



TI-MESSUNG MITTELS LEUCHTDICHTEMESSKAMERA (ILMD) IN DER STRASSEN- BELEUCHTUNG

Porsch, T., Walkling, A., Überschär, A., Schmidt, F., Schierz, C.



Agenda

- **Motivation**
 - Vorstellung des ‘Colight’ Projektes
 - Was ist eine Blendungskennzahl?
- **Applikationslösungen**
 - Die Auswertung geometrischer Daten
 - Die Einführung einer virtuellen Blickrichtung
 - Ideen zur Bestimmung der Blendquellen
- **Vorstellung der Software**
 - Dynamische Messung von Straßenleuchtdichten
 - Statische HDR (high dynamic range) Messung des TI-Wertes
- **Überprüfung der Ergebnisse**
 - Winkelabhängige Einzelpunktmessungen
 - Tests mit dem ‘Colight’ Versuchsstand (Simulation)



Vorstellung des 'Colight' Projektes

- **Verbundprojekt:** „Intelligent and energy-efficient lighting systems for LED“ (3,5 Mill. Euro, 2010-2012)
- **Aufgabe:** Arbeiten an LED Straßenleuchte, welche Lichtstärkeverteilung (LVK) und Farbe im Betrieb ändern kann
- **Teilaufgabe (TUIL):** Nutzerakzeptanzstudie zum Einfluß der LVK und Farbe
- **Methode:** Sichtbarkeitsuntersuchungen mit Probanden an einer Teststraße
- **Fragestellung:** TI bzw. Schleierleuchtdichtemessung (Ls) für Objekte, abhängig von der Leuchtdichteunterschiedsschwelle
- **Ergebnisse (nasse Fahrbahn):** So höher Uo und CCT, so besser die Sichtbarkeit



■ Motivation

Applikationslösungen

Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse



Was ist eine Blendungskennzahl?

Blendwerte beurteilen "blendende" Lichtquellen L_Q in Abhängigkeit Ihrer Position $P_Q(\vartheta, \phi)$ und des Raumwinkels Ω_Q , in Relation zum Adaptionszustand des Auges. Dieser kann bspw. mit der Adaptionsleuchtdichte L_{Adapt} beschrieben werden:

$$\text{Blendwert} = f(L_Q; \Omega_Q; P_Q(\vartheta, \phi); L_{adapt})$$

❖ Motivation

Applikationslösungen

Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse

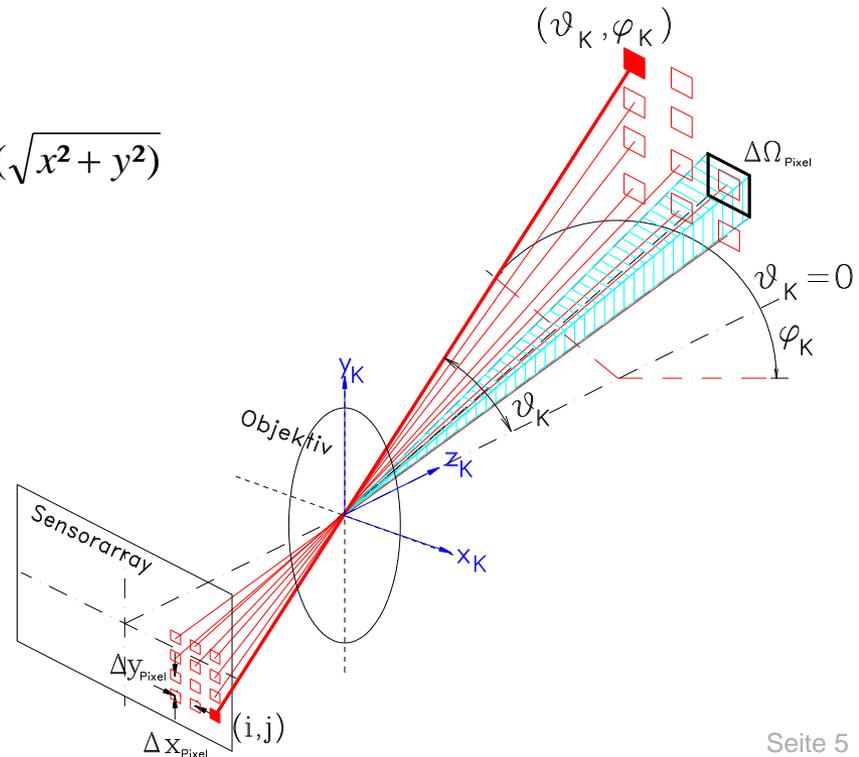
L_Q	= Blendquellenleuchtdichte
L_{Adapt}	= Adaptionsleuchtdichte
Ω_Q	= Raumwinkel (wie gesehen)
P_Q	= Position der Blendquelle ($\vartheta, \phi = 0^\circ \rightarrow$ <i>Blickrichtung</i>)

