"Messen am Limit“

- diffuse Reflexionsmessungen an der PTB

Dr. Andreas Höpe
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
AG 4.52 „Reflektometrie“
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Übersicht:

- Allgemeines zur PTB
- Abteilung 4 “Optik”
- Reflektometrie
- “Visual Appearance”
- Messungen an Interferenzpigmenten
- EMRP “European Metrology Research Programm“
- Zusammenfassung & Ausblick

Die PTB … (In Kürze)

- ist ein weltweit führendes Metrologieinstitut
- ist wichtigster nationaler Dienstleister im Messwesen
- ist Bundesbehörde im Geschäftsbereich des Ministeriums für Wirtschaft und Technologie

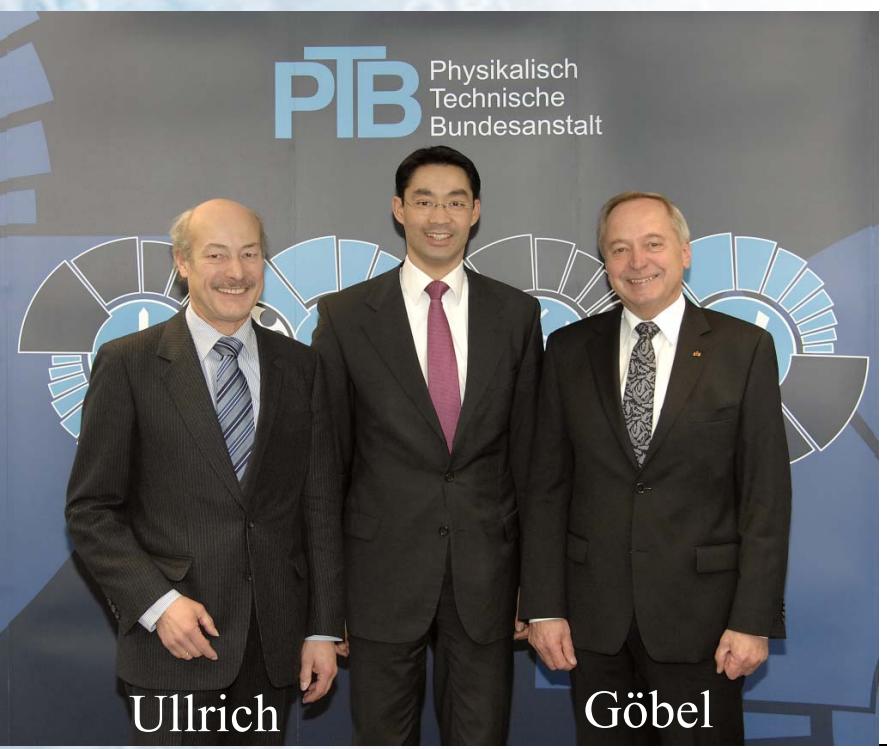
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

- beschäftigt ca. 1900 Mitarbeiter
- hat einen Jahresetat von ca. 145 Mio. €
- arbeitet an den Standorten Braunschweig und Berlin
- wurde als PTR im Jahr 1887 gegründet

Die PTB ...

- ist Bundesbehörde im Geschäftsbereich des Ministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie



Pressemitteilung

20.1.2012

Rösler vollzieht Präsidentenwechsel bei der PTB

Bei einer Festveranstaltung in Braunschweig hat der Bundesminister für Wirtschaft und Technologie, Dr. Philipp Rösler, heute den scheidenden Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Prof. Dr. Ernst O. Göbel, verabschiedet und dessen Nachfolger, Prof. Dr. Joachim Ullrich, feierlich in das Amt eingeführt.

Die PTB … (Ein wenig Geschichte)

Hermann von Helmholtz

- 1887 Gründung der PTR in Berlin (H. v. Helmholtz / W. v. Siemens)
- 1943-45 Schwere Kriegsschäden, Verlagerung vieler Laboratorien
- 1946 Wiederaufbau der PTR in Berlin
- 1950 Gründung der PTB in Braunschweig
- 1977 Staat und Wirtschaft gründen Deutschen Kalibrierdienst (DKD)
- 1990 Übernahme (Standort, Mitarbeiter, Aufgaben) des ASMW der ehemaligen DDR
- 2002 Aufgabe des ASMW-Standorts in Berlin-Friedrichshagen
- 2002 Evaluation der PTB durch eine vom Bundeswirtschaftministerium berufene internationale Expertenkommission
- 2007 Evaluation der PTB durch den Wissenschaftsrat
- 2010 Überführung des DKD in die DAkkS

Die PTB … (Organigramm-Übersicht)

Mechanik und Akustik

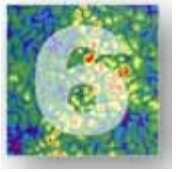
Elektrizität

Chemische Physik und Explosionsschutz

Optik

Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben

Fertigungsmesstechnik



Ionisierende Strahlung

Temperatur und Synchrotronstrahlung

Medizinphysik und metrologische Informationstechnik

Berlin

Verwaltung und Betrieb

Die PTB … (Fachabteilungen in Braunschweig)

- Mechanik und Akustik
- Elektrizität
- Chemische Physik und Explosionsschutz
- Optik
- Fertigungsmesstechnik
- Ionisierende Strahlung
- Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben
- Verwaltung und Betrieb

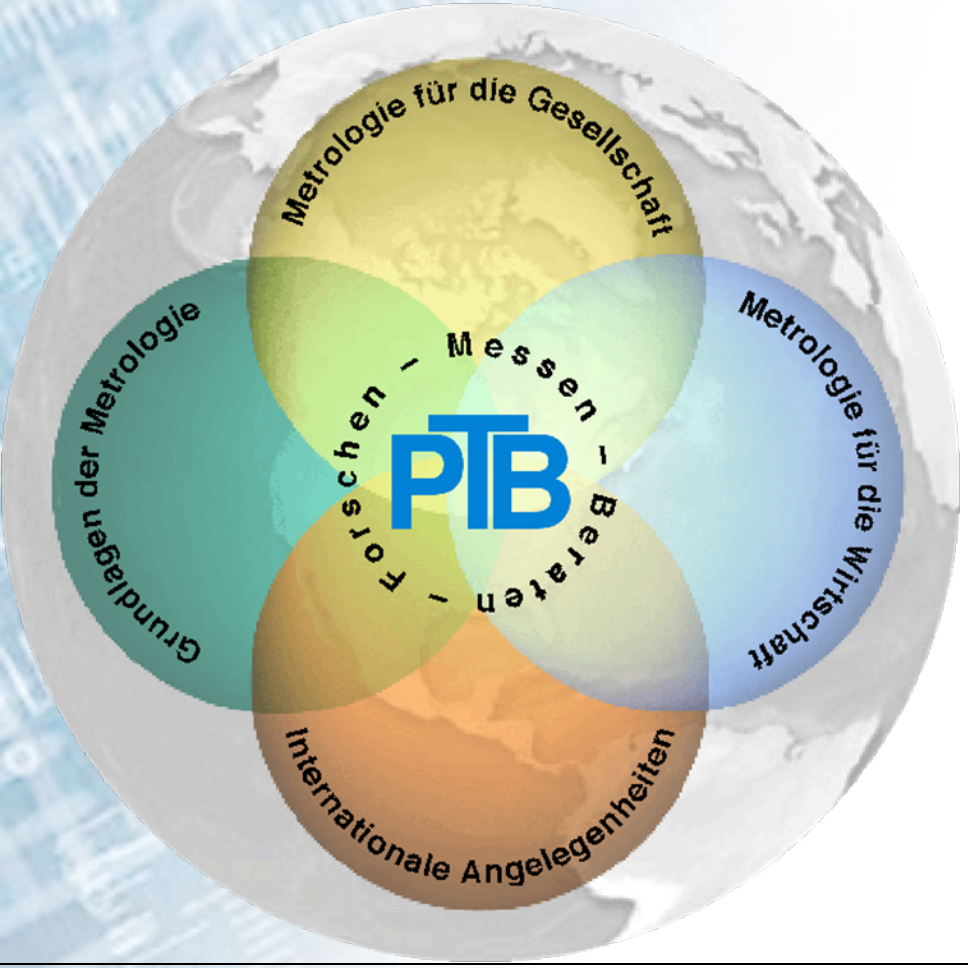
(ca. 1500 Mitarbeiter in Braunschweig)

Die PTB … (Fachabteilungen in Berlin)

- Temperatur und Synchrotronstrahlung
- Medizinphysik und metrologische Informationstechnik

(ca. 400 Mitarbeiter in Berlin)

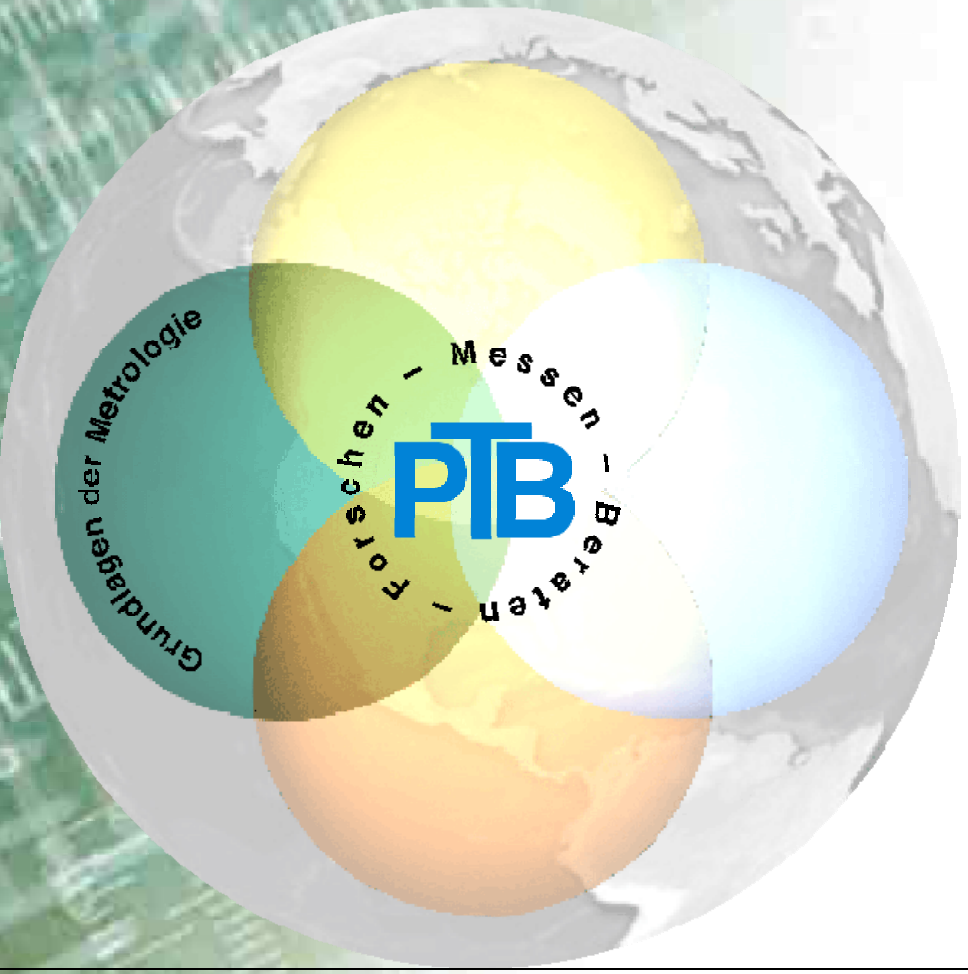
Geschäftsbereiche / Ziele



- **Grundlagen der Metrologie**
  Darstellung und Weitergabe der SