursächliche Simulationsprogramm führte zu einem befriedigenden Ergebnis, wie in Abbildung 5 dargestellt.

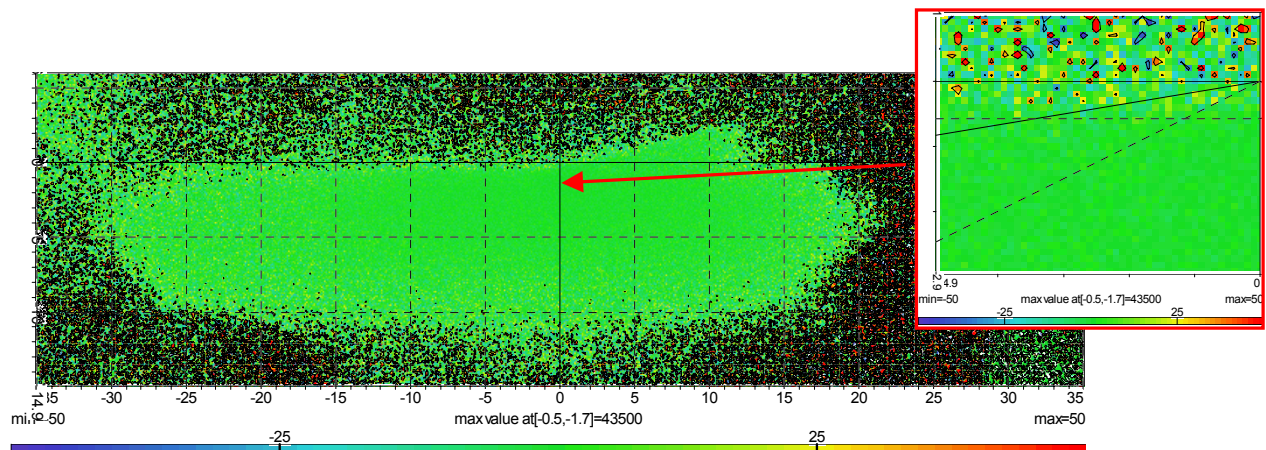


Abbildung 5: Deviation der Ergebnisse aus A und B bei flächenselektivem Datenimport

Bei dem auf tessellierten Flächen basierenden, und damit sehr schnell rechnenden, Simulationsprogramm C ergaben sich bei Verwendung der Standardeinstellungen die in Abbildung 6, links dargestellte Deviation zu Programm A. Die Abweichungen sind in fast der kompletten Lichtverteilung zu hoch. Eine Kontrollmöglichkeit der tessellierten Flächen ist nicht vorgesehen.



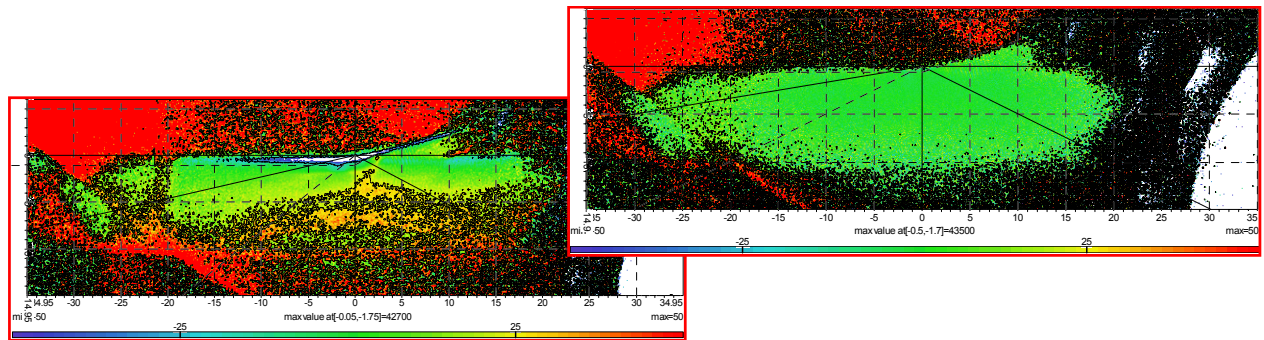


Abbildung 6: Deviation der Ergebnisse aus A und C bei Standard- und optimalen Einstellungen

Mittels empirischer Optimierung der Tesselierungseinstellungen konnten die Abweichungen auf den zu erwartenden zufälligen Anteil des Monte-Carlo-Rauschens sowie den systematischen Anteil, verursacht durch eine CAD-Verschiedenheit im linken Bereich reduziert werden, wie in Abbildung 6 rechts dargestellt. Bei dieser Optimierung wurde die Approximierung durch Dreiecke so lange verfeinert und deren Anzahl damit erhöht, bis sich keine Änderung im Ergebnis mehr ergab. Im vorliegenden Beispiel hatte dies eine enorme Erhöhung der Rechenzeit und des Speicherbedarfs zur Folge.

Somit reduzieren sich die Abweichungen von Lichtsimulationen im Wesentlichen auf den Anteil durch das Monte-Carlo-Rauschen. Diese zufälligen Abweichungen werden üblicherweise als normalverteilt angenommen und haben damit Abhängigkeiten in Konvergenzverhalten und Standardabweichungen, die der Quadratwurzel folgen. Die Lichtsimulation arbeitet überwiegend mit Strahlen gleicher Intensität im Lichtquellenmodell, die sich bei den meisten lichttechnischen Systemen im Kfz-Bereich auch beim Raytracing erhält und somit bei der Schätzung der Photometrie zu Grunde liegt. Die zufällige Abweichung des Wertes ergibt sich durch die inhomogene Leuchtdichtevertellung der Lichtquelle und der LVK, die mittels einer begrenzten Anzahl der Strahlen  $N_{EIN}$  und dem Histogramm örtlich diskretisiert wird. Dass Histogramm der LVK wird bestimmt durch die Anforderungen an die Auflösung der Lichtverteilung, die bei  $\Delta\alpha_{H,V} = 0,1^\circ$  liegt [4], [6]. Zur Bestimmung der Unsicherheit der Simulation wurde mit einem zur Messung vergleichbaren Vorgehen die Analyse nach DIN 1319 bzw. GUM Type A angewendet. Es wurden Mehrfachsimulationen und Photometrieschätzungen durchgeführt, die eine Gesamtstrahlenanzahl von  $N_{AUS} = 1 \cdot 10^8$  repräsentieren. Die Verteilung der ermittelten relativen erweiterten Messunsicherheiten ist in Abbildung 7 dargestellt.

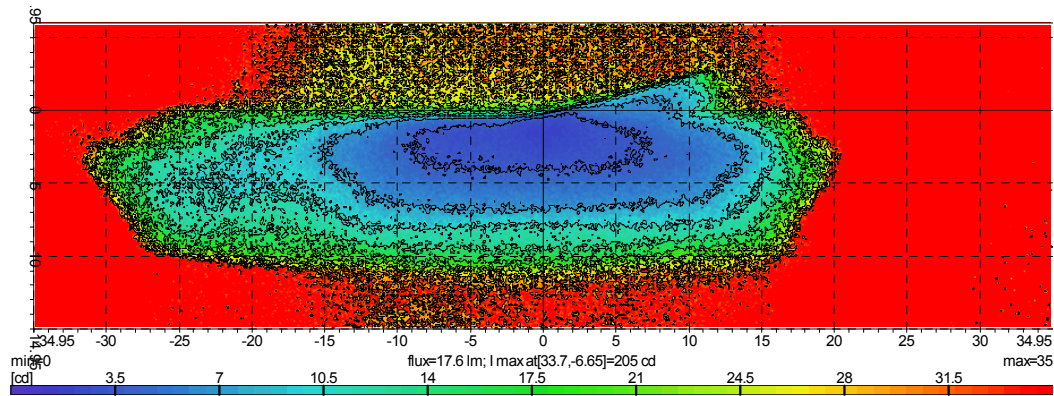


Abbildung 7: Verteilung der relativen erweiterten Messunsicherheiten der Simulation