Die Auswertung geometrischer Daten (Prinzip)

Transformation der kartesischen Bildkoordinaten $x, y \leftrightarrow \vartheta, \varphi$ in ein Winkelkoordinatensystem:

$$\varphi = \arctan \frac{y}{x} \quad \vartheta = f(r) = f(\sqrt{x^2 + y^2})$$

$$\Delta\Omega = \Delta\vartheta \cdot \Delta\varphi \cdot \sin \vartheta$$



Motivation

■ Applikationslösungen

Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse

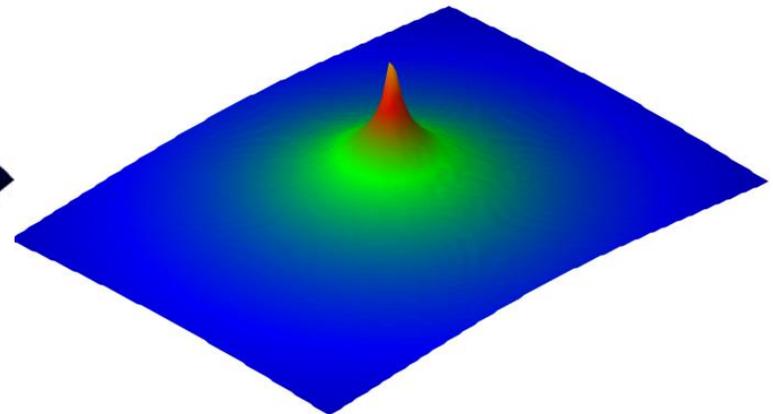
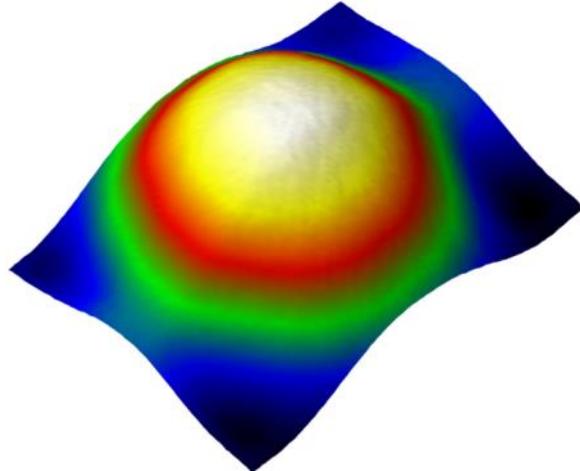
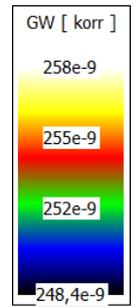
Seite 5



Die Auswertung geometrischer Daten (Prinzip)

Berechnung eines synthetischen Funktionsbildes (Wichtungsbild):

- Bspw. das pixelweise Raumwinkelinkrement oder die Stiles-Holladay-Gleichung der äquivalenten Schleierleuchtdichte



Motivation

■ Applikationslösungen

Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse

$$E_{vert} = \sum_{i,j} L(i, j) \cdot \Delta\Omega(i, j) \cdot \cos \vartheta(i, j)$$

für $\forall(i, j) \in \text{Lichtquelle}$

$$L_S = k \cdot \frac{E_{vert}}{g^2}$$



Die Auswertung geometrischer Daten (Winkelauflösung)

Gemäß der EN 13201-3, soll der Leuchtdichtemesser eine Messfeldwinkelauflösung von mindestens 0,03° in vertikaler und 0,3° in horizontaler Ebene realisieren können.:

Objektivtyp (Brennweite)	Messfeldwinkel des Leuchtdichtebildes	Messfeldwinkel des quadratischen Pixel (Mittelwert)	Messfeldwinkel eines Pixelblocks (Bsp. 3(H) x 3(V))	Messung mittlere Straßenleuchtdichte	Messung vertikale Beleuchtungsstärke
8 mm	63°(H) x 45°(V)	0,0452°/px	0,1356°	-	x
12 mm	43°(H) x 31°(V)	0,0313°/px	0,0939°	-	x
16 mm	32°(H) x 23°(V)	0,0232°/px	0,0696°	?	?
25 mm	20°(H) x 14°(V)	0,0148°/px	0,0444°	?	?
50 mm	10°(H) x 7,4°(V)	0,0074°/px	0,0222°	x	-

Motivation

■ Applikationslösungen

Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse

Tabelle 1 – Rote Fragezeichen markieren mögliche Konfigurationen die genauer betrachtet werden sollten. Bspw. wird der geforderte vertikale Messfeldwinkel für ein 16mm oder 25mm Objektiv mit einem für die Messwertmittelung verwendeten Pixelblock von 10(H) x 2(V) erfüllt.



Die Auswertung geometrischer Daten (Bildfeldwinkel)

Blendquellen außerhalb einer horizontalen Abbildungsebene von 20°, welche das Auge und die Fahrbahn in Querrichtung schneidet, sollen aus der Berechnung herausgenommen werden.

Objektivtyp (Brennweite)	Messfeldwinkel des Leuchtdichtebildes	Messfeldwinkel des quadratischen Pixel (Mittelwert)	Messfeldwinkel eines Pixelblocks (Bsp. 3(H) x 3(V))	Messung mittlere Straßenleuchtdichte	Messung vertikale Beleuchtungsstärke
8 mm	63°(H) x 45°(V)	0,0452°/px	0,1356°	-	x
12 mm	43°(H) x 31°(V)	0,0313°/px	0,0939°	-	x
16 mm	32°(H) x 23°(V)	0,0232°/px	0,0696°	?	?
25 mm	20°(H) x 14°(V)	0,0148°/px	0,0444°	?	?
50 mm	10°(H) x 7,4°(V)	0,0074°/px	0,0222°	x	-

Motivation

■ Applikationslösungen

Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse

Tabelle 2 – Rote Fragezeichen markieren mögliche Konfigurationen die genauer betrachtet werden sollten. Bspw. wird mit der entsprechenden Ausrichtung des ILM D und der variablen Positionierung einer virtuellen Blickrichtung im Messbild, das geforderte Messfeld für den oberen Halbraum mit einem 16mm und 25mm Objektiv eingehalten.



Die Einführung einer virtuellen Blickrichtung

Berechnung des Funktionsbildes (Wichtungsbild):

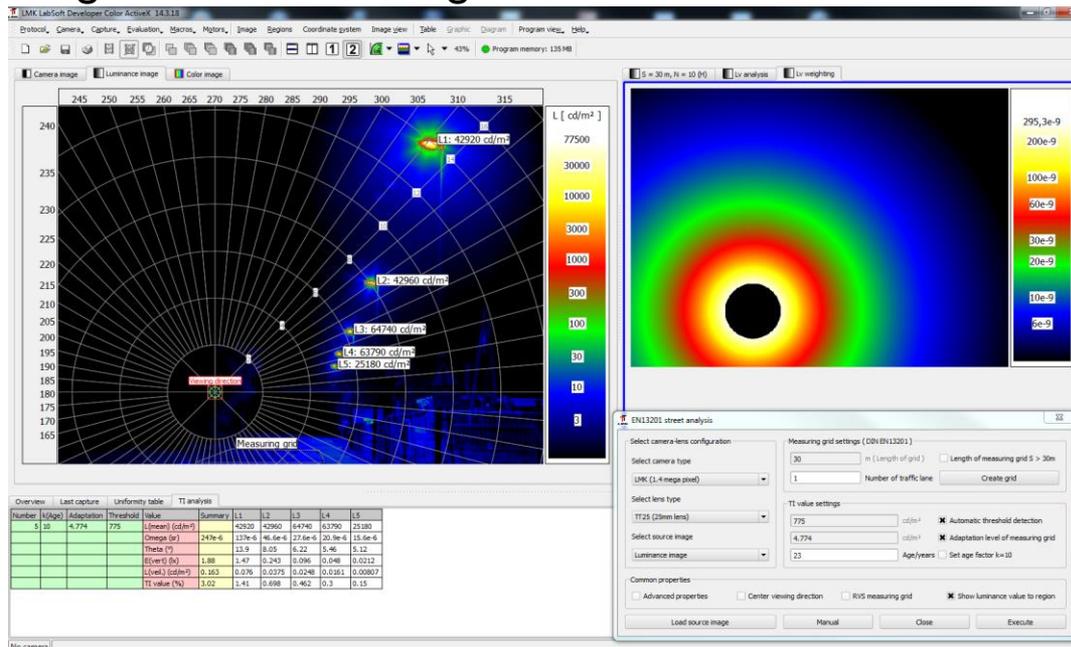
- Einführung einer Echtzeitberechnung ermöglicht die virtuelle Ausrichtung der Blickrichtung im Messbild

