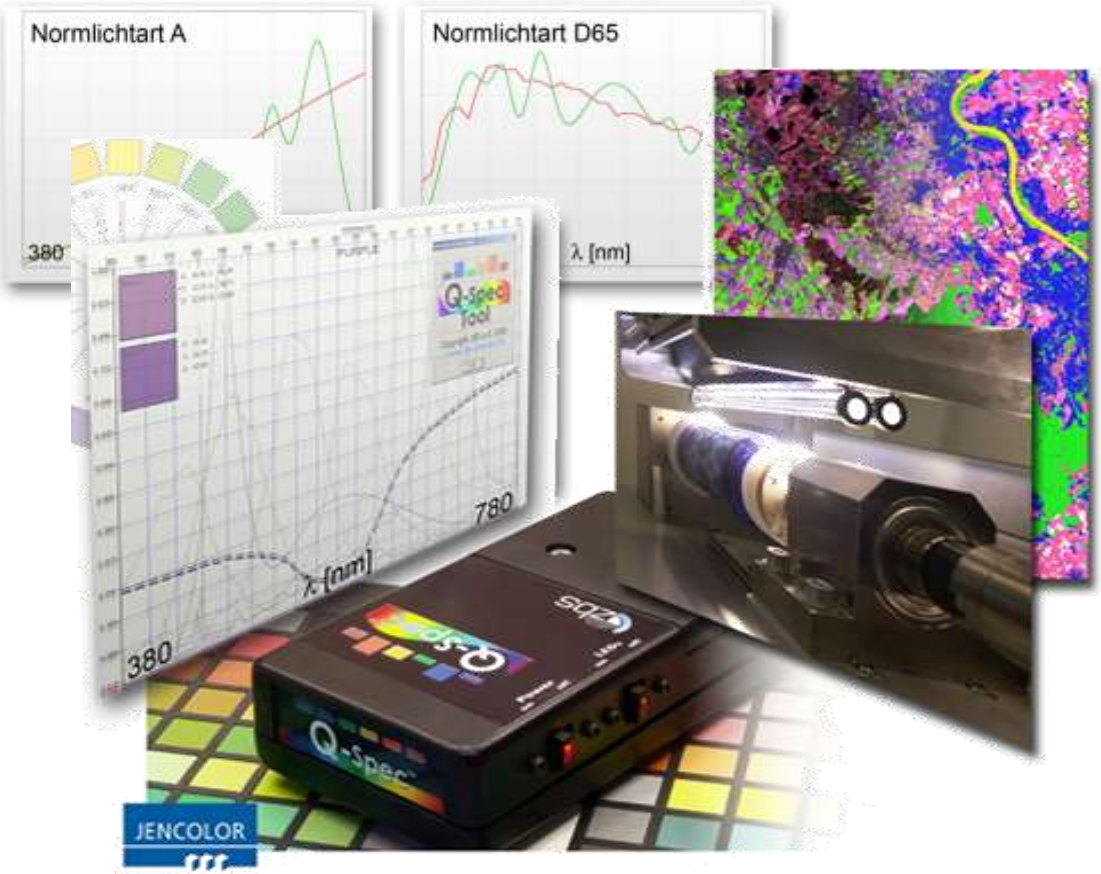
PD Dr.-Ing. habil. Karl-Heinz Franke, Dr.-Ing. Rainer Jahn, Dr.-Ing. Rico Nestler

Licht und seine Wirkungsweise in Machine-Vision-Applikationen

SPECTARIS-Tagung „Mehr sehen mit dem richtigen Licht – Innovative Beleuchtungslösungen für Machine-Vision-Anwendungen“ am 18. Juni 2013 bei Polytec GmbH in Waldbronn

SPECTARIS
Fachverband Photonik und Präzisionstechnik



zbs

Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung (ZBS) e.V. Ilmenau

PD Dr.-Ing. habil. Karl-Heinz Franke

Werner-von-Siemens-Str. 10
D-98693 Ilmenau

www.zbs-ilmenau.de
info@zbs-ilmenau.de

ZBS e.V. / GBS mbH

- 1994: Gründung des Zentrums für Bild und Signalverarbeitung e.V.
  Spin-Off der Techn. Universität Ilmenau
- ab 1995 ca. 10 fest angestellte Mitarbeiter
  angewandte Forschung und Forschungstransfer im Bereich Bild- und Signalverarbeitung
- 1998: Gründung der 100%-Tochter Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung mbH Industrieaufträge / Produkte

das Team

- ZBS e.V. / GBS mbH
  Ingenieure, Optiker und Informatiker,
  bis zu 30ig-jährige Erfahrung auf dem Gebiet der Bild- und Signalverarbeitung
- Technische Universität Ilmenau
  Gruppe Bildverarbeitung im FG Graphische Datenverarbeitung in der Fakultät für Informatik & Automatisierung

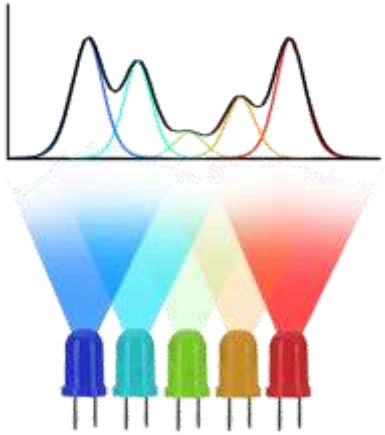
ZBS e.V. - Vereinstätigkeit

Ziele / Aktivitäten

- Transfer von Ergebnissen der Grundlagenforschung zur Bildverarbeitung in die industrielle Praxis
- direkte Projektarbeit, Realisierung von Studien bis zu Prototypen
- postgraduale Weiterbildung **ZBS-VisionExperts** (www.visionexperts.de)
- Mitinitiator der **German Color Group** (www.germancolorgroup.de)

Gegenstand Bildverarbeitung und -analyse im weitesten Sinne

- **Licht- und Beleuchtungstechnik**
- Technische Optik für Beleuchtung und Abbildung
- **Sensorik**, Bilderzeugung
- Bildverarbeitung und -auswertung (sensornahe Datenrestauration bis High-Level-Szenenanalysen)

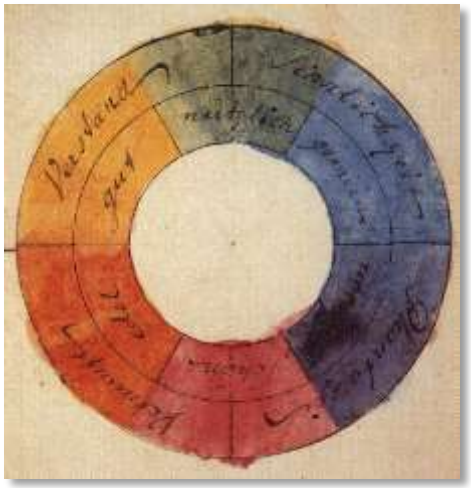


Licht und seine Rolle bei der Wahrnehmung der Umwelt

Zum Sehen braucht es Licht (Strahlung). Man kann **mehr sehen mit dem richtigen Licht** !

Die **Wahrnehmung** wird wesentlich durch die **Lichtwechselwirkung mit dem Material** bestimmt .

Goethe: *Das stolze Licht, das nun der Mutter Nacht*
Den alten Rang, den Raum ihr streitig macht,
Und doch gelingt's ihm nicht, da es, so viel es strebt,
Verhaftet an den Körpern klebt. (Faust I, 1808)



Trotz erforderlicher Differenzierung zwischen

- der rein visueller Wahrnehmung bei Warenschau, Kunst, Druck,
- der technischen Erfassung von sichtbaren Oberflächen zur Gütebewertung oder Objekterkennung (industrielle Konsumgüter / Landwirtschaft / Medizin) und
- der Bilddatenakquise ohne Bezüge zur visuellen Wahrnehmung (multimodale, nicht optische Daten)

gibt es in der Machine-Vision drei gemeinsame, die Beleuchtung betreffende Aspekte.

Aspekte bei der Gestaltung von MV-Beleuchtungen

Der energetische Aspekt (hier nicht behandelt):

Frage: Können die interessanten Szenen-/Objekteigenschaften unter den Randbedingungen der Applikation überhaupt **kontrastreich** sichtbar gemacht werden?

- Leistung der Strahler, Kamera- bzw. Sensorempfindlichkeiten, Optiken
- applikationsbedingt erreichbare Bestrahlungsstärken auf Objekt und Sensor

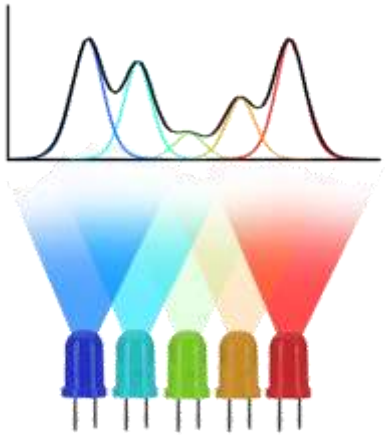
Der geometrisch-optische Aspekt (hier nicht behandelt):

Frage: Sind szenen-, objekt- und applikationsbedingt spezielle Beleuchtungs- und Abbildungsarten (**Messgeometrien**) erforderlich?

- Hellfeld, Dunkelfeld (Streulicht), differenzieller Interferenzkontrast etc.
- Spezialoptiken (Telezentrie) und Beleuchtungs-anordnungen (Ringlichter, Flächen, etc.)

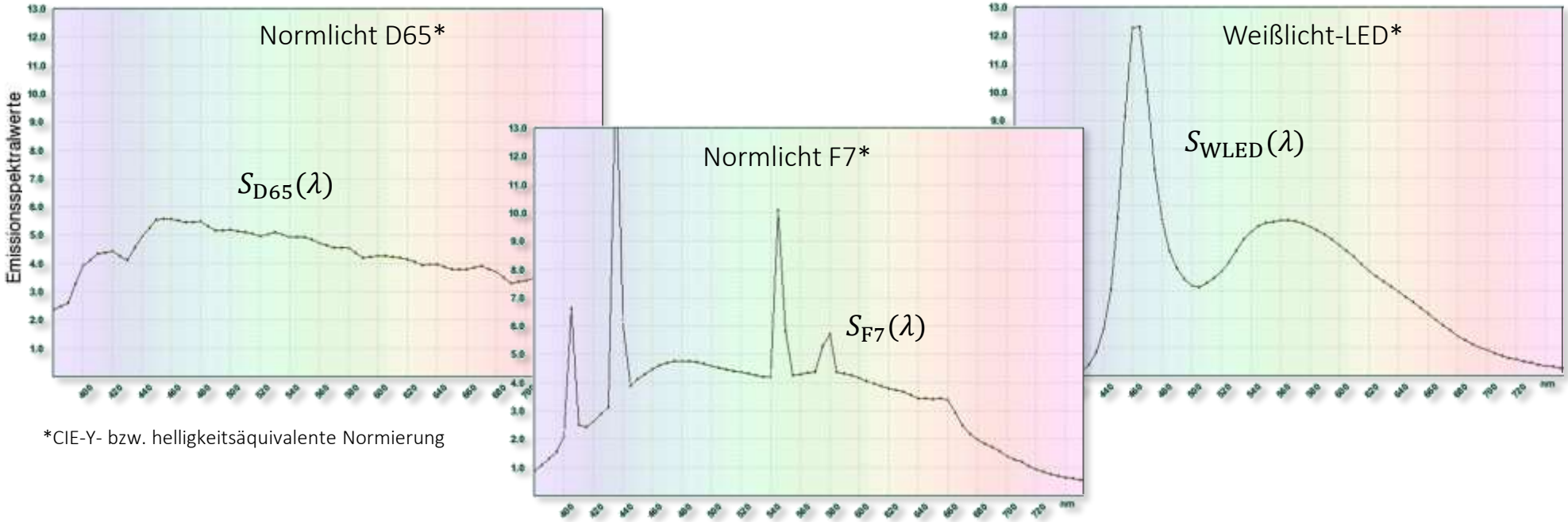
Der spektrale Aspekt oder die Lichtfarbe:

Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen



Lichtfarbe vs. spektrale Lichtcharakteristik

These 1: Der Farbort reicht für die Charakterisierung von Lichtquellen i.a. nicht aus.



*CIE-Y- bzw. helligkeitsäquivalente Normierung

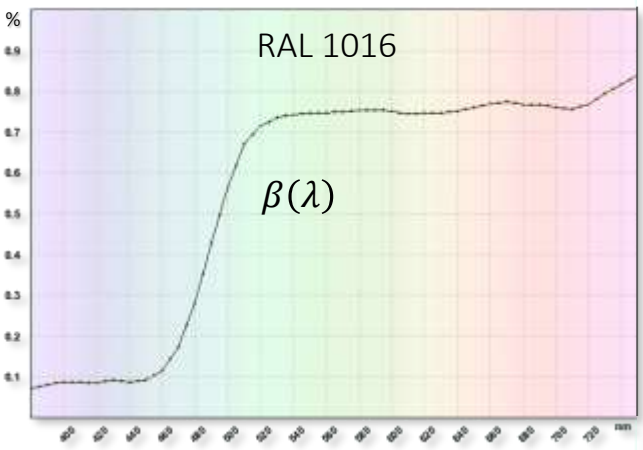
Beleuchtungen (Tageslicht D65, Fluoreszenzleuchte F7 und Weißlicht-LED) mit **gleichem Farbort** (Lichtfarbe) entsprechend einem Temperaturstrahler mit **6500 K**

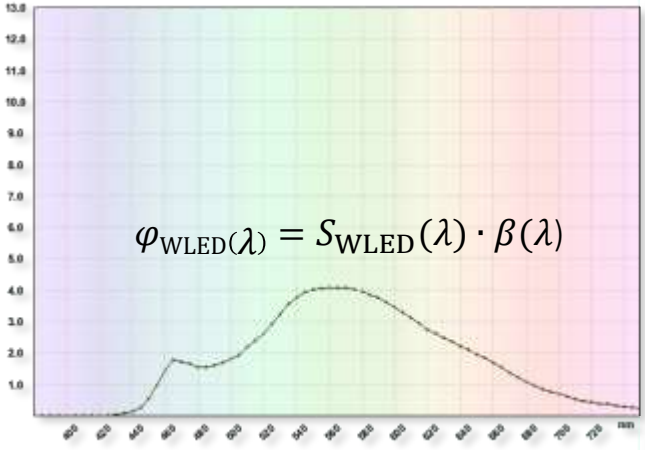
- Nur auf **ideal weißer Vorlage**, das heißt bei einer Remission $\beta(\lambda)$=1, realisieren die resultierenden Farbreize $\varphi(\lambda) = S(\lambda)$ den **gleichen weißen Farbeindruck.**
- **Für Farbstoffe** mit $\beta(\lambda)$≠1 resultieren **unterschiedliche Farbeindrücke !** (seltene Ausnahme: bedingt gleiche (metamere) Farbstoffe)

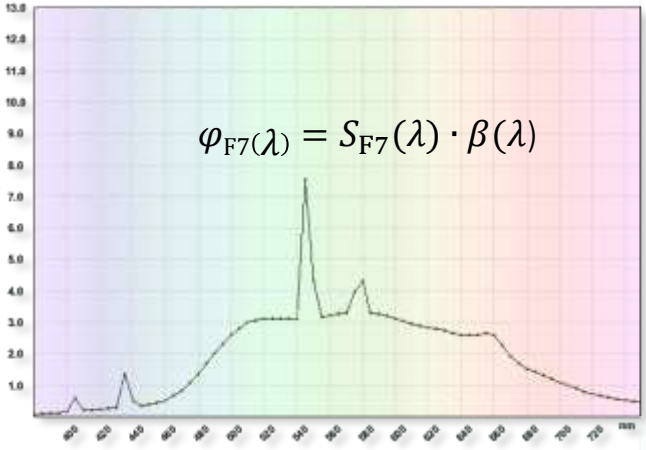
Lichtfarbe vs. spektrale Lichtcharakteristik

Spektrale Betrachtung:

Farbreize $\varphi_{\mathrm{WLED}}(\lambda)$ und $\varphi_{\mathrm{F7}}(\lambda)$ für Farbstoff mit Remission $\beta(\lambda)$