Die Werte der Unsicherheitsbeiträge der Simulation zeigen ein anderes Verhalten als die Unsicherheitsbeiträge der Goniometermessung und sind indirekt proportional zu der Anzahl der in ein Raumwinkelement oder Pixel eingezählten Strahlen  $N_{EIN}$ , respektive zum photometrischen Wert. Für den Entwicklungsprozess ist es hingegen praktikabel die Anzahl der aus der Lichtquelle ausgehenden Strahlen  $N_{AUS}$  festzulegen. Das Konvergenzverhalten des Wertes eines Pixels für den Prüfpunkt bei  $\alpha_H = \alpha_V = 0$  ist in Abbildung 8 dargestellt. Ein stabiles Verhalten scheint sich bei diesem Prüfpunkt bei ca. 20 Millionen gestarteten Strahlen  $N_{AUS}$  einzustellen. Zudem sind die Werte der erweiterten Messunsicherheit für diesen Pixel dargestellt.

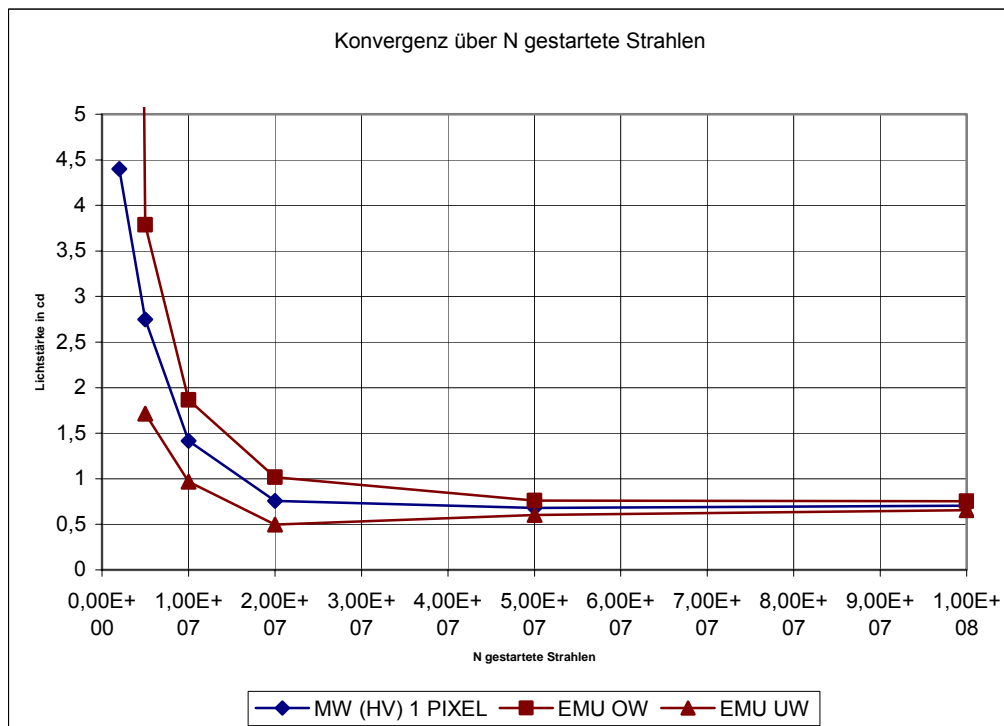


Abbildung 8: Konvergenzverhalten und Unsicherheit für den Prüfpunkt H-V

Um die für eine Typprüfung relevanten Messpunkte aus einer Histogramm-geschätzten Lichtverteilung zu bestimmen, die nicht wie H-V mittig in einem Pixel liegen, wird typischerweise eine bi-lineare Interpolation mit den vier benachbarten Pixeln des Histogramms vorgenommen /7/. Werden die Unsicherheitsbeiträge von interpolierten mit nicht-interpolierten Werten über den eingezählten Strahlen  $N_{EIN}$  aufgetragen, so ergibt sich der in Abbildung 9 dargestellte Verlauf. Während ein nicht-interpolierter Wert bei  $N_{EIN} = 100$  eingezählten Strahlen einen Unsicherheitsbeiwert von  $U_{rel}(I) \approx 10\%$  hat, so benötigen die interpoliert gewonnen Werte  $N_{EIN} \approx 500$  für einen ähnlichen Unsicherheitsbeitrag. Die drei untersuchten Prüfpunkte 75R, B50L und 50R liegen dabei in photometrisch unterschiedlichen Bereichen der Lichtverteilung.

