ORTSAUFGELÖSTE LEUCHTDICHTEMESSTECHNIK ZUR ANALYSE VON LICHTSITUATIONEN

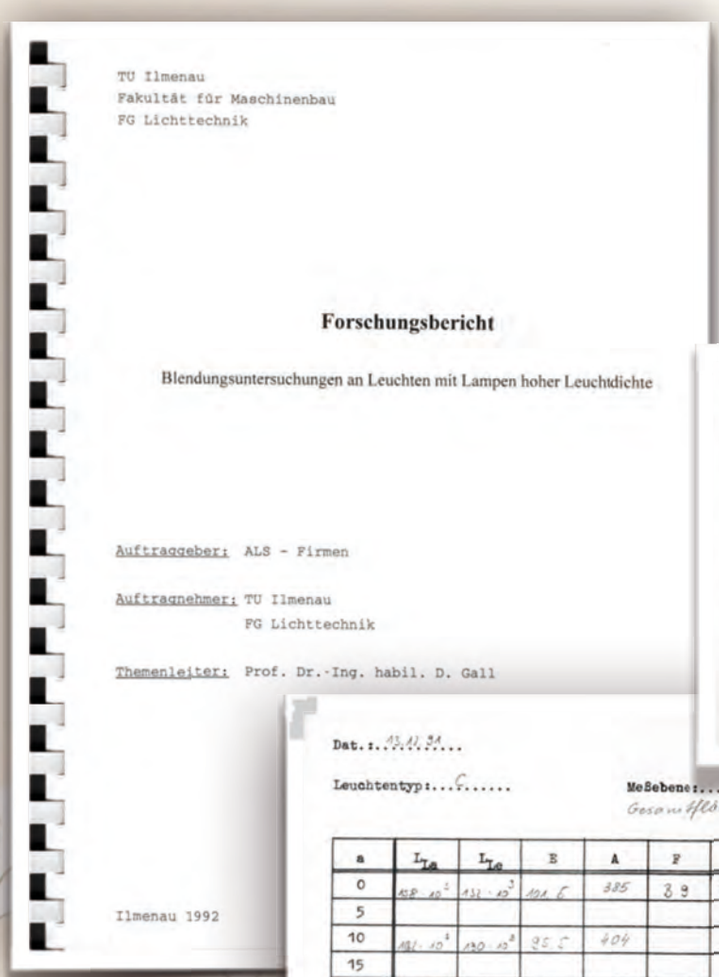
Stefan Wolf (TU Ilmenau)
Wladimir Jordanow (ILEXA GbR)

Wenn Du ein Schiff bauen willst, dann rufe nicht die Menschen zusammen, um Holz zu sammeln, Aufgaben zu verteilen und die Arbeit einzuteilen, sondern lehre sie die Sehnsucht nach dem großen, weiten Meer.

Antoine de Saint-Exupéry

(1900-1944), frz. Flieger und Schriftsteller

WIE ALLES BEGAN? (1990-1992)



TU Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
FG Lichttechnik

Forschungsbericht

Blendungsuntersuchungen an Leuchten mit Lampen hoher Leuchtdichte

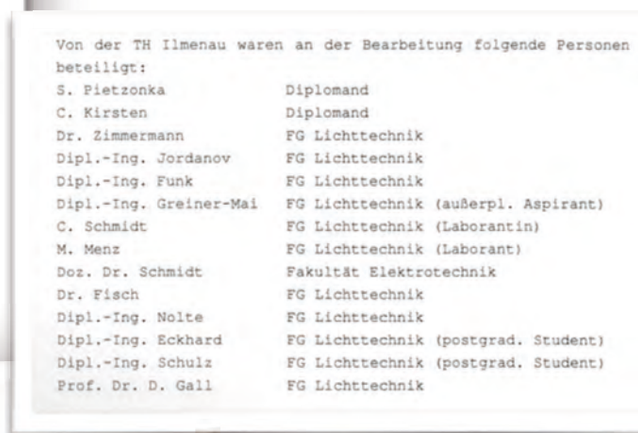
Auftraggeber: ALS - Firmen

Auftragnehmer: TU Ilmenau
FG Lichttechnik

Themenleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. D. Gall

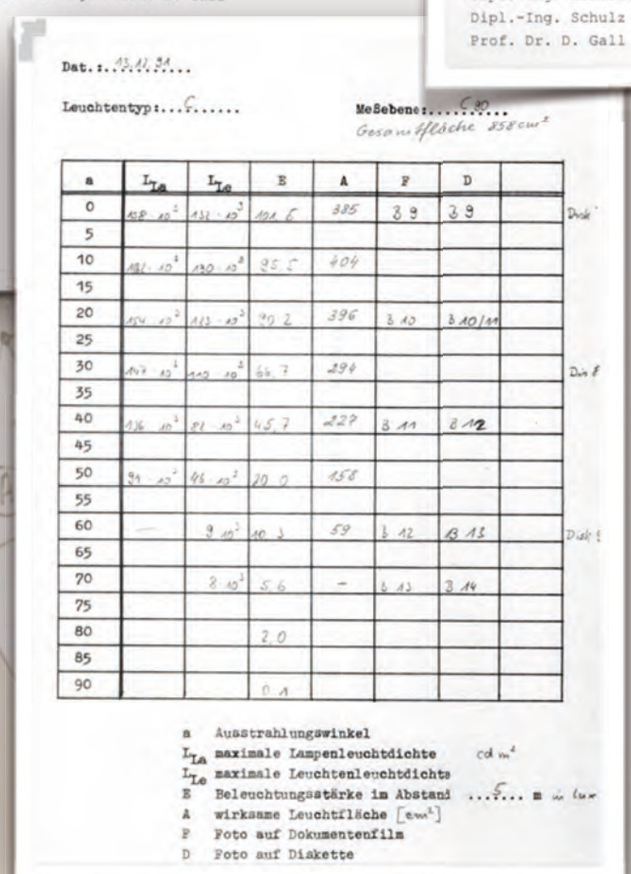
Ilmenau 1992

Arbeitskreis
Lichttechnischer
Spezialfabriken e.V.



Von der TH Ilmenau waren an der Bearbeitung folgende Personen beteiligt:

S. Pietzonka	Diplomand
C. Kirsten	Diplomand
Dr. Zimmermann	FG Lichttechnik
Dipl.-Ing. Jordanov	FG Lichttechnik
Dipl.-Ing. Funk	FG Lichttechnik
Dipl.-Ing. Greiner-Mai	FG Lichttechnik (außerpl. Aspirant)
C. Schmidt	FG Lichttechnik (Laborantin)
M. Menz	FG Lichttechnik (Laborant)
Doz. Dr. Schmidt	Fakultät Elektrotechnik
Dr. Fisch	FG Lichttechnik
Dipl.-Ing. Nolte	FG Lichttechnik
Dipl.-Ing. Eckhard	FG Lichttechnik (postgrad. Student)
Dipl.-Ing. Schulz	FG Lichttechnik (postgrad. Student)
Prof. Dr. D. Gall	FG Lichttechnik



Dat.: 13.11.91

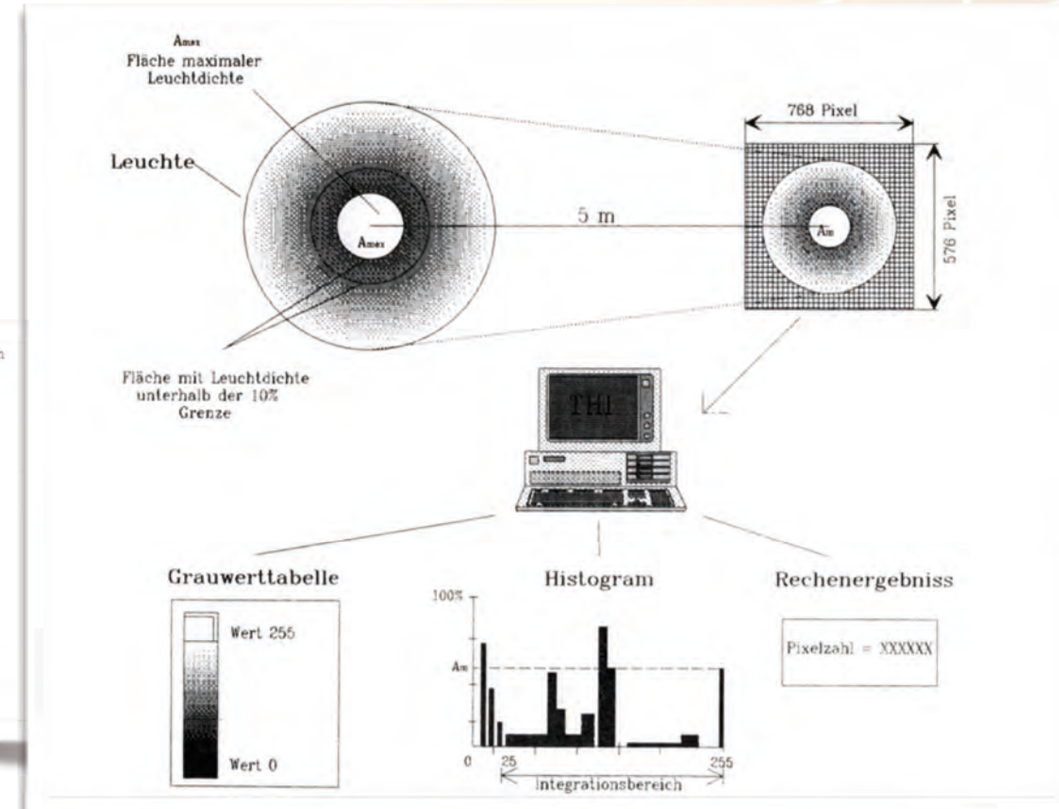
Leuchtentyp: 6

Meßebene: 6.30

Gesamtfläche 858 cm²

a	L_{La}	L_{Le}	E	A	F	D	
0	158 · 10³	132 · 10³	101.6	385	8.9	8.9	Diak
5							
10	181 · 10³	120 · 10³	85.5	404			
15							
20	154 · 10³	113 · 10³	70.2	396	8.10	8.10/11	
25							
30	107 · 10³	110 · 10³	66.7	294			Dia 8
35							
40	136 · 10³	81 · 10³	45.7	227	8.11	8.12	
45							
50	94 · 10³	46 · 10³	20.0	158			
55							
60	—	9 · 10³	10.3	59	8.12	8.13	Diak 9
65							
70		8 · 10³	5.6	–	8.13	8.14	
75							
80			2.0				
85							
90			0.1				

a Ausstrahlungswinkel
L_{La} maximale Lampenleuchtdichte cd m⁻²
L_{Le} maximale Leuchtenleuchtdichte
E Beleuchtungsstärke im Abstand ...5... m in lux
A wirksame Leuchtfläche [cm²]
F Foto auf Dokumentenfilm
D Foto auf Diskette



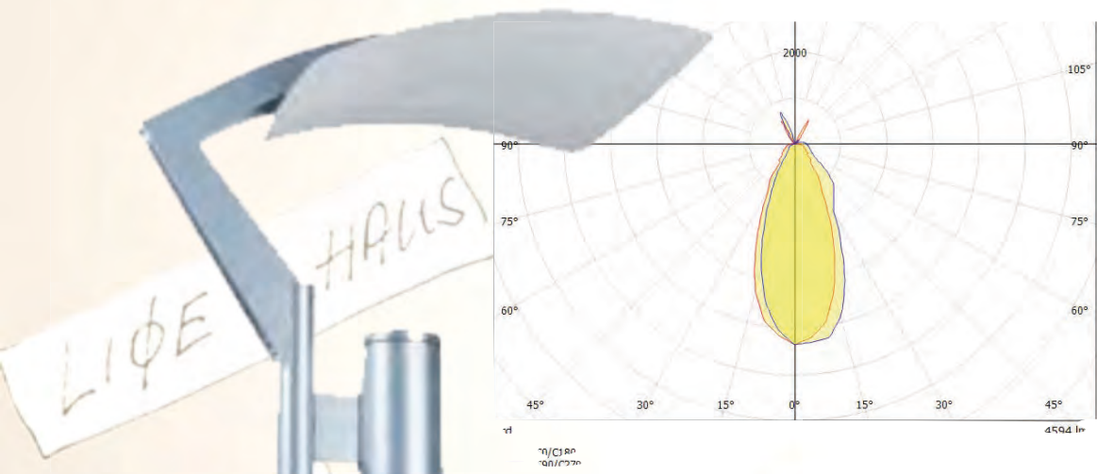
- Zur **Bestimmung der Leuchtdichte** wurde ein Leuchtdichtemessgerät mit 0.1° Öffnungswinkel benutzt. …
  … Mittels einer gleichzeitig betriebenen CCD-Matrixkamera mit einem speziellen Bildverarbeitungssystem war es möglich, durch geringfügige Übersteuerung der Kamera die Bereiche maximaler Leuchtdichten von Lampe und/oder Leuchte präzis zu orten und diese im Nachhinein mit dem Leuchtdichtemeßgerät anzuvisieren.
- Die **Lichtstärkeverteilung** wurde über eine Beleuchtungsstärkemessung im Abstand von 5m erhalten. Für diese und die folgenden Verteilungsmessungen wurde ein eigens entwickelter Leuchtenwender eingesetzt.

ERSTE ERFAHRUNGEN

EFFIZIENTE ARBEITSWERKZEUGE FEHLEN ODER VORHANDENE SIND DRINGEND VERBESSERUNGSBEDÜRFTIG

Leuchtdichteanalytik als Lösungsansatz!

Lichtaustrittsfläche



Lage, Größe, Position ?

Lichtschwerpunkt ?

Die Grundbegriffe - heute aktueller denn je!

Lichtschwerpunkt (Existenzbeweis fehlt bis heute?!?)

Lichtaustrittsfläche oder **leuchtende Fläche**

scheinbar leuchtende Fläche /
wirksame Leuchtfläche - Lage, Form, Beschreibung, . . .

blendungswirksame Flächen und ihre Parameter -
selbstleuchtende, reflektierende, lichtleitende, . . .

BELEUCHTUNG VON SORTIERARBEITSPLÄTZEN IM RECYCLING

Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz

- Forschung -
Fb 1601

Im Auftrag von:

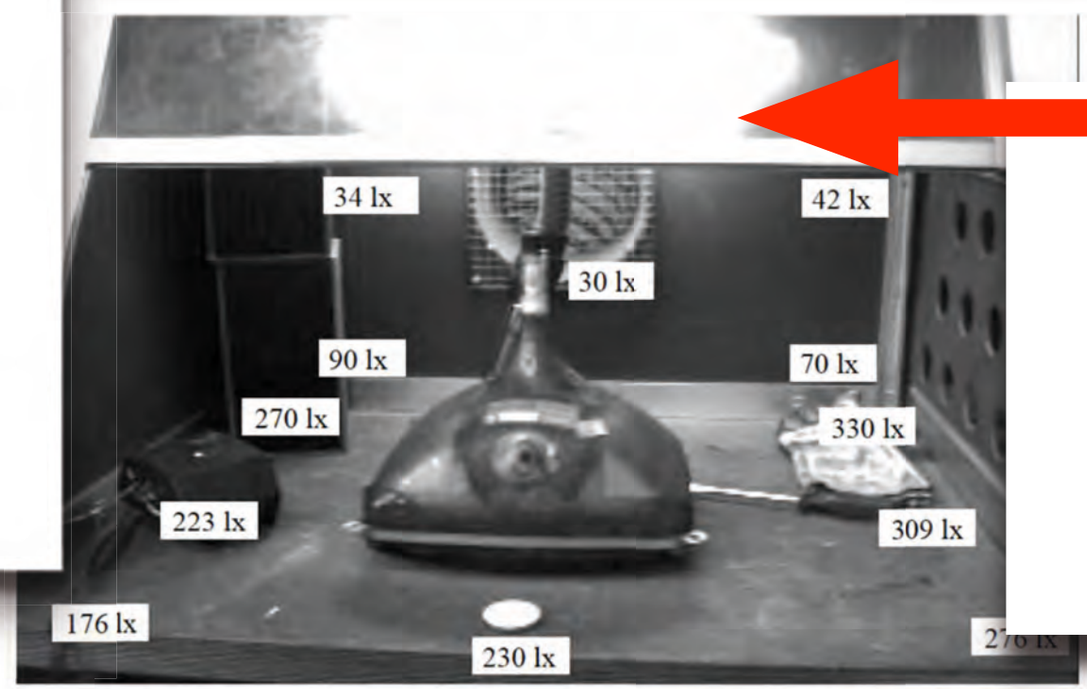
baua:
Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und Arbeitsmedizin

D. Gall
W. Jordanow
C. Vandahl
S. Wolf
H.-P. Helm

Beleuchtung von Sortierarbeitsplätzen im Recycling / Umweltschutz

Dortmund 1998

1995
1998



Beleuchtungsstärkeverteilung an einem "Glasspreng-Arbeitsplatz" im Bildschirmrecycling (Reflexblendung am Abdeck-/Schutzglas)

Blendung!!!

Zentrales Ergonomieproblem der Recyclingindustrie?

Interne Forschungsfrage: Zum Problem der zwei Hochzeiten oder

Kann man zwei Melonen gleichzeitig unter einem Arm tragen?

Bildauflösende Messkamera
- *Primärdaten (Grauwerte)*
- *Kameraposition und -richtung*
- *Pixelkoordinaten*

Photometrie

Photometrische Kalibrierdaten
- *Dunkelstromkorrektur*
- *Shading-Korrektur*
- *Absolute Kalibrierung*

Primäre Photometrische Daten
- *Leuchtdichten aller Pixel*
- *Leuchtdichteverteilungen*

Photogrammetrie

Geometrische Kalibrierdaten
- *Verzeichnungskorrektur*
- *Absolute Kalibrierung der Öffnungswinkel*

Primäre Geometrische Daten
- *Raumwinkel*
- *Lage im Raum*

Photodiagnostik

Unterscheidungsalgorithmen
- *Sehobjekt - Umfeld*
- *Lichtquellen - Umgebung*
- *Tageslicht - Kunstlicht*
- ...

Photometrische Objekteigenschaften
- *Mittlere Leuchtdichten*
- *Kontraste*
- *Direkte und indirekte Beleuchtungsstärken*
- *Raumbeleuchtungsstärken*
- ...

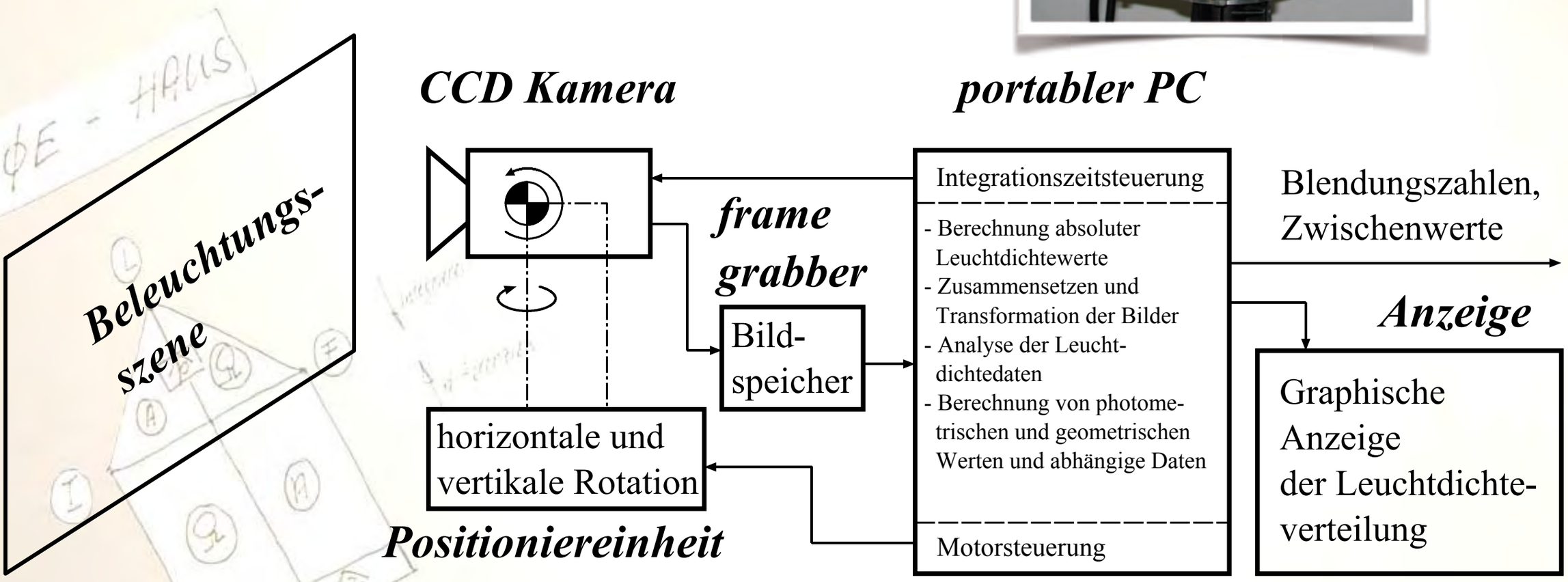
Numerische Beschreibung von Objekten

Geometrische Objekteigenschaften
- *Raumwinkel*
- *Raumwinkelprojektion*
- *Gewichtete Raumwinkel*
- *Schwerpunktkoordinaten*
- *Form, Orientierung*

...

Bewertungsalgorithmen
- *Gleichmäßigkeiten*
- *Blendungskennzahlen*
- *Komfortindizies*
- *Kontrastwiedergabefaktoren*
- *Reflexionseigenschaften*
- *Sichtbarkeiten*
- ...

LEUCHTDICHTE-ANALYSATOR



DAYLIGHT GLARE INDEX (DGI)

UGR-Berechnung - ein K(R)AMPF

Lighting Technology ›

Keine Blendung durch Kunstlicht. Was hinter dem UGR-Verfahren steckt.

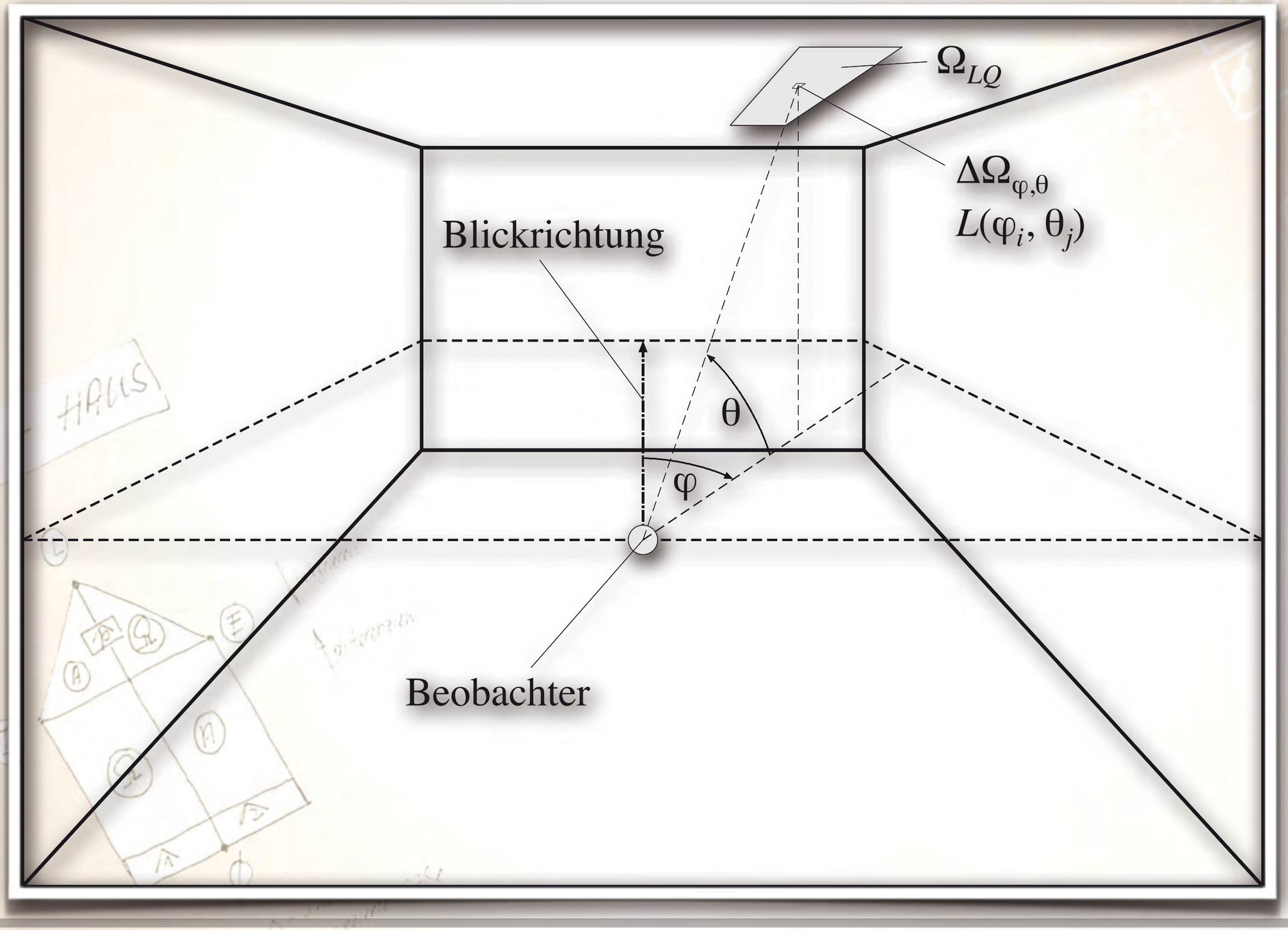
16. September 2015

Ausgangsposition: Was ist der UGR-Wert? Wo wird er gefordert und verwendet?

Die Abkürzung UGR steht für den englischen Begriff Unified Glare Rating. Der UGR-Wert ist eine dimensionslose Kennzahl, die etwas über den Grad der psychologischen Blendung einer Beleuchtungsanlage im Innenraum aussagt. UGR-Werte sind für den Bereich von 10 bis 30 in Stufen d
08 lauten 13, 16, 19, 22, 25 und 2
Blendempfindung einer Vielzahl
UGR 19, dass sich etwa 65% der
fühlen. Im Umkehrschluss bedeu
eine störende Blendung empfinde
obachter erfahren also Direktblen

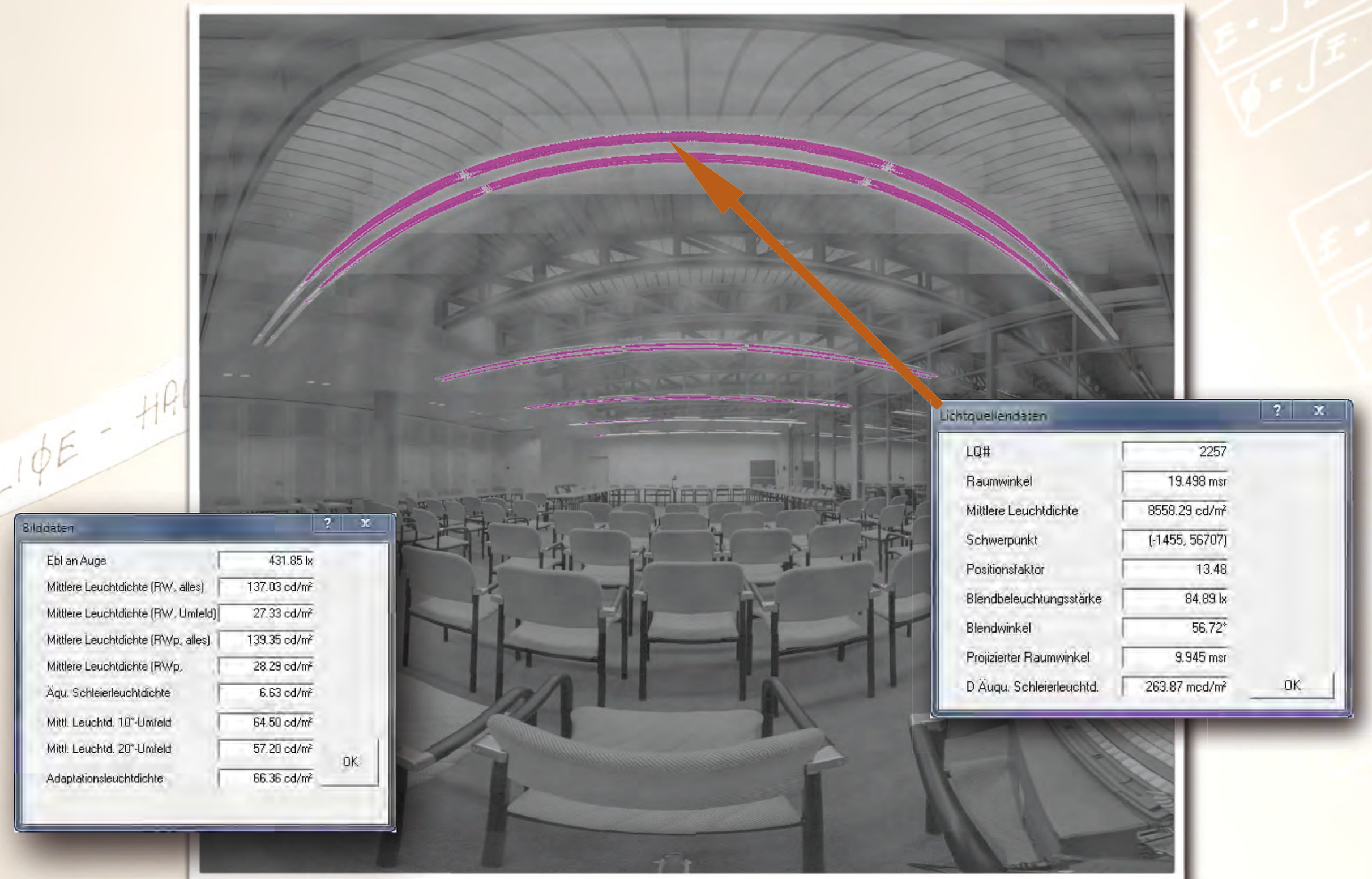
Der UGR-Wert kann nur berechnet, nicht jedoch unmittelbar messtechnisch ermittelt werden. Bei Beleuchtungsanlagen mit Leuchten, die einen Indirektanteil von mehr als 65% haben und dort, wo engstrahlende Spots oder asymmetrisch abstrahlende Leuchten zum Einsatz kommen, kann per Definition kein UGR-Wert angegeben werden.

UGR-MESSUNG?


Ω_{LQ}
$\Delta\Omega_{\varphi,\theta}$
$L(\varphi_i, \theta_j)$
Blickrichtung
θ
φ
Beobachter

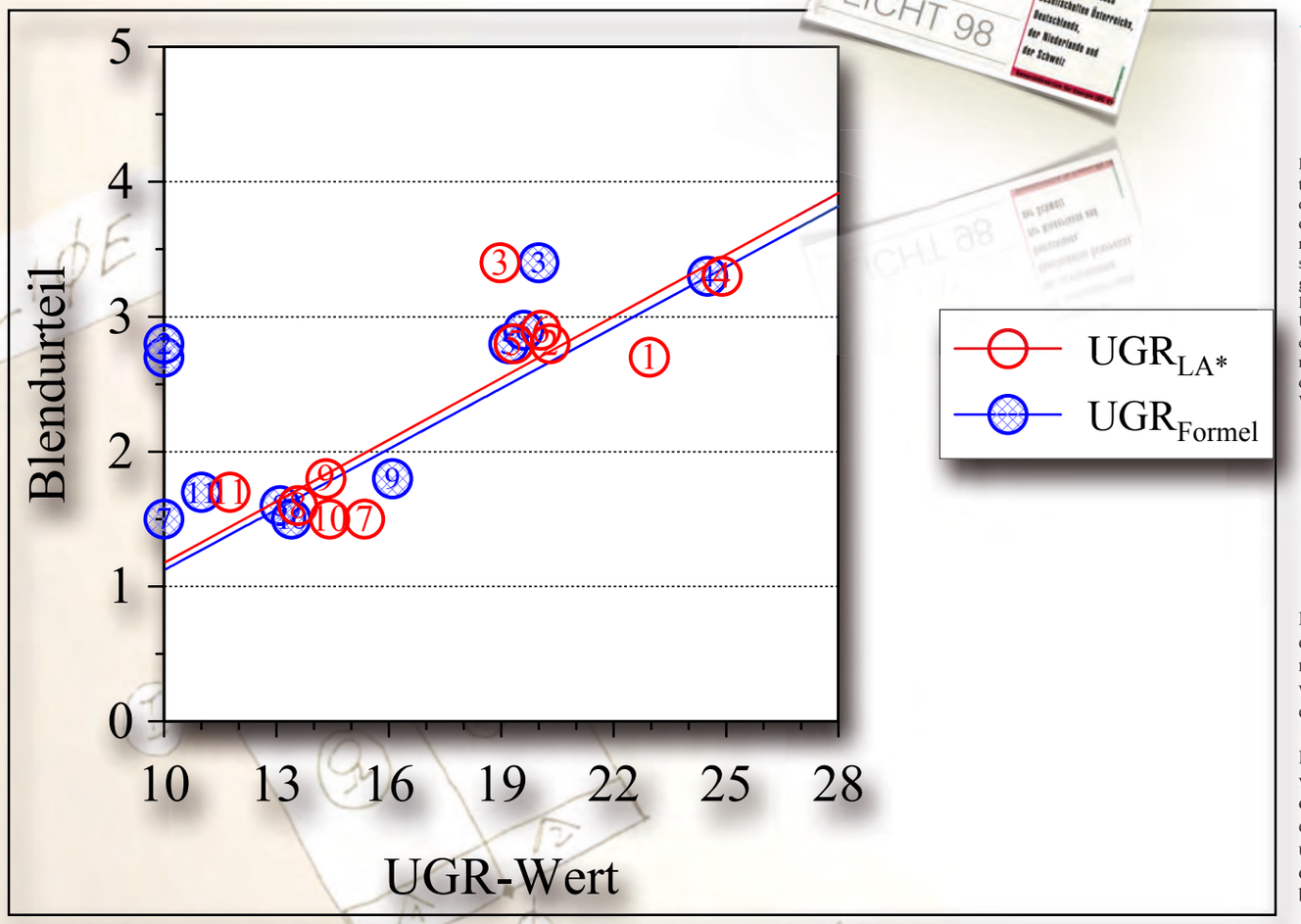
UGR-MESSUNG! (1997)

UGR-MESSUNG!


Bilddaten
Ebl an Auge 431.85 lx
Mittlere Leuchtdichte (RW, alles) 137.03 cd/m²
Mittlere Leuchtdichte (RW, Umfeld) 27.33 cd/m²
Mittlere Leuchtdichte (RWp, alles) 139.35 cd/m²
Mittlere Leuchtdichte (RWp, 28.29 cd/m²
Äqu. Schleierleuchtdichte 6.63 cd/m²
Mittl. Leuchtd. 10°-Umfeld 64.50 cd/m²
Mittl. Leuchtd. 20°-Umfeld 57.20 cd/m²
Adaptationsleuchtdichte 66.36 cd/m²
OK
Lichtquellendaten
LQ# 2257
Raumwinkel 19.498 msr
Mittlere Leuchtdichte 8558.29 cd/m²
Schwerpunkt (-1455, 56707)
Positionsfaktor 13.48
Blendbeleuchtungsstärke 84.89 lx
Blendwinkel 56.72°
Projizierter Raumwinkel 9.945 msr
D Äuqu. Schleierleuchtd. 263.87 mcd/m²
OK

Publikationen zu UGR

Akademische Studien & Feldstudien



Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Gall
Dipl.-Ing. Stefan Wolf
Dipl.-Ing. Wladimir Jordanow
Technische Universität Ilmenau
Fakultät Maschinenbau
Fachgebiet Lichttechnik
D-98684 Ilmenau

Prof. Dr. Heinrich Kaase
Dipl.-Ing. Jörg Hesse
Technische Universität Berlin
Institut für Elektronik und Lichttechnik
Einsteinufer 19
D-10587 Berlin

Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Kokoschka
Universität Karlsruhe
Lichttechnisches Institut
Kaiserstr. 12
D-76128 Karlsruhe

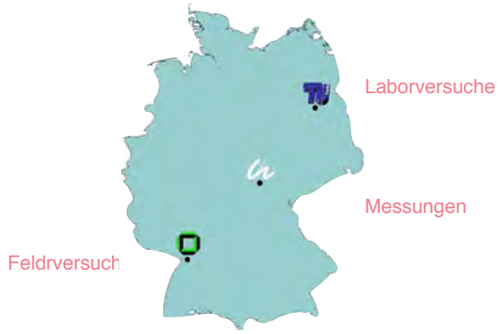
Vergleich von gemessenen und berechneten UGR-Werten

Mit Hilfe eines Leuchtdichte-Analysators ist es möglich, UGR-Werte bestehender Beleuchtungsanlagen zu messen. Dazu werden die Leuchtdichte und die Geometrie innerhalb des Gesichtsfeldes mit einer CCD-Kamera ortsaufgelöst gemessen und rechentechnisch weiterverarbeitet

Die Entwicklung des Leuchtdichte-Analysators befindet sich zur Zeit im Erprobungsstadium. Erste Vergleiche mit berechneten Blendwerten und Beobachterurteilen liegen vor und sollen hier dargestellt werden.

Untersuchungen zur Bewertung von Blendungserscheinungen

Die vom Lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe durchgeführten Untersuchungen des UGR-Verfahrens wurden in mehreren realen Räumen unterschiedlichen Charakters durchgeführt. Auch die für diese Blendsituationen bestimmten UGR-Werte sowie die subjektiv ermittelten Blendurteile werden mit aus ortsaufgelösten Leuchtdichtebildern berechneten UGR-Werten verglichen.



Am Institut für Elektronik und Lichttechnik der TU Berlin wurden in Laborräumen empirische Untersuchungen zum UGR-Verfahren durchgeführt. Die dort berechneten UGR-Werte und subjektiv ermittelten Blendurteile werden mit den gemessenen Werten verglichen.

Der an der TU Ilmenau entwickelte Leuchtdichteanalysator eignet sich hervorragend zur vergleichenden, meßtechnischen Überprüfung von Blendurteilen

Berechnen / Bestimmen nach UGR-Verfahren

Die Berechnung der Blendungswerte erfolgt nach der bekannten UGR-Formel. Die dazu benötigten Meßwerte werden nach herkömmlicher Methode ermittelt.

Beim UGR-Tabellenverfahren wird von einer gleichmäßigen Leuchtenanordnung im Raum ausgegangen. Es ist ein Leuchtenkennzeichnungsverfahren und ermöglicht keine Bewertung aus der Sicht eines individuellen Beobachters.

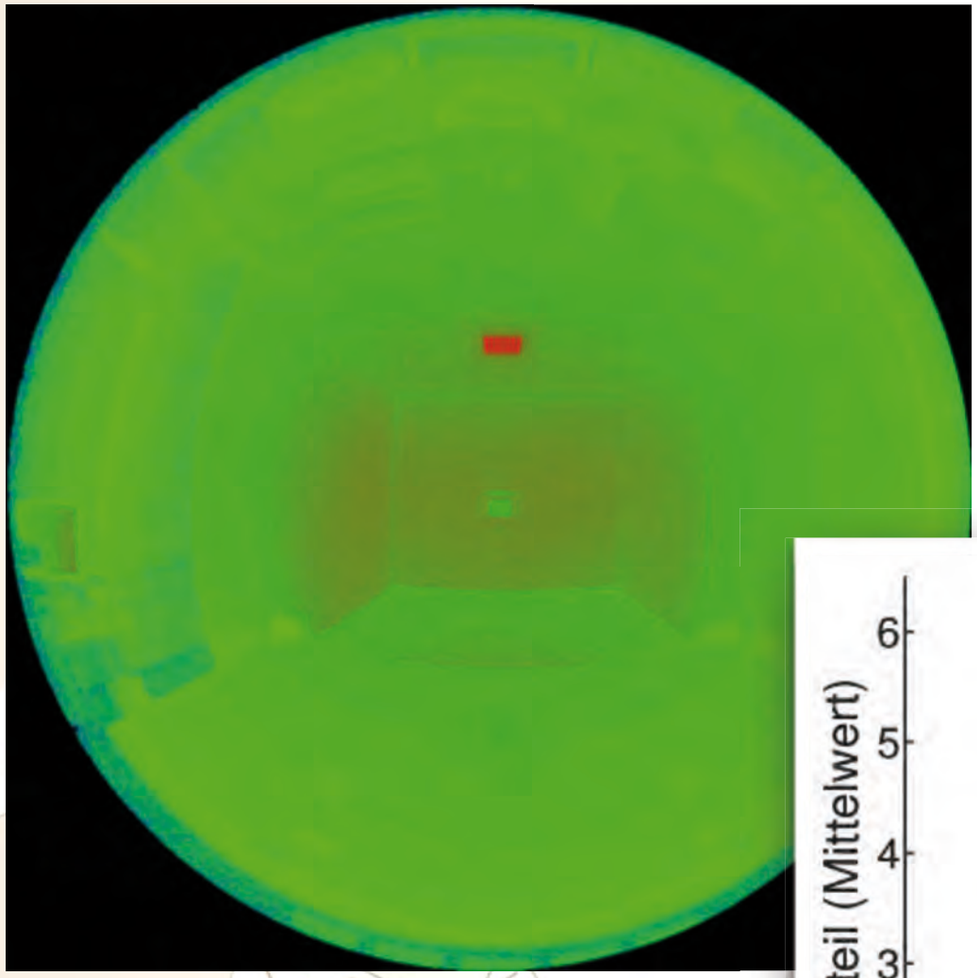
Messen mit dem Leuchtdichteanalysator

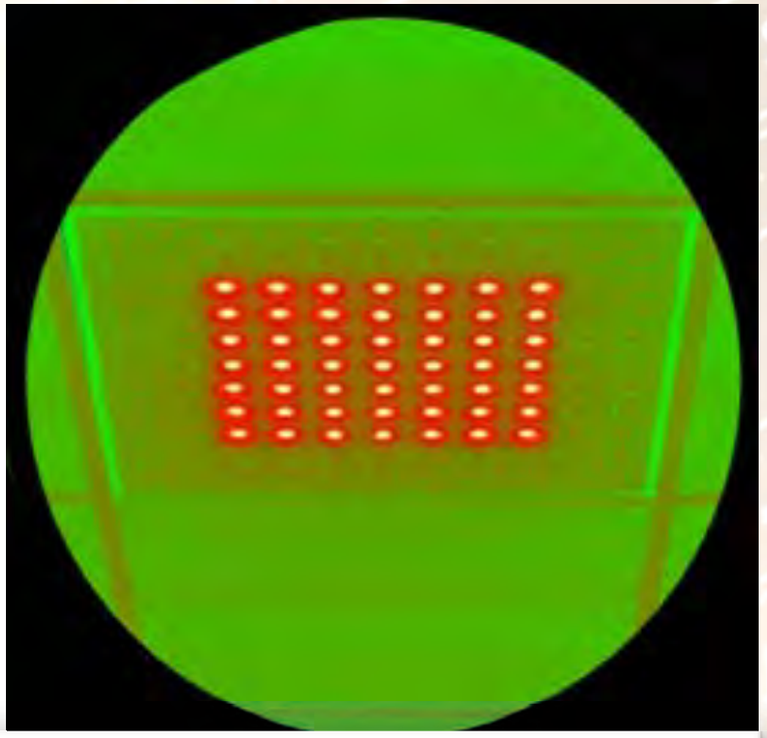
Bei der Berechnung der UGR-Werte durch den Leuchtdichteanalysator erfolgt die Trennung von Blendquelle und Umfeld durch eine Leuchtdichteschwelle ($L_{Schwelle}$), die automatisch festgesetzt wird. Nähere Untersuchungen haben die Richtigkeit des angewendeten Verfahrens gezeigt.

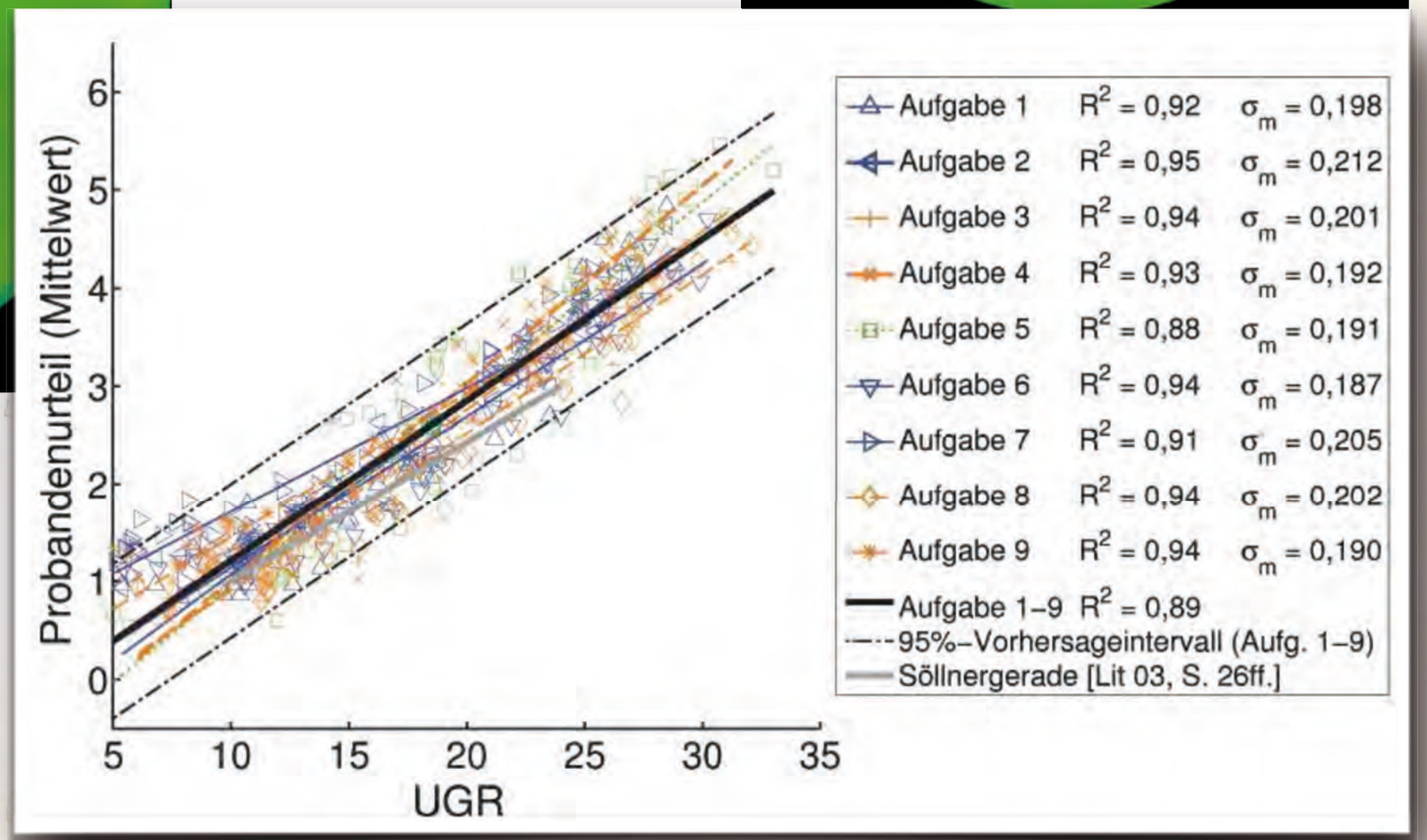
Befragung von Personen

Zur Evaluierung der theoretisch ermittelten Blendurteile werden immer parallel dazu Personenbefragungen durchgeführt. Diese stellen die praktische Relevanz der theoretischen Überlegungen und des Bewertungsverfahrens sicher. Sowohl bei den Laborversuchen an der TU Berlin, als auch bei den Feldversuchen der TU Karlsruhe liefen parallel solche Befragungen. Die Ergebnisse dieser Befragungen werden bei dem Vergleich mit berücksichtigt.