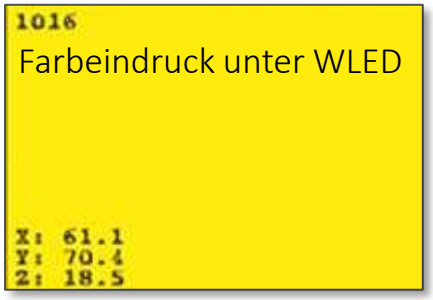


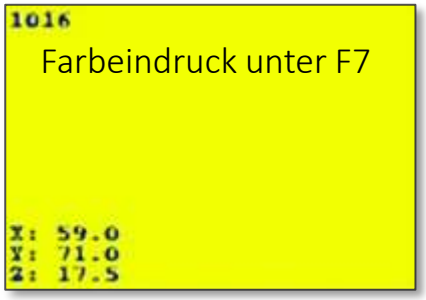


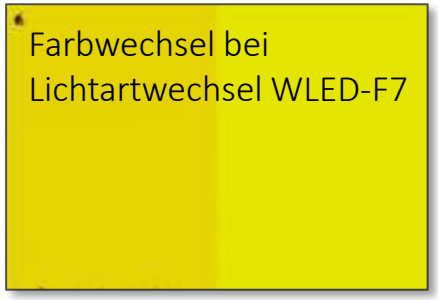


Colorimetrische Betrachtung:

Körperfarben eines Farbstoffes $\beta(\lambda)$ bei **zwei Beleuchtungen** (Weißlicht-LED, F7) **können trotz gleicher Lichtfarbe** (Farbort des Lichtes bzw. Farbtemperatur) **stark unterschiedlich** sein!







$\Delta E_{\mathrm{CIELab,F7,WLED}} = 6.62$

Körperfarbe =
$f(S(\lambda), \beta(\lambda), \ldots)$

metrischer Farbabstand
$\Delta E_{\mathrm{CIELab}} > 3$
„deutlich wahrnehmbar“

Lichtfarbe vs. spektrale Lichtcharakteristik

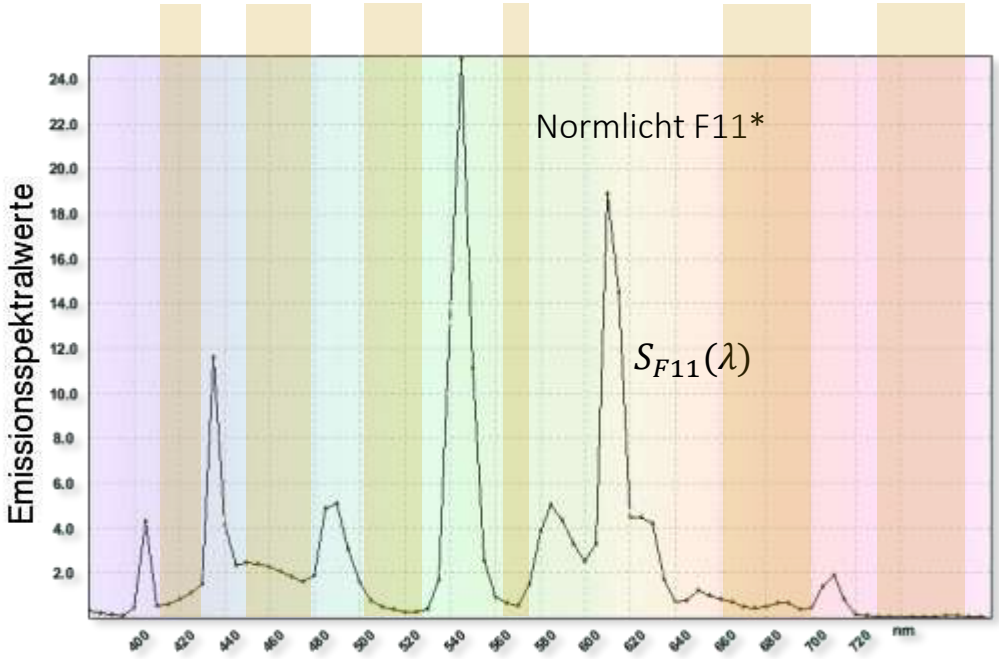
Konsequenzen für Machine-Vision-Anwendungen

- Die Vergleichbarkeit von Farbvalenzen, für die nur der Farbort der Beleuchtung bekannt ist, ist nicht gewährleistet.
- Die Vergleichbarkeit von Materialien (visuell, z.B. in der Medizin oder beim Musterentwurf), die Weiterverwendbarkeit von farbbasierten Objektbeschreibungen für Klassifikations- und Detektionsaufgaben im Bereich Machine Vision ist nicht gewährleistet.
- Mischung von Tageslicht und Szenenbeleuchtung (Fremdlicht) wirkt nicht nur auf die Helligkeit, sondern führt auch zu farblichen Verschiebungen. Selbst leuchtdichtebefreite Farbmerkmale lassen keine stabilen Lösungen zu.

Spektrale Lichtquellencharakteristik vs. Einsatzfeld

These2: Einige Lichtquellen sind aus spektraler Sicht für Machine-Vision-Anwendungen generell nicht geeignet.

- Energetische Lücken im Verlauf spektraler Strahlungsfunktionen $S(\lambda)$ **verfälschen die farbliche Erscheinung** von Oberflächen oder von zu detektierenden Defekten erheblich.



*CIE-Y- bzw. helligkeitsäquivalente Normierung

Konsequenzen für Machine-Vision-Anwendungen

- **Spektrale Signaturen**, die sich spektral in den kritischen Bereichen äußern, **sind nicht detektierbar.**
- Es ist mit erheblicher **Beleuchtungsmetamerie** zu rechnen.
- **Spektrale Objektrekonstruktionen** sind bei derartigen Beleuchtungen wegen numerischen Singularitäten **nicht möglich**.

$$\beta(\lambda) = \frac{\varphi(\lambda)}{S(\lambda) \overset{!}{\neq} 0}$$

Hyperspektrale / spektrale Messung vs. Farbmessung

These 3: Nur der Zugang zur spektralen Signatur der zu bewertenden Oberfläche liefert Beleuchtungsunabhängigkeit und damit Robustheit von Machine-Vision-Lösungen bezüglich der Objekt- und Defekterkennung.

Konsequenzen für Machine-Vision-Anwendungen

Kompromisse lassen sich bei Verwendung ortsaufgelöster Dreibereichssensorik (Farbkameras) erzielen durch

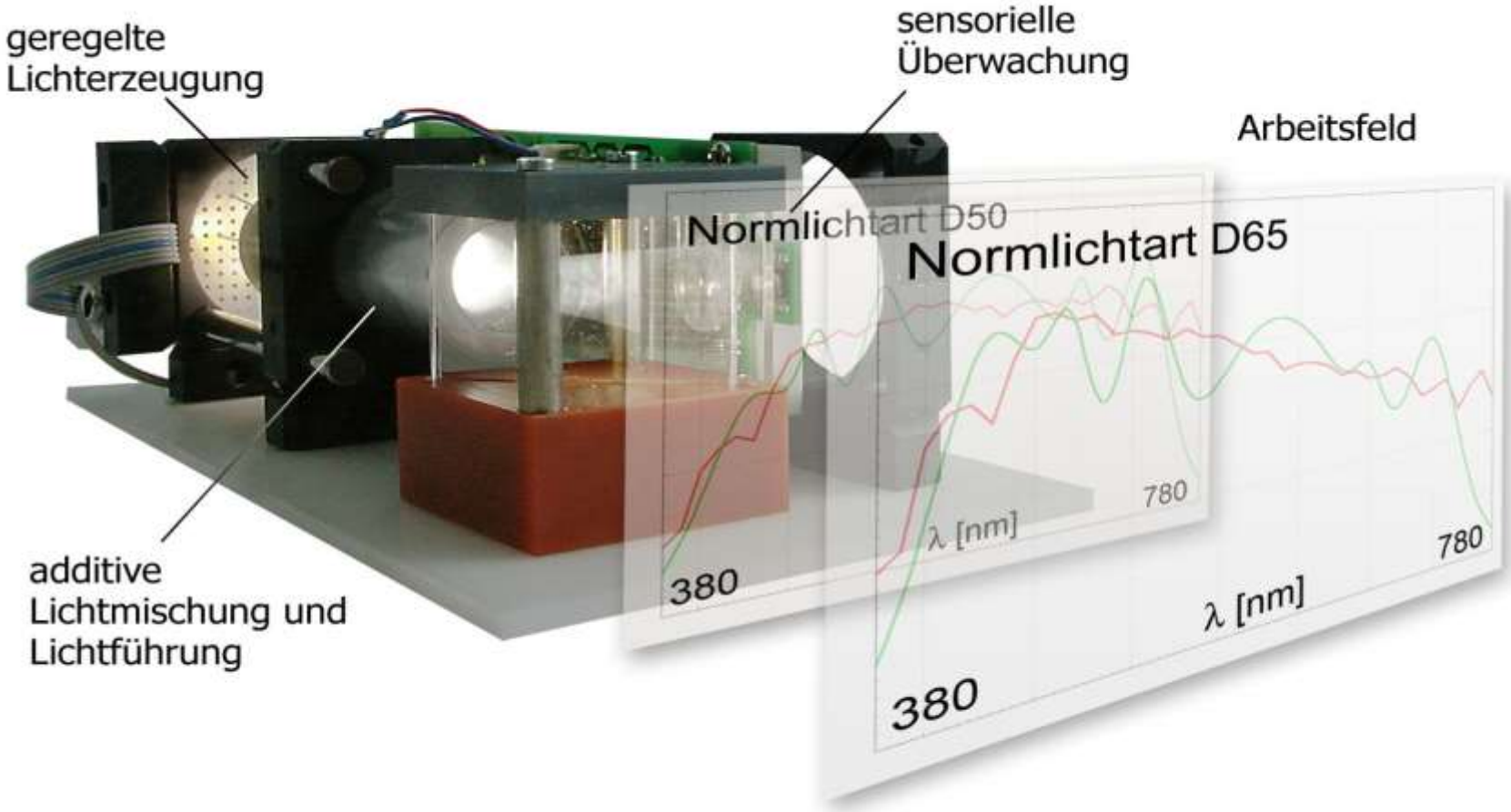
- Verwendung von spektral definierten Normlichtquellen, die sich z.B. mittels LED realisieren lassen (LED-basierte, geregelte Normlichtquelle → nachfolgende Folie)
- Schätzung/Messung der spektralen Lichtcharakteristik durch hyperspektrale / spektrale Sensorik und Farbkorrektur (hyperspektraler Sensor ZBS-QSpec™ → nachfolgende Folie).