Das beobachtete Verhalten ist nicht naheliegend. Die Verwendung des dem Prüfpunkt am nächsten liegenden Pixels in der genannten hohen Winkelauflösung scheint somit sinnvoll.

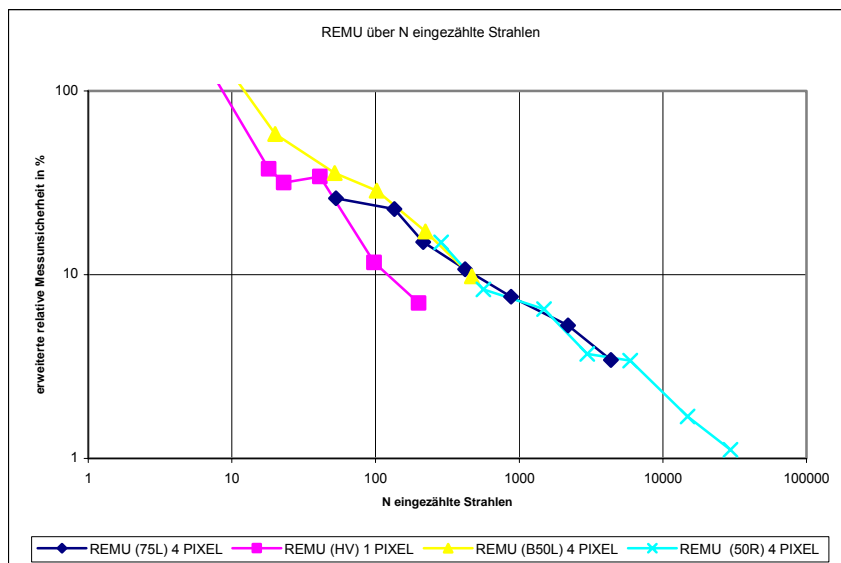


Abbildung 9: Unsicherheitsbeiwerte über eingezählte Strahlen für interpolierte Werte (4 Pixel)

Der Unsicherheitsbeitrag der virtuellen Typprüfung lässt sich demnach für jeweils ein Lichtquellenmodell mittels Messunsicherheitsanalyse Type A GUM abschätzen. Der Unsicherheitsbeiwert ist hauptsächlich von der Anzahl der eingezählten Strahlen  $N$  abhängig. Der Vergleich zwischen Simulation und Messung wurde in /5/, /6/ diskutiert.



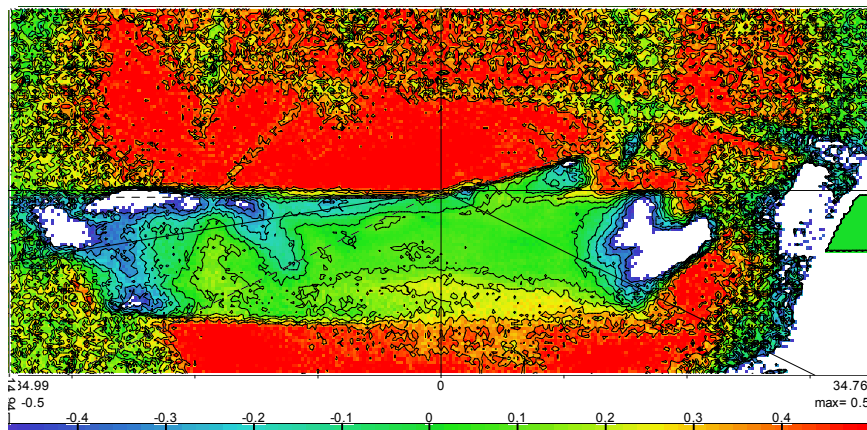


Abbildung 10: Deviation zwischen Messung und Simulation des Fallbeispiels /5/  
 $0,5 \triangleq 50\%$  Abweichung