Motivation

■ Applikationslösungen

Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse





Ideen zur Bestimmung der Blendquellen

Mit der Verwendung von statistischen Werkzeugen ist es möglich helle Objekte mittels Leuchtdichteschwellen im Bild zu detektieren:

Mittlere Leuchtdichte einer Region oder des Bildes



Motivation

■ Applikationslösungen

Vorstellung der Software

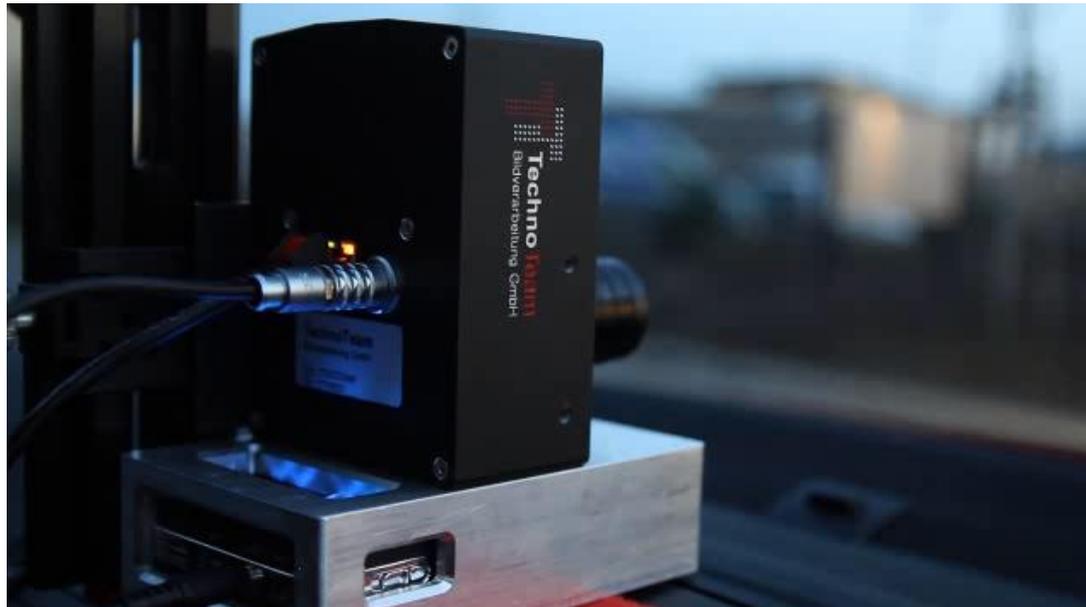
Überprüfung der Ergebnisse



Dynamische Fahrbahnleuchtdichtemessung

Belichtungszeiten von ca. 40 ms → erlaubt ein Tempo von ca. 60 km/h

- Bildwiederholrate: ca. 1 Bild pro Sekunde.
- Leuchtdichtemessbereich $< 3 \text{ cd/m}^2$



Motivation

Applikationslösungen

❖ Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse



Statische High-Dynamic Messung des TI

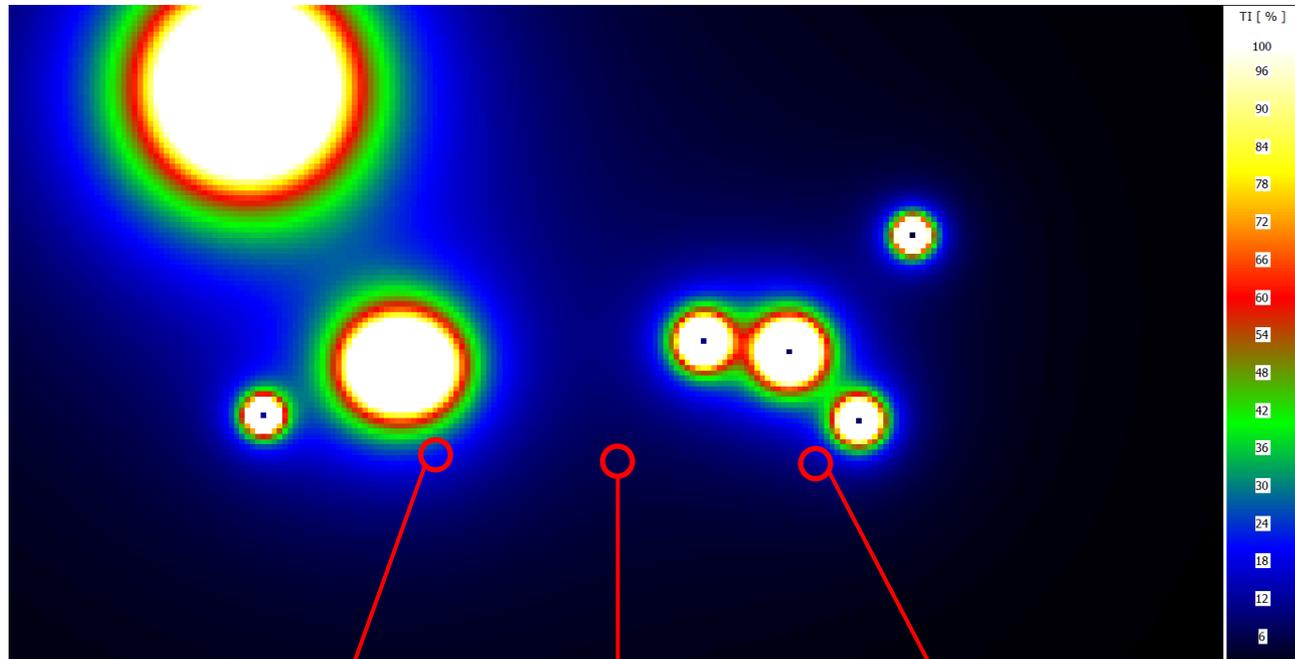
Verwendung des High-Dynamic Aufnahmealgorithmus zur Messung von Leuchtdichten der Umfeldes und der Blendquellen

Motivation

Applikationslösungen

❖ Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse



33,4%

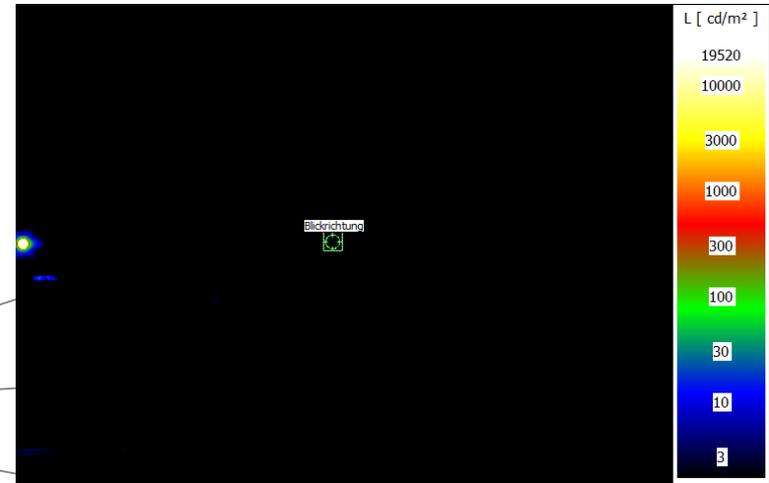
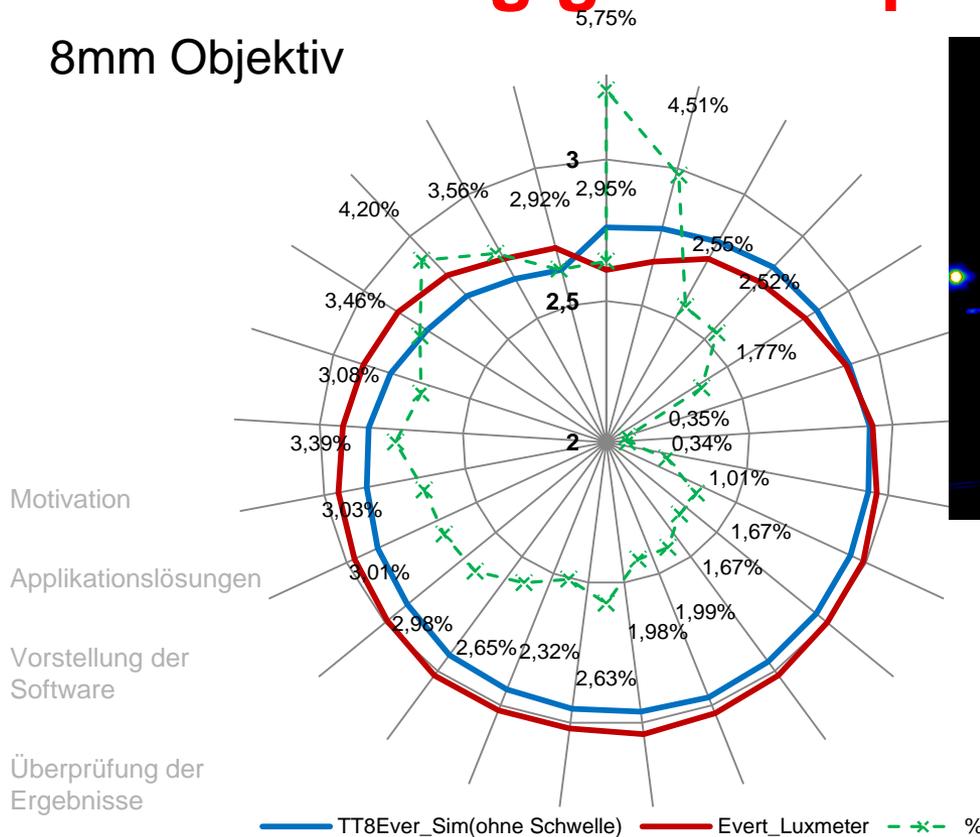
12,5%