Hyperspektrales / spektrales Messen des Farbreizes $\varphi(\lambda)$ und der spektralen Beleuchtungschakteristik $S(\lambda)$, QSpec ™ -Rekonstruktion der spektralen Signatur $\beta(\lambda)$ und Ermitteln der Farbwerte für beliebige Beleuchtungssituationen

- Punktmessung mit hyperspektralen/spektralen Sensorlösungen (QSpec ™ / Minispektrometer)
- spektrale Zeilensensoren oder Filterradkameras (mit applikativen Einschränkungen)
- bald verfügbar: ortsauflösende hyperspektrale Sensoren (z.B. 16 Kanäle, 1 MPix pro Kanal)

LED-basierte spektrale Lichtsynthese

Funktionsmuster einer computergesteuerten LED-Lichtquelle (für jeweils einen Satz von Normlichtern, Steuerung mit Hyperspektralsensor) /Fra11a/



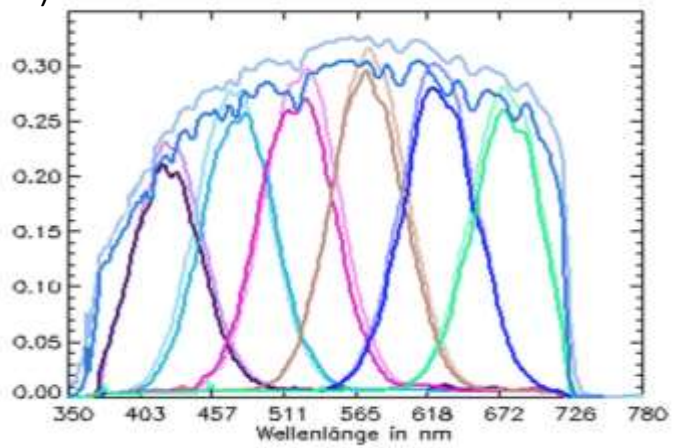
Spektrale Rekonstruktion aus hyperspektraler Farbreizerfassung

Bestimmung spektraler Signaturen /Fra11b/

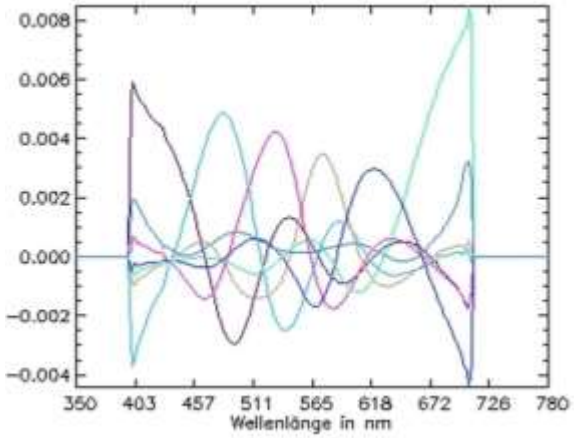
Hyperspektrales Messsystem QSpec™

a) Multikanal-Sensor

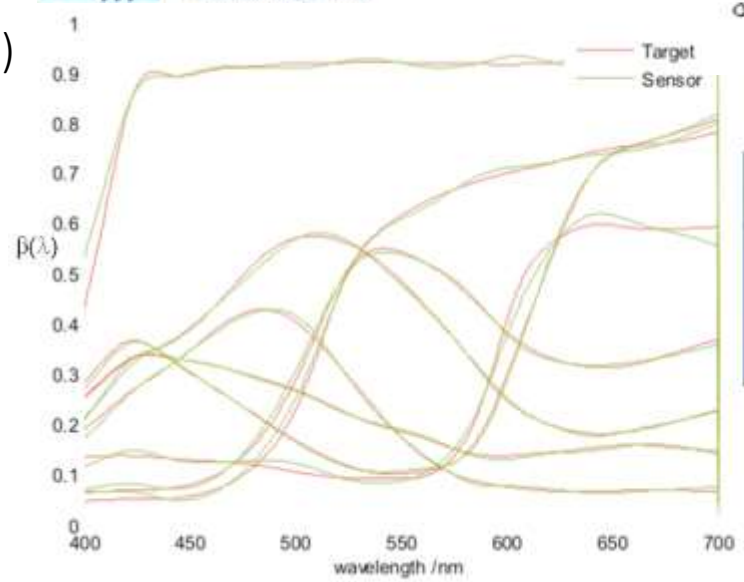
b)



c)



d)



Sensor	Delta E min	Delta E mean
Multiple Color Sensor	0,03	0,43
True Color Sensor	0,04	1,13
RGB Sensor	0,06	4,37

a) Sensorstruktur

b) Kanalempfindlichkeiten

c) problemspezifische Signalwert-verrechnung (regularisierte Lösung des inversen Problems)

d) Schätzung der spektralen Reize bei gleichzeitiger Beseitigung von Geräteeinflüssen (Kalibrierung, Licht)→ $\beta(\lambda)$

Hyperspektrales Messsystem QSpec™

- Konzipiert für spektrale Vermessung von Remissionstargets
- Lichtquelle: 2 Weißlicht-LEDs
- Messgeometrie: 45°/0°
- PC-Anschluss über USB
- Schnelle Messwertverarbeitung durch lineare spektrale Rekon-struktionsvorschrift

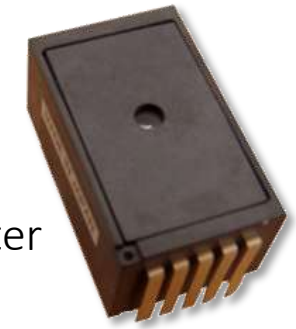
- durch anwendungsbezogene Verrechnungsvorschrift beliebig skalierbare Messwertgüte
- absolute spektrale Aussagen über Messobjekt durch Kompensation des Lichtquelleneinflusses
- weitergehende colorimetrische Analysen möglich

Spektrales Messsystem SpecWorks ™-MSM

ZBS-Minispektrometer für den visuellen Spektralbereich (MSM-VIS) /Nes13/

SpecWorks™-MSM-VIS Prototyp für die spektral aufgelöste Messung des einfallenden Lichtes

sensorische Basis:
miniaturisiertes Spektrometer
von Hamamatsu



LED-basierte Messfeldausleuchtung
für nicht-selbstleuchtende Objekte
45° / 0° - Messgeometrie

Zusammenfassung

Ziel des Vortrages:

Den **spektralen Aspekt von Beleuchtung** verstärkt **in das Bewusstsein des Engineerings von Machine-Vision-Aufgaben** rücken (Awareness Campaign, Problembewusstsein, Chancen erkennen).

Unsere Prophezeiung:

Das Zeitalter der spektralen Technologien ist angebrochen.

- Materialbewertung und Bewertung von Materialfehlern statt Bewertung von lichtabhängigen Farbwahrnehmungen.
- Medien: Spektraler Druck, der dem Original unter allen Beleuchtungsbedingungen gleicht.
- Kompromiss für etablierte Dreibereichssensorik: Einsatz spektral geregelter (Norm)Lichter

Unser Angebot:

Partnerschaft bei der Entwicklung adäquater Lösungskomponenten

- Systemtechnik
- Sensorkonzeption und -qualifizierung
- Hyperspektrale/spektrale Signalerfassung und -verarbeitung (Lösung inverser Probleme, Steuer- und Regelalgorithmen, Softwarelösungen)

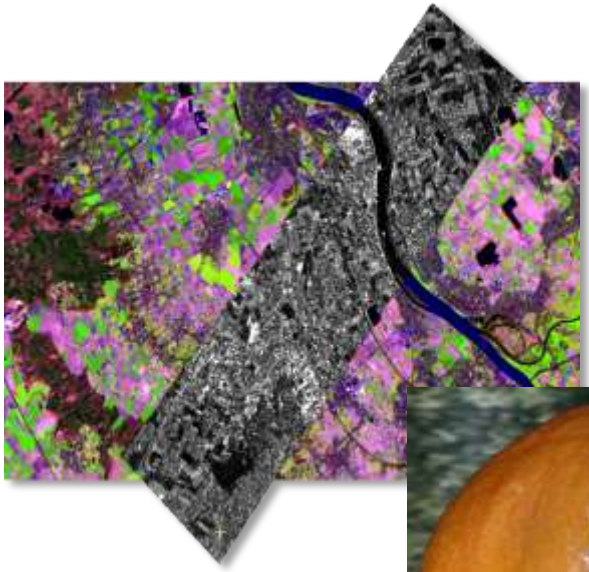
Literaturverweise

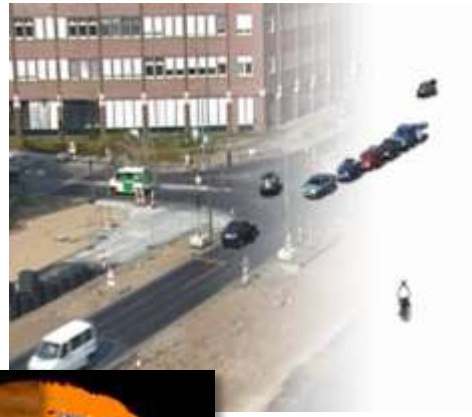
/Fra11a/ K.-H. Franke: "Das quasi-spektrale Messsystem Q-Spec und seine Nutzung zur Regelung LED-basierter Lichtquellen„ auf Darmstädter Kolloquium Optische Messtechnik (DAKOM 2011) - Charakterisierung von LED Lichtquellen, Leitung Prof. Theo Tschudi, 06.06.2011, Darmstadt, Deutschland, http://217.92.194.243/pdf/LED-Lichtquelle_DAKOM_2011_Druck.pdf

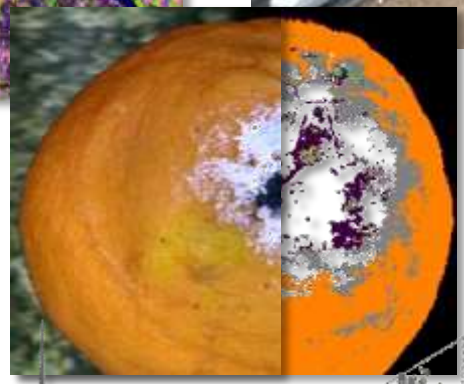
/Fra11b/ K.-H. Franke: "From Color Measurements via Multiple Color to Spectral imaging„, auf 10. SpectroNet Collaboration Forum Jena, 20.04.2011, Jena, Deutschland, http://www.zbs-ilmenau.de/ → Publikationen

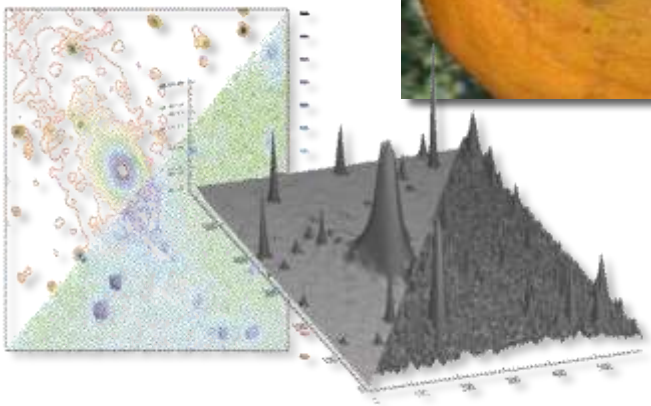
/Nes13/ R. Nestler: "Miniaturized multispectral, hyperspectral or spectral measuring devices in tasks of production quality monitoring„, auf 16. SpectroNet Collaboration "Mobile Smart Shape, Color and Spectrum Measuring and Signature Imaging in Industry, Biology and Medicine" Forum Karlsruhe, 05.03.2013, Karlsruhe, Deutschland, http://217.92.194.243/pdf/16thSpectronetCollabForum_ZBS.pdf

F&E-Portfolio des ZBS e.V.