### 3. Spezielle Anforderung an die Messung und die Simulation von Leuchtdichten

Aufwändiger und unsicherer als der Vergleich von Fernfeldgrößen ist die ortsgenaue und quantitative Gegenüberstellung simulierter und gemessener Leuchtdichten. Die Abhängigkeiten dieser photometrischen Größe sowie das Fehlen einer Messvorschrift, wie bei einer Typprüfung, führen zu einer Vielzahl von Freiheitsgraden und damit zu erheblichen Einflussfaktoren. Schon die auf unterschiedlichen Methoden basierende Bestimmung der Leuchtdichten in Simulationsprogrammen ist oftmals nicht vollständig dokumentiert und führt zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während der Anteil der Lichtstärkeberechnung bekannt ist /7/, ermitteln die Programme die Bezugsfläche an einer unbekannten Objektebene. Die Leuchtdichtekamera und das Auge sind hingegen abbildende Systeme. Auch in einer Nachtvisualisierung /8/, /9/, /10/ werden anschließend wieder Pseudo-Abbildungen vorgenommen, bei denen eine Kamera nachempfunden wird. Die damit verbundenen Einflussfaktoren, wie beispielsweise Brennweite, Abstand bzw. Perspektive und die Bildauflösung, führen zu systematischen Abweichungen. Zudem wird die Unsicherheit der simulierten Leuchtdichten, neben den eingeführten Unsicherheitsbeiträgen der Simulation /5/, durch die Zunahme der Dimensionen und damit der erheblichen Abnahme an Strahlinformationen  $N_{ein}$  bestimmt /9/.

Eine typische Abweichung bei der Leuchtdichtemessung von Kfz-Leuchten tritt bei maximalen Leuchtdichten auf, die weit unter den erwarteten theoretischen Leuchtdichten der Wendel und deren Abbildungen im optischen System, abzüglich der Reflexions- und Transmissionsverluste, liegen. Trotz der Invarianz der Leuchtdichte vom Abstand kann dies auf die Messentfernung zurückgeführt werden.

## Untersuchung eines Fallbeispiels:

Wird eine P21W Lampe mit Nennlichtstrom betrieben, so hat die Wendel mit 6mm Länge und 0,82mm Breite eine theoretische Leuchtdichte von ca.  $9,5 \text{ Mcd/m}^2$ . Wird die Lichtquelle mit einer Leuchtdichtekamera mit  $f=50\text{mm}$ ,  $\kappa=1,3$  und Pixelabmessung  $7,4\mu\text{m}$  in eine Reihe von Messabständen aufgenommen, so sinkt die ermittelte Leuchtdichte stark ab, siehe Abbildung 11. Dabei entspricht das Bild der Wendelbreite in einem Abstand von 5,5m der Breite eines Pixels, und ist damit auch zuvor unteraufgelöst respektive gemittelt. Zusätzlich verringern auflösungsbegrenzende Abbildungsfehler respektive die PSF sowie die begrenzte Schärfentiefe die Maximalwerte zunehmend. Ein Messabstand von 3m ist für die Beurteilung von Heckleuchten maßgeblich, da dies einer verkehrstypischen Bewertungssituation eines vorausfahrenden Fahrzeuges, beispielsweise in einer Wartesituation an einer Ampel, entspricht.