17,5%



Winkelabhängige Einzelpunktmessungen

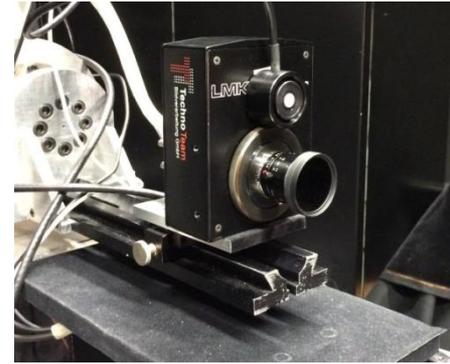
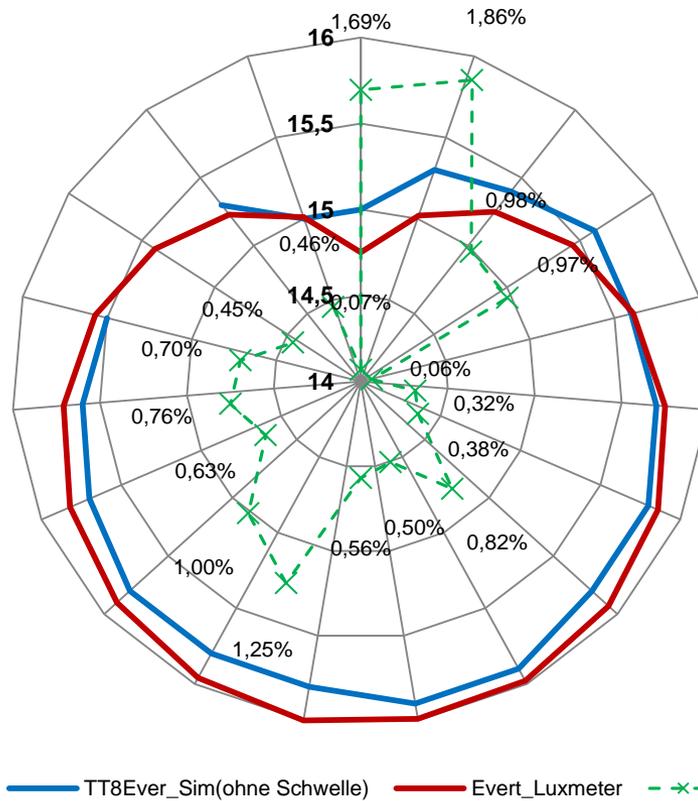
8mm Objektiv





Winkelabhängige Einzelpunktmessungen

12mm Objektiv



Motivation

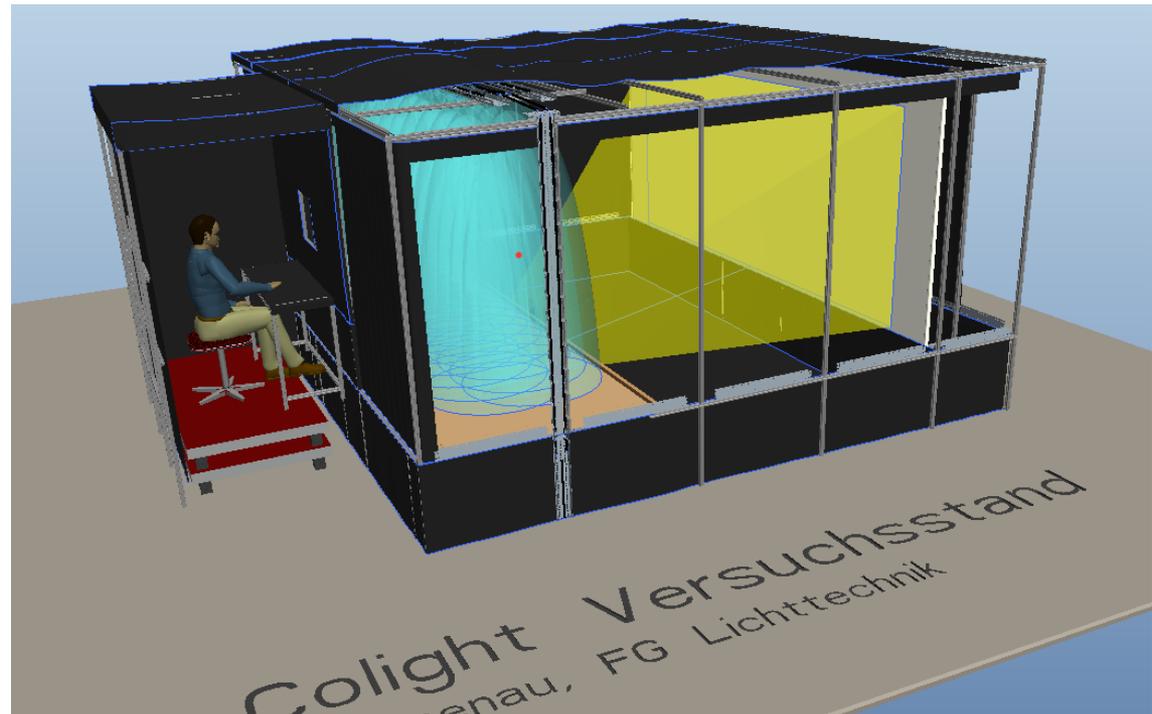
Applikationslösungen

Vorstellung der Software

Überprüfung der Ergebnisse

Tests mit dem 'Colight' Versuchsstand

Simulation mehrerer Blendquellen in typischer Anordnung



Motivation

Applikationslösungen

Vorstellung der
Software

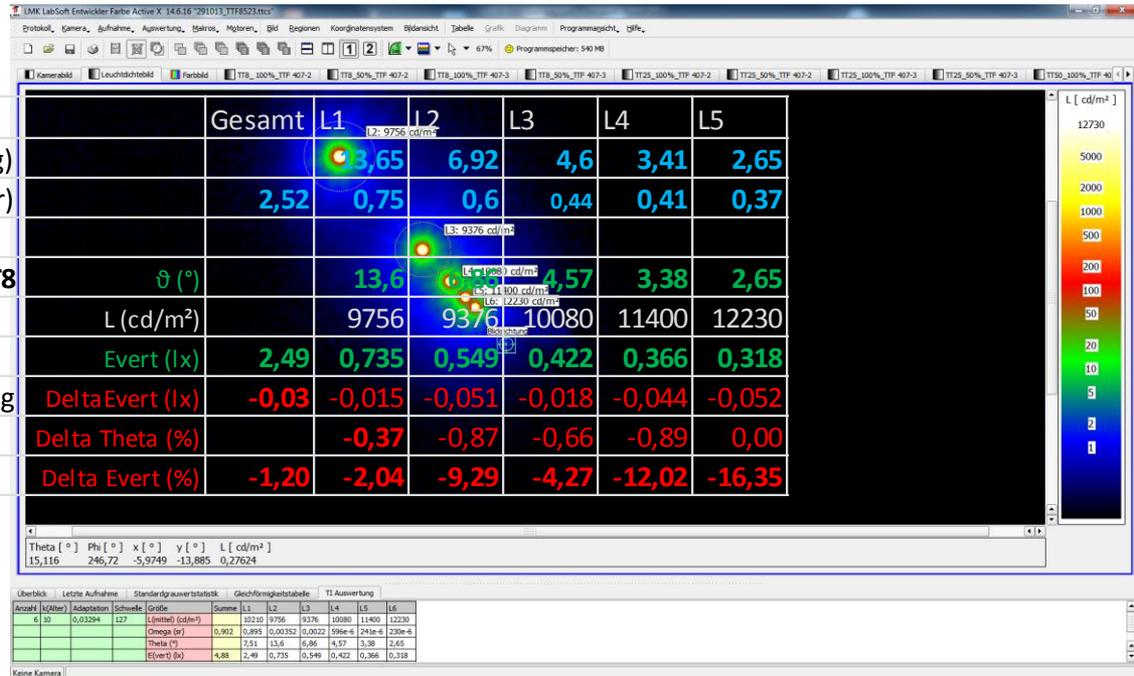


Überprüfung der
Ergebnisse

Tests mit dem 'Colight' Versuchsstand

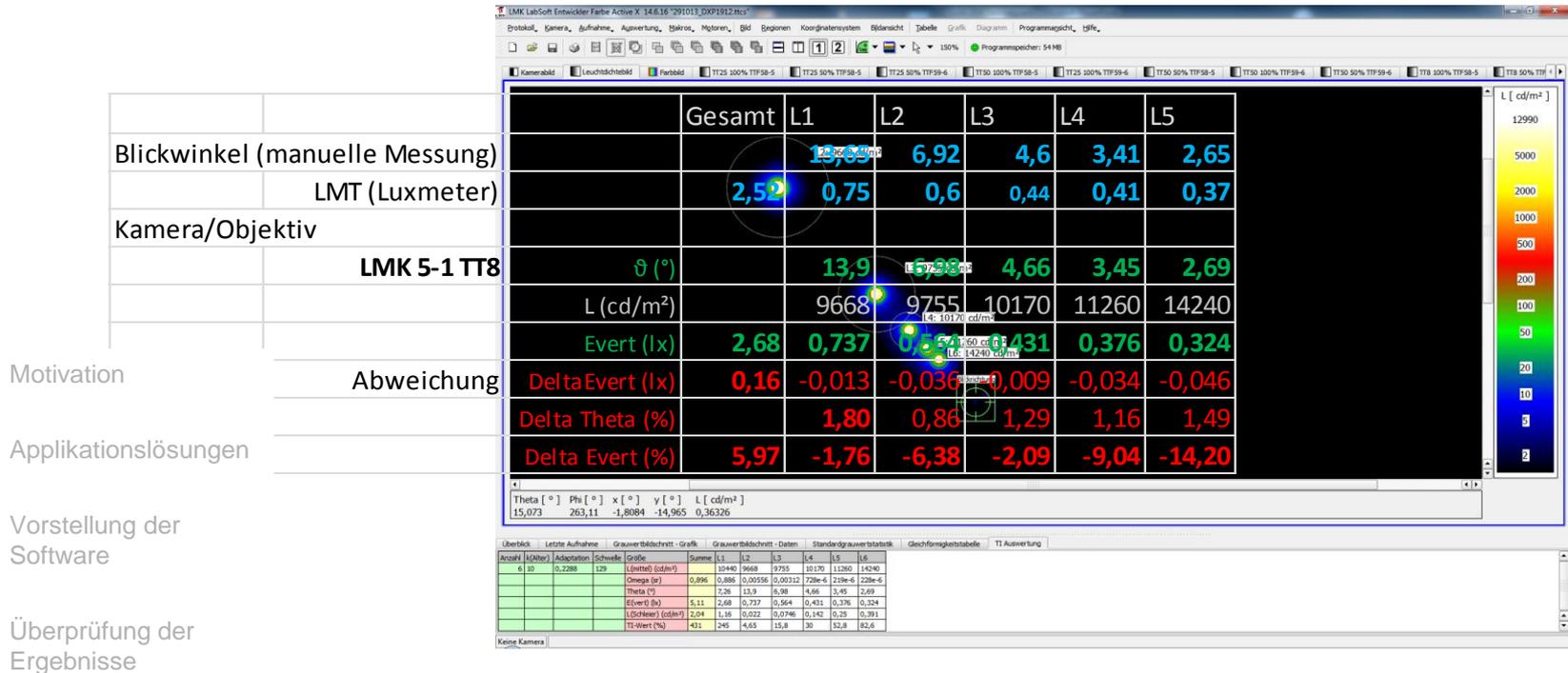
Ergebnisse für 5 MP + 8mm Objektiv

- Motivation
- Applikationslösungen
- Vorstellung der Software
- Überprüfung der Ergebnisse



Tests mit dem 'Colight' Versuchsstand

Ergebnisse für 1.4 MP + 8mm Objektiv



Überprüfung der Ergebnisse



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt zum Autor:

tobias.porsch@technoteam.de

Besuch des Projektes:

www.technoteam.de