AKTUELLE ARBEITEN



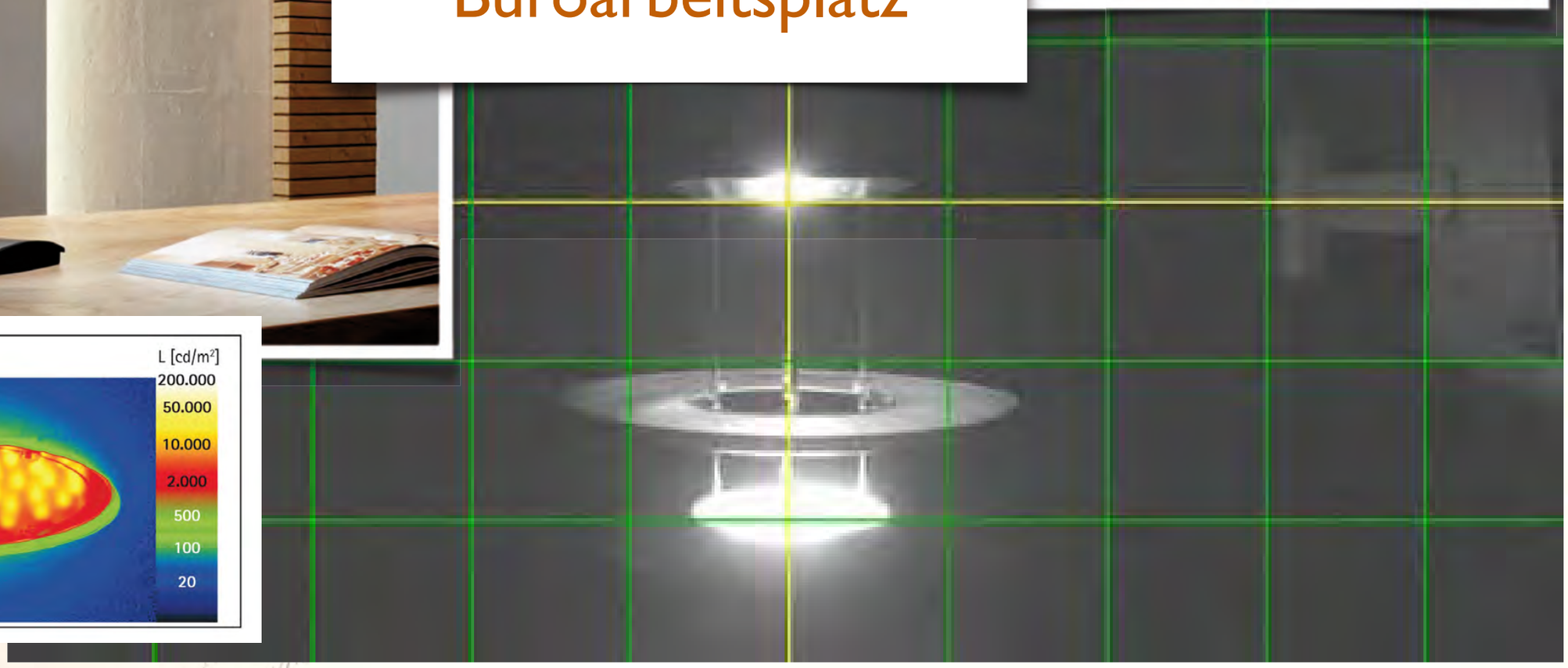


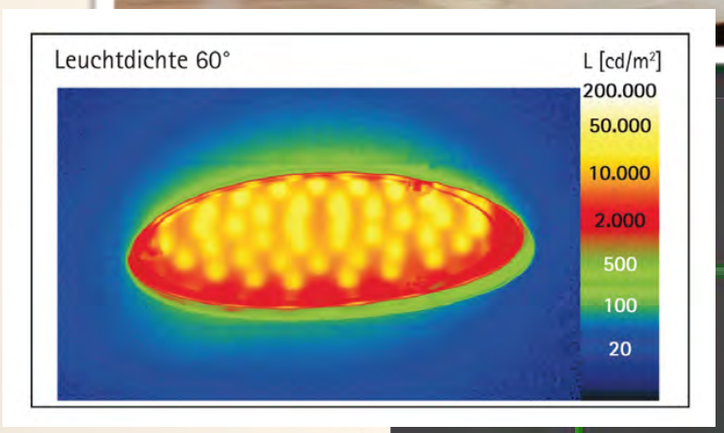


LICHTTECHNISCHE FACHKOMPETENZ IN ILMENAU

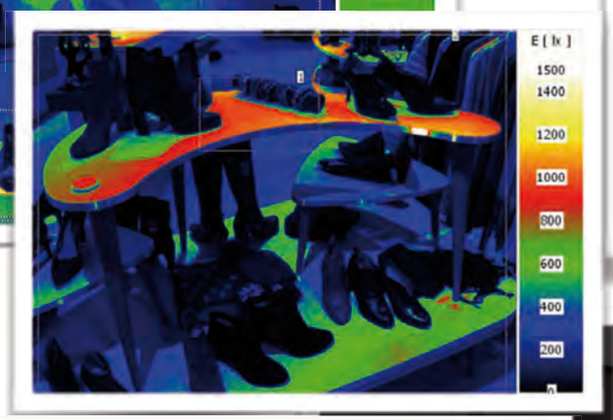
PRAXISBEISPIEL: ANALYSE LEUCHTENDER FLÄCHEN

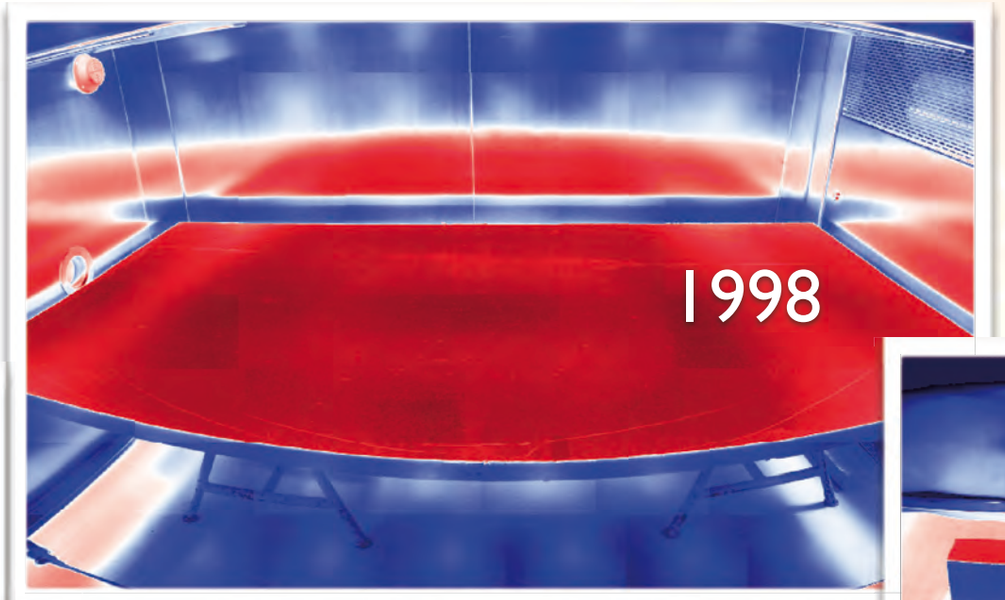
Blendungsanalyse am Büroarbeitsplatz

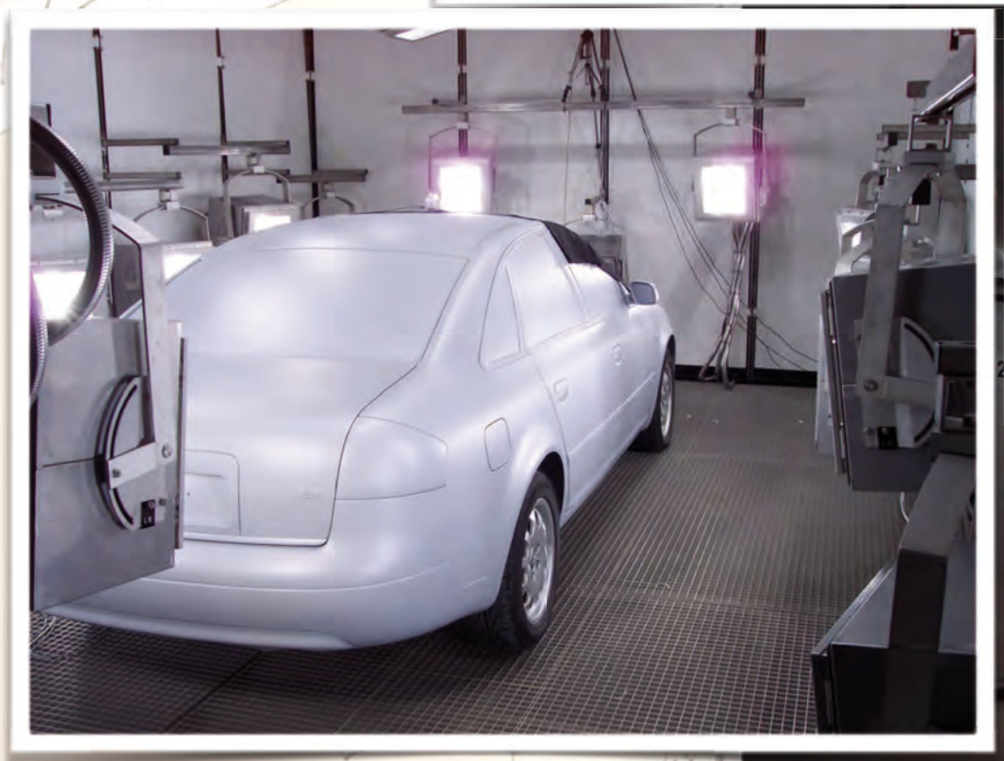




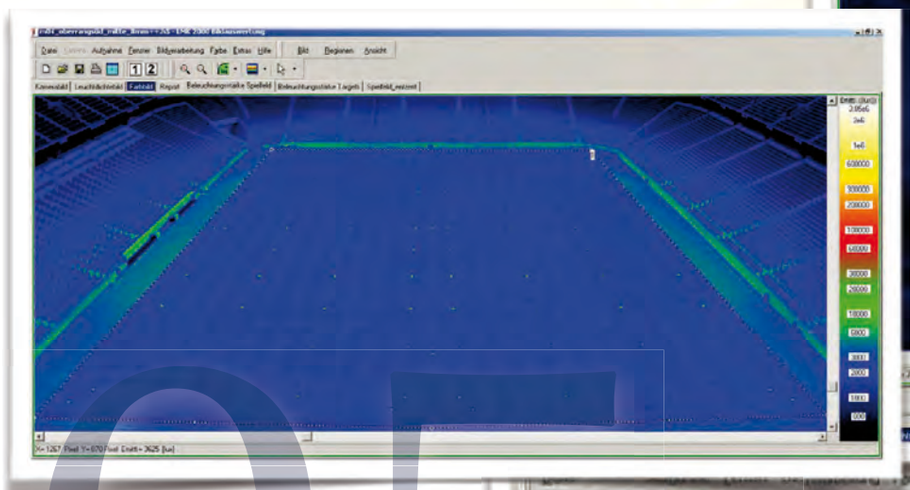
PRAXISBEISPIEL: MATERIALBEWITTERUNG

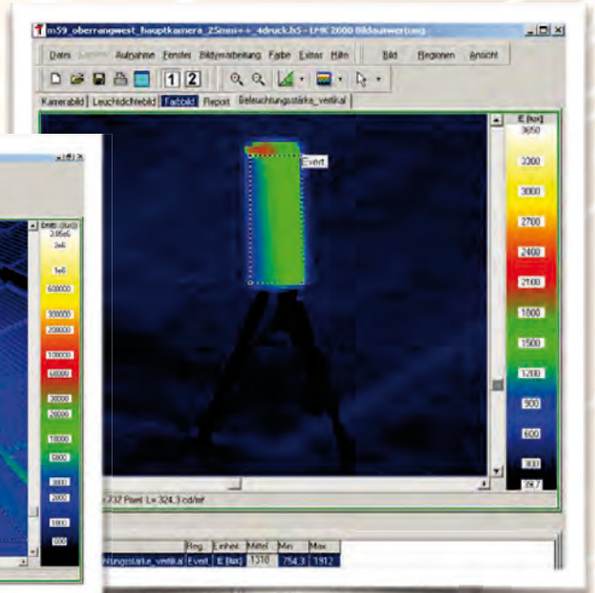


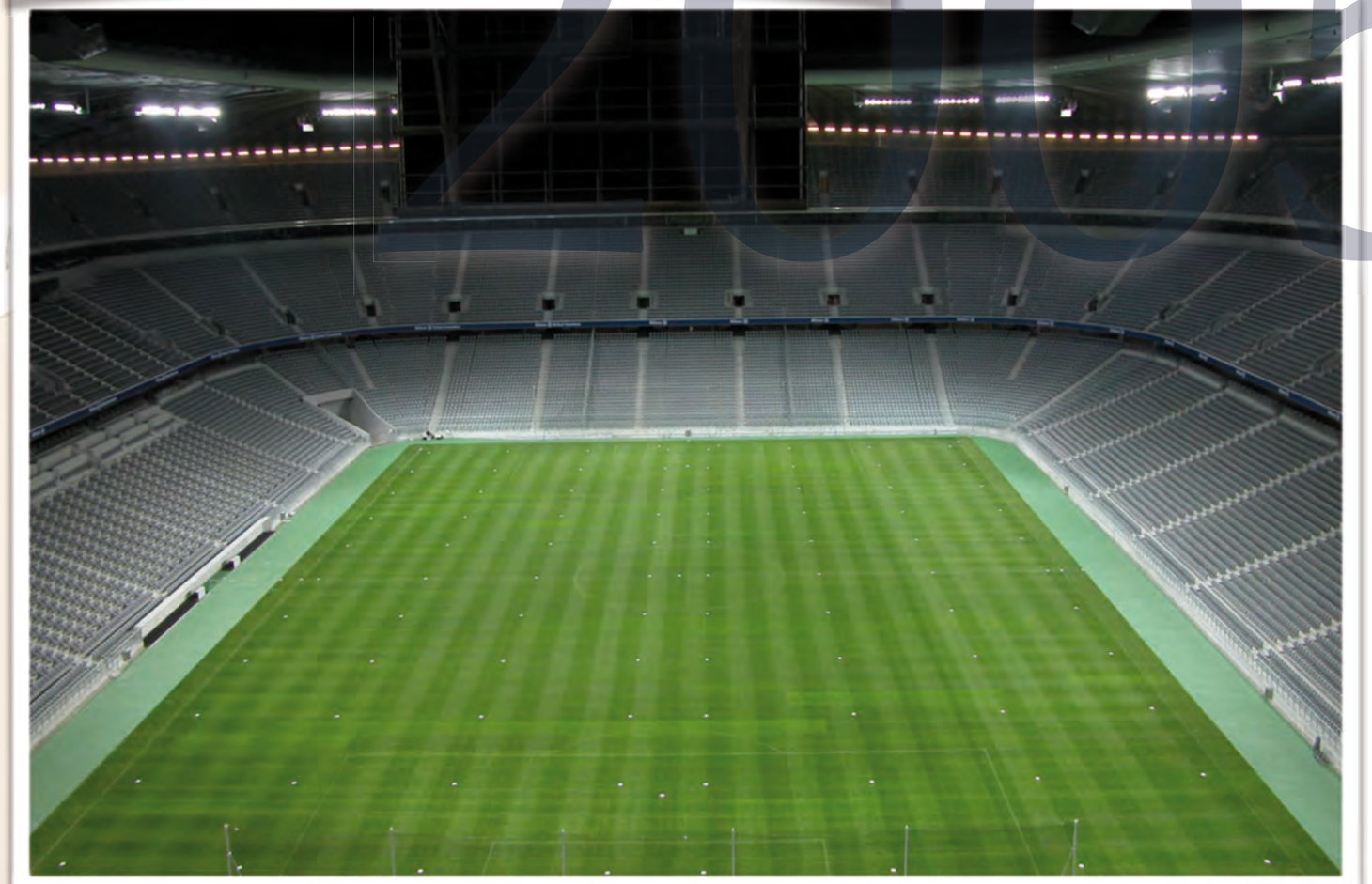


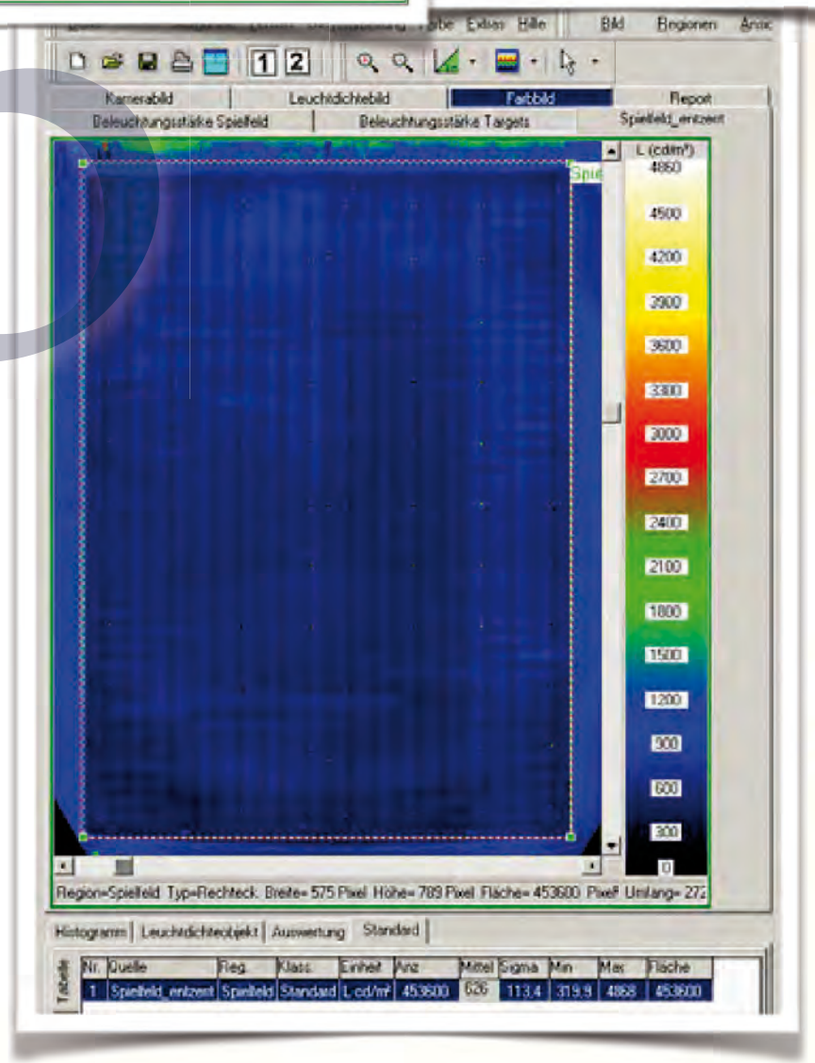


PRAXISBEISPIEL: STADIONBELEUCHTUNG



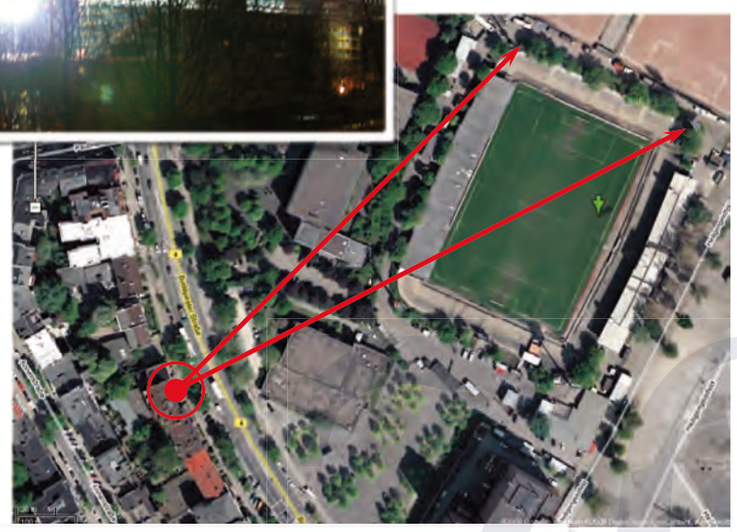






PRAXISBEISPIEL: LICHTIMMISSION FLUTLICHT

Messtechnische Bewertung der Flutlichtanlage am Millerntor-Stadion in Hamburg



(Google-Maps 2008)

Berechnete Raumwinkel aus Kameradaten:

„Lichtmast links“

erfasste Pixelanzahl der Blendquelle:	7608
erfasste „dunkle“ Pixelanzahl (>1000 cd/m^2):	11540
mittl.Raumwinkel/Pixel (fest für die verwendete Kamera-Objektiv-Kombination):	1,71. 10^{-8} sr