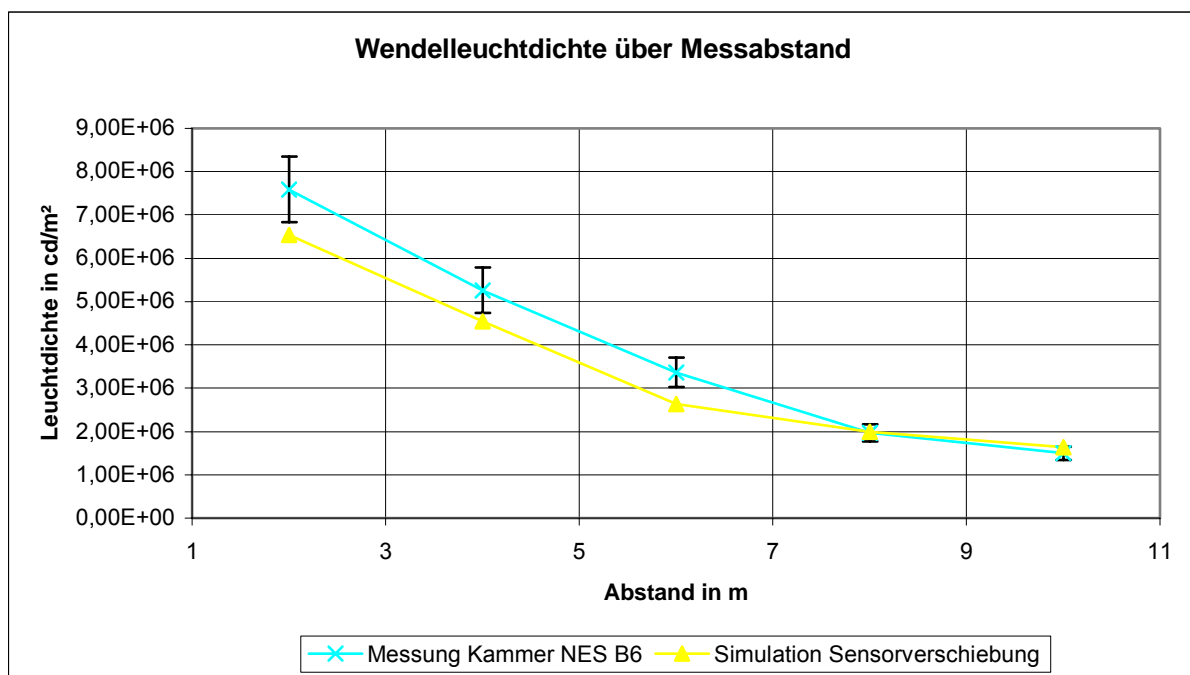


Abbildung 11: Wendelleuchtdichte über Messabstand inkl. Messunsicherheit 10%

Wird zum Vergleich und Nachweis das abbildende System in einer Simulationsumgebung nachgebaut, so wirkt das oben genannte Problem der Strahlenanzahl  $N$  für vernünftige Simulationszeiten begrenzend. Auch das Simulieren hoher Ortsfrequenzen unterliegt großen Unsicherheiten. Der objektseitige Öffnungswinkel wirkt charakterisierend auf die Leuchtdichteverteilung bzw. auf das Abbrechen einer Leuchtensignatur und sollte für Messung und Simulation bzw. Visualisierung möglichst gleich gehalten werden. In diesem Beispiel wurde als

Kompromiss dem Öffnungswinkel der Messkamera von  $1,1^\circ$  ein Winkel von  $3,2^\circ$  der simulierten Kamera mit äquivalenten Sensorauflösungen gegenübergestellt. Abbildung 11 zeigt bei den simulierten Leuchtdichten einen ähnlichen Abfall der Werte über den Messabstand, was als Nachweis der Abhängigkeit gelten soll.

Der Einfluss wirkt verstärkt bei der Leuchtdichtemessung der Wendelbilder in einer Kissenoptik, wie in der Visualisierung in Abbildung 12 dargestellt. Die Bilder in einer konvexen Optik sind, je nach Lichtfunktion, wesentlich kleiner. Beispielsweise würde eine Facette mit 4mm Ausdehnung,  $\pm 40^\circ$  Streuung und damit  $f \sim 3\text{mm}$  ein Wendelbild von  $1/10$  der Objektgröße erzeugen. Entsprechend sind in Messung und Simulation die Leuchtdichtewerte viel niedriger, als allein durch die Reflexionsverluste zu vermuten wäre. Zudem kommen Abbildungsfehler durch Oberflächenabweichungen der Leuchtenelemente hinzu. Die Beobachtung ist übertragbar auf andere streuende Optikelemente in Leuchten.