Bildfolgenanalyse

Bildanalyse und Bildfusion

multimodaler Bildquellen

automatische **Registrierung**

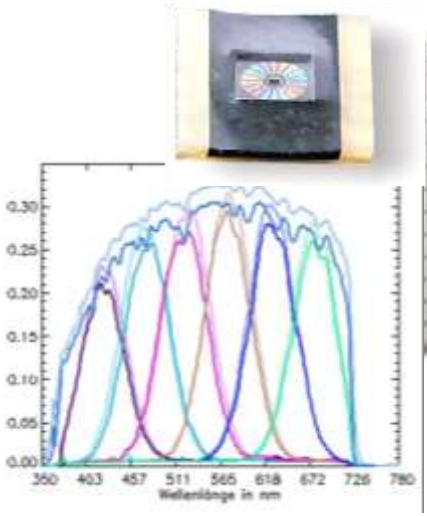
hierarchische **Segmentierung**
mehrkanaliger Bilder

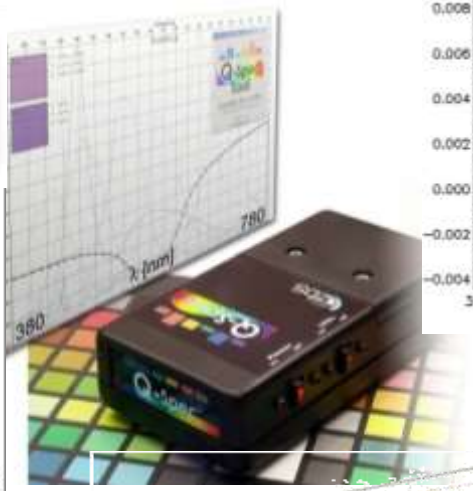
Einsatz moderner, leistungsfähiger Methoden zur
Bildrestauration

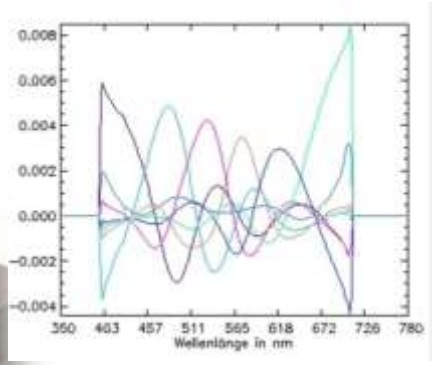
hierarchische **Klassifikation**
von Pixeln, Segmenten
und komplexen Objekten

3D Punktewolken
und **3D-Szenenanalyse**

F&E-Portfolio des ZBS e.V.





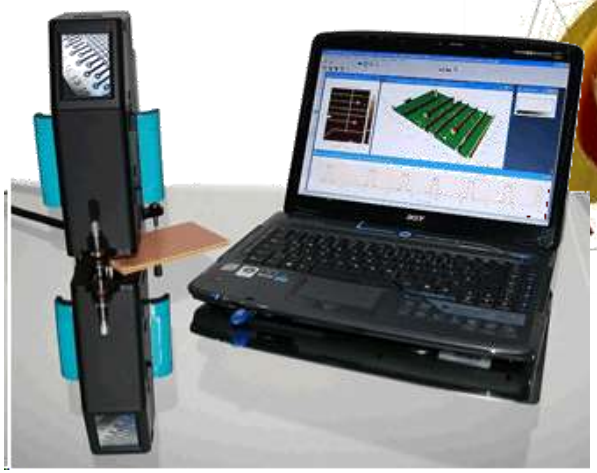


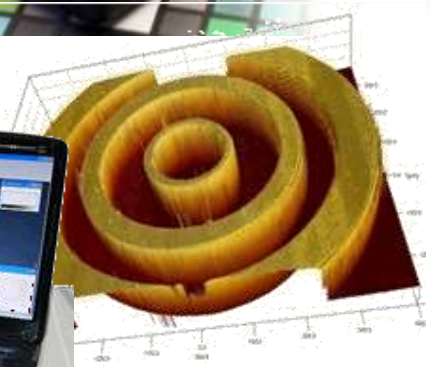
True-Color-Imaging

Kalibrierung, Color Management

Farbsensorik

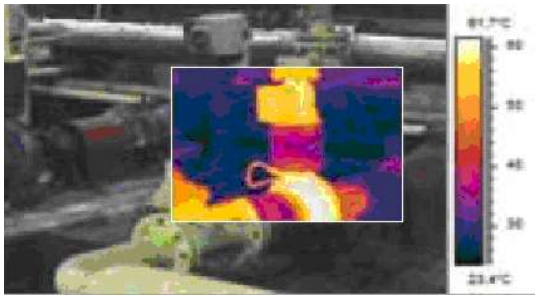
Dreibereichstechnik,
hyperspektral, spektral





2D- und 3D-Messen

„Nano“ bis planetare Erkundung

multimodale
Systemtheorie/Bildverbesserung

in UV, VIS, NIR, IR, Radar