berechneter Gesamtraumwinkel der Lichtbühne:	0,000327431 sr
berechneter wirksamer Raumwinkel der Blendquelle: (7608 . 1,71 . 10^{-8})	0,0001301 sr

„Lichtmast Mitte“

erfasste Pixelanzahl der Blendquelle:	13390
erfasste „dunkle“ Pixelanzahl (>1000 cd/m^2):	27370
mittl.Raumwinkel/Pixel (fest für die verwendete Kamera-Objektiv-Kombination):	1,71. 10^{-8} sr
berechneter Gesamtraumwinkel der Lichtbühne:	0,00069699 sr
berechneter wirksamer Raumwinkel der Blendquelle: (13390 . 1,71 . 10^{-8})	0,00022897 sr

Berechnete Raumwinkel aus Geometrie: (siehe Abb.2, Abb.8 und Abb.10)

„Lichtmast links“

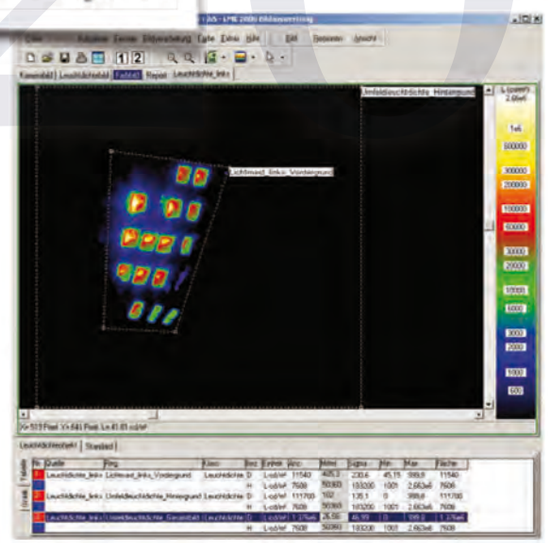
berechneter Gesamtraumwinkel der Lichtbühne/Blendquelle: (A_p / R^2)	0,00034704 sr

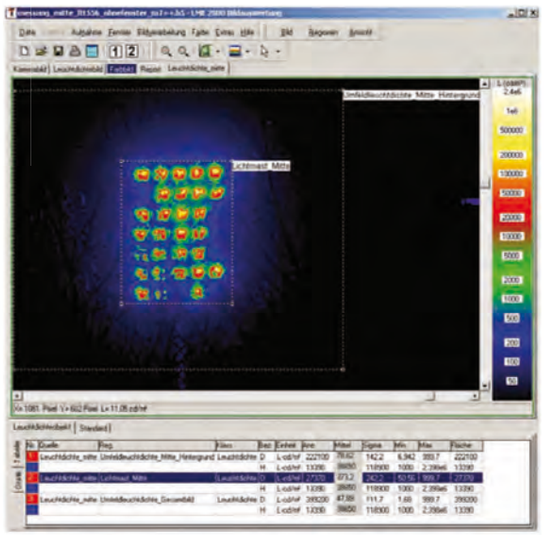
„Lichtmast Mitte“

berechneter Gesamtraumwinkel der Lichtbühne/Blendquelle: (A_p / R^2)	0,00063 sr

$$\overline{L}^2_{Blend} \cdot \Omega_{Blendquelle} < k^2 \cdot L_{Umfeld}$$

(zur Beurteilung von Lichtimmissionen entsprechend der LAI-Leitlinie)