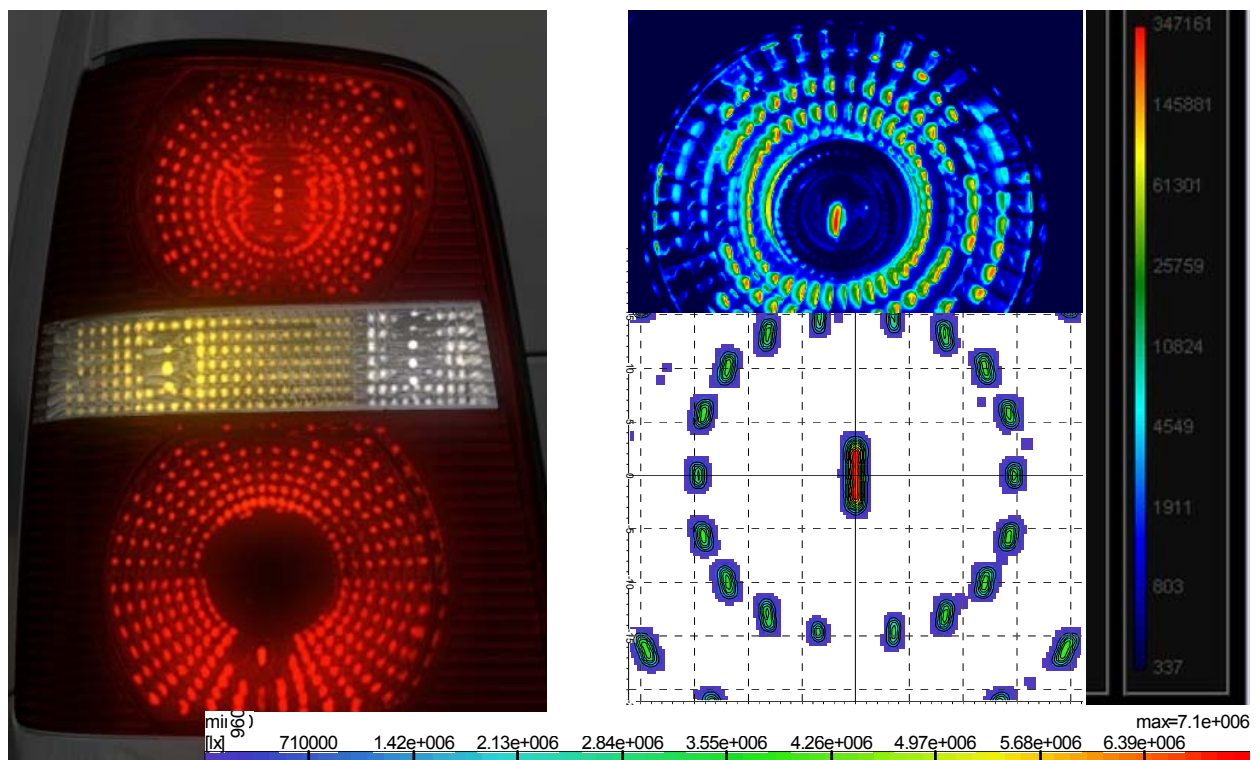


Abbildung 12: Leuchtdichten von Kissenleuchten in Visualisierung, Simulation und Messung

Somit sind für einen Vergleich simulierter und gemessener Leuchtdichten die Nachempfindung des abbildenden Systems und deren Messumgebung sinnvoll.

## 4. Diskussion

Diese Beobachtung ist auch deswegen interessant, weil die gemessene und die wahrgenommene maximale Leuchtdichte die Leistungsanforderung der Anzeigemedien und die Anforderungen an Tonemappingverfahren definieren. Ein maßgeblicher Nachteil der typischen Darbietung auf Monitoren ist deren begrenzte maximale Leuchtdichte. Ein handelsüblicher Monitor erzeugt beispielsweise Leuchtdichten von 250-400 cd/m<sup>2</sup> in Weiß, eine gedimmte P21W Wendel in einer Schlusslichtfunktion, gefiltert durch eine rote Lichtscheibe, erzeugt eine mittlere Leuchtdichte von ca. 250.000cd/m<sup>2</sup>. Das Verhältnis ist dann 1000:1.

Obwohl die mittlere Leuchtdichte der Schlusslichtfunktion bereits 3 Dekaden darunter liegt, erzeugt die zu dunkle Darstellung der Wendel und ihrer Abbildungen in den lichttechnischen Funktionsflächen einen unrealistischen Eindruck, wie in Abbildung 12 links dargestellt. Auch kompensierende Eingriffe, wie die Imitation der Blendwirkung durch „glow“-Effekte oder eine Entfärbung, sind hier begrenzt wirksam. Wird bei einer Nachtvisualisierung der Vergleich mit der Wahrnehmung durch das Auge angestrebt, müssen zudem Parameter wie der darzustellende Dynamikumfang und maximale Leuchtdichten, sowie die Unterschiedsempfindlichkeit mit deren Abhängigkeiten vom Adaptionszustand abgestimmt werden

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Paper werden die Unsicherheiten der simulationsbasierten photometrischen Typprüfung der Kfz-Beleuchtung vergleichend zur messbasierten Methode dargestellt. Anhand des Fallbeispiels eines Abblendlichtscheinwerfers werden Abhängigkeiten der Photometrie von den Fehlern der CAD-Repräsentation gezeigt. Die Verteilung der mittels Messunsicherheitsanalyse ermittelten Unsicherheiten der Raytracing-Simulation wird dargestellt. Die Abhängigkeit des Wertes und dessen Unsicherheitsbeitrages von der Strahlenzahl wird für direkt dem Histogramm entnommene Werte und für interpolierte Werte gezeigt. Dabei weisen die interpolierten Werte eine höhere Unsicherheit auf.

Für den nicht genau spezifizierten Vergleich von gemessenen und simulierten Leuchtdichten wurden Abhängigkeiten der Maximalwerte von der kamerabasierten Abbildung dargestellt, die für Kfz-Leuchten und deren Bewertung typisch sind. Die Abhängigkeit konnte in der Simulation mittels eines virtuellen abbildenden Systems mit gleicher Sensorauflösung nachvollzogen werden. Die Ausarbeitung von

Richtlinien und Messvorschriften für kamerabasierte Leuchtdichtemessungen hat somit auch einen Bedarf in der virtuellen Absicherung.

Für den Vergleich wahrgenommener Helligkeiten mit simulierten und visualisierten Leuchtdichten sind neben maximalen Werten auch die Abhängigkeiten der Hellempfindung und der Unterschiedsempfindlichkeit vom Adaptionszustand bedeutend. Die Ermittlung dieser Zusammenhänge für das Umfeld der Kfz-Beleuchtung ist somit notwendig.

1) Softwareprodukte A, B, C: ASAP 2008 V1R1 (Breault Research Center), Lucidshape 1.7.3 (Brandenburg GmbH), SPEOS CAA V7.0 (Optis)

## **Literatur**

- [1] Wiersdorff, S., Weissleder, P.: Simulation of Complex Illumination Systems in the Field of Automotive Lighting, SAE 2000-01-0433, 2000.
- [2] Neft, J., Bader, V., Kiel, H., Häring, S.: Wechselbeziehung Design – Technik – Werkstoff am Beispiel aktuelle Leuchtenentwicklungen im Automobilbau, SKZ Symposium, Würzburg, 2007.
- [3] Kiel, H., Mensch, D.: Software Based Adjustment and Assessment of Light Distribution, Lux junior Symposium, Dörnfeld, 2007.
- [4] Kiel H., Mensch, D., Vogler, S.: New Methods of Development Process of Automotive Lighting Systems, in: ISAL Symposium, Darmstadt, Herbert Utz Verlag, 2009.
- [5] Kiel H.; Simulation and Measurement of Photometry in Headlamps and Tail Lamps: an analysis of selected aspects, in: ISAL Symposium, Darmstadt, Herbert Utz Verlag, 2007.
- [6] Kiel, H., Mensch, D., Vogler, S., Ziehl, C.: Lichtsimulation bei Volkswagen: Methoden und Anwendungen, Licht 2008 Symposium, Ilmenau, 2008.
- [7] Mensch, D., Kiel, H., Ziehl, C.: Softwarebasierte Bewertung von Streulichtcharakteristiken der peripheren Scheinwerferlichtverteilung, LUX Europa Symposium, Istanbul, 2009.
- [8] Häring, S.: Simulation of light distribution and lit appearance – analysis via density estimation, ISAL Symposium, Darmstadt, 2007.
- [9] Häring, S.: Lichtsimulation: Stochastik und Dichteschätzung der 4D-Lichtfeldfunktion, Lux junior Symposium, Dörnfeld, 2007.
- [10] Häring, S.: Berechnung der Leuchtdichte/Anmutung von Leuchten in der Produktentwicklung: Methoden und Methodik, Licht 2008 Symposium, Ilmenau, 2008.