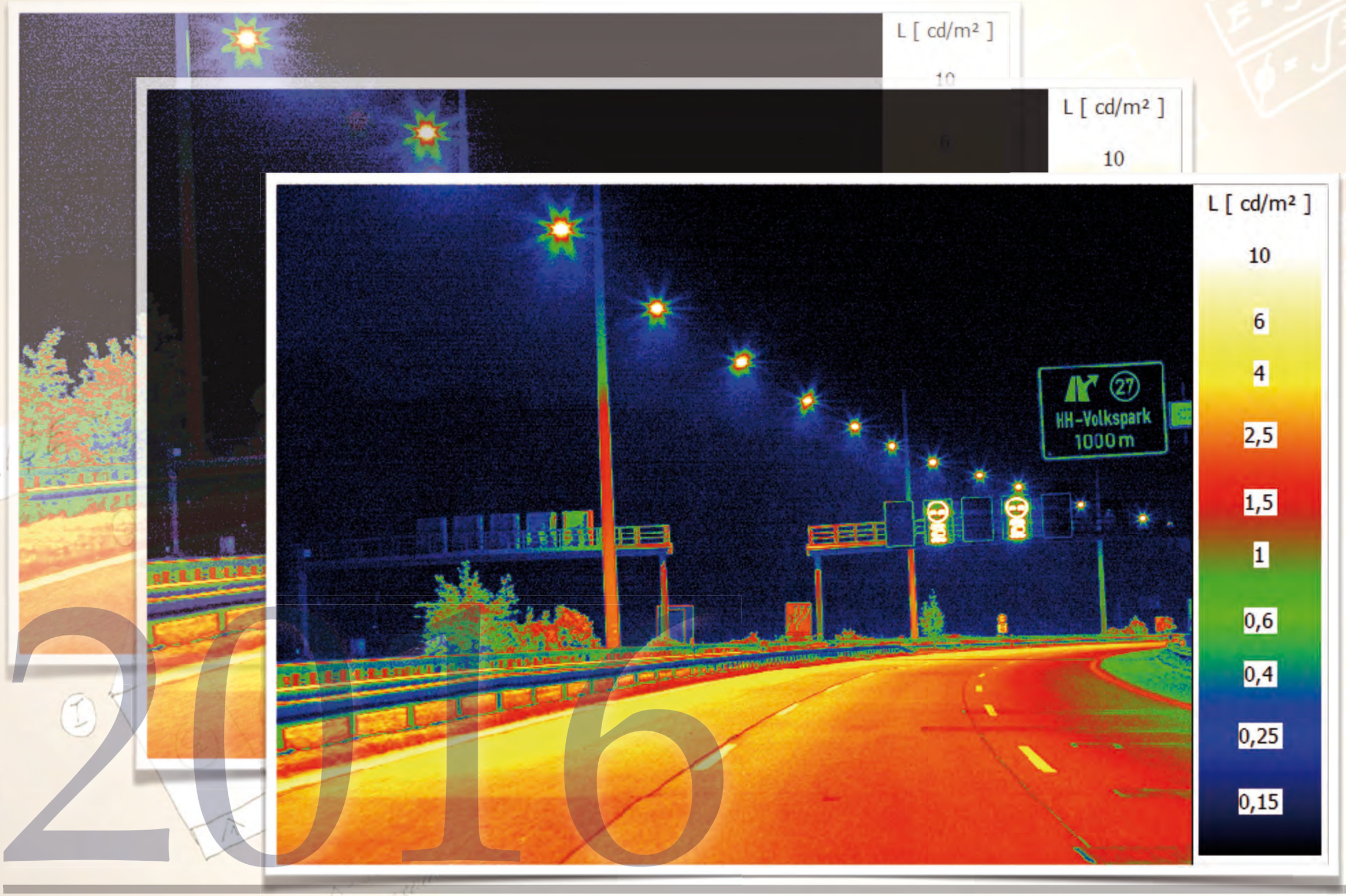
PRAXISBEISPIEL: LED-VIDEOWAND

Lichtverschmutzung im urbanen Umfeld oder Blendung durch Lichtreflexionen (bei Solaranlagen) können sicher und effizient quantifiziert werden.

STRASSENMESSUNG

Automatische Messung –
gesteuert durch einen eigens konzipierten externen Takt-/Weggeber

STRASSENMESSUNG



2016

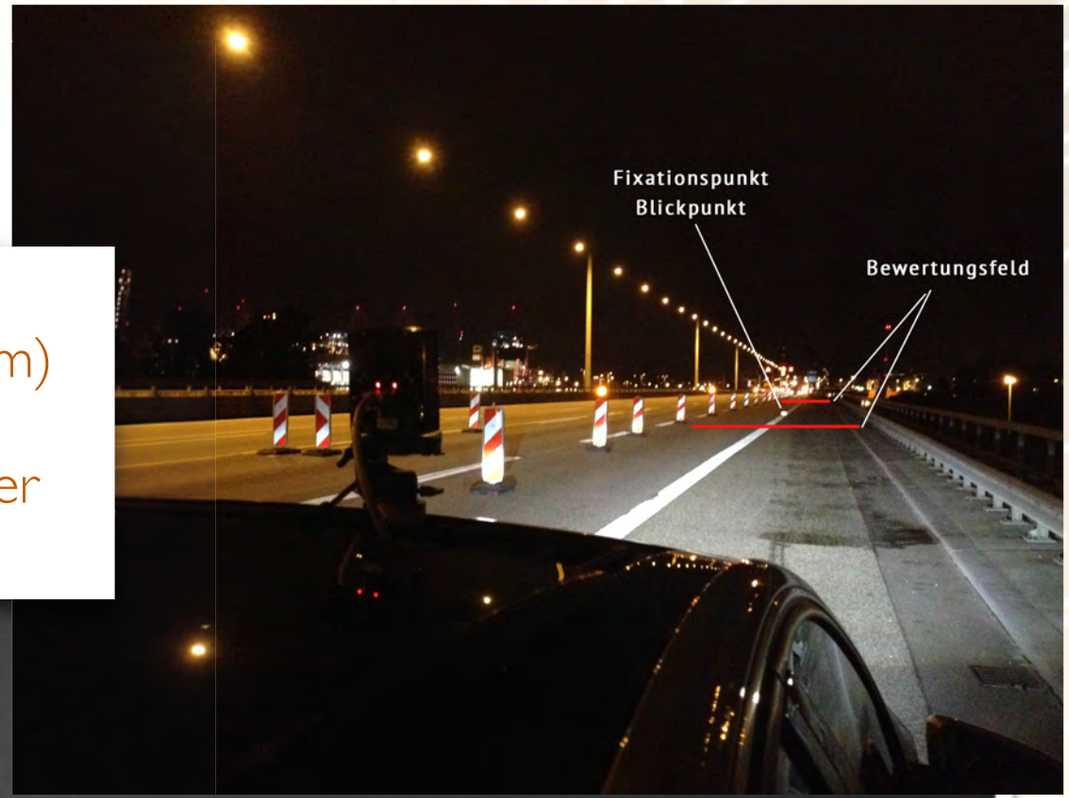
TUNNELMESSUNG

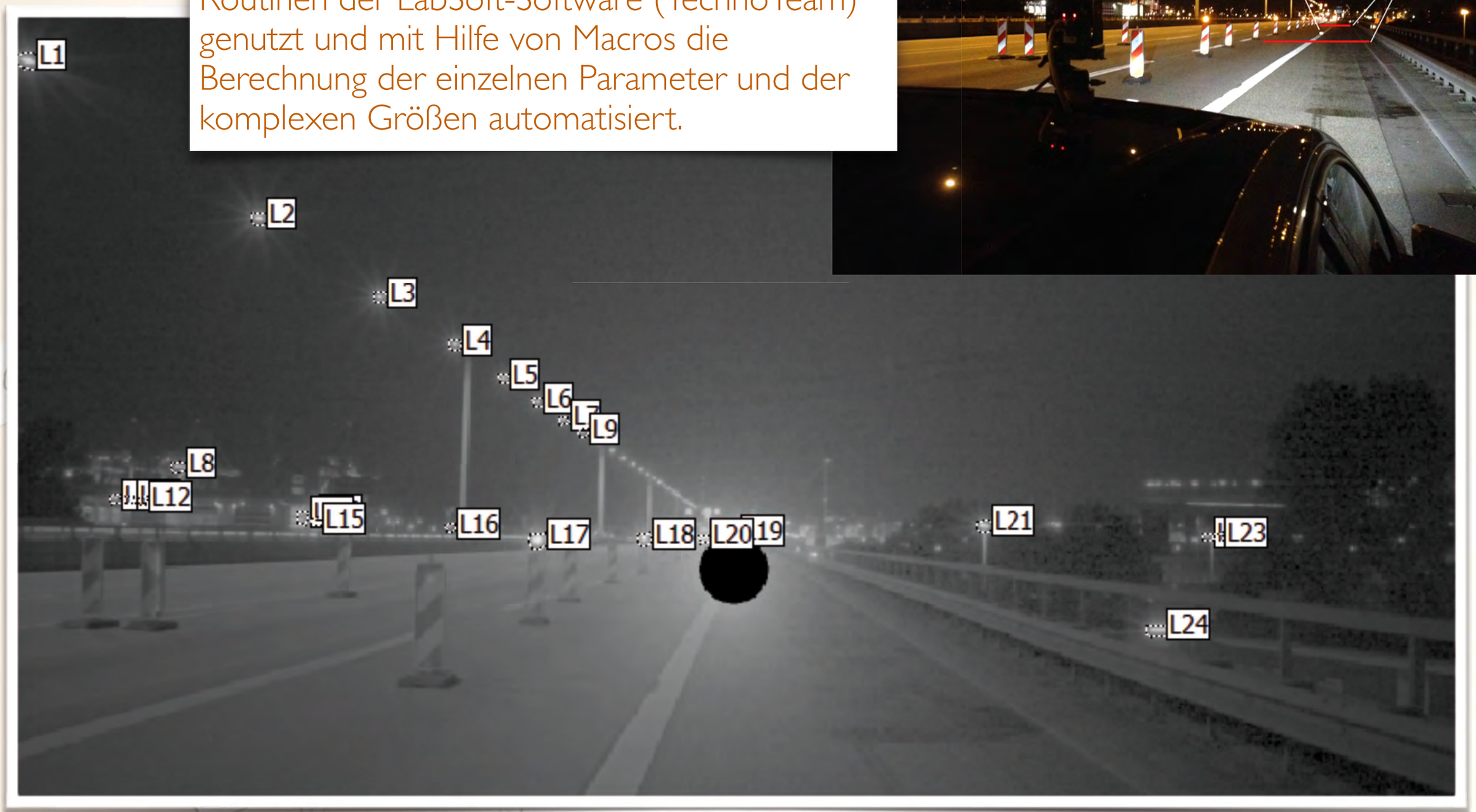
2011

Dynamische und statische Messung mit Leuchtdichtemesskamera und punktuelle Messung mit Leuchtdichtemessgerät. Redundanz bei den Messungen ist wichtig!

TI-MESSUNG

Zur Leuchtdichteanalyse werden interne Routinen der LabSoft-Software (TechnoTeam) genutzt und mit Hilfe von Macros die Berechnung der einzelnen Parameter und der komplexen Größen automatisiert.





VIELEN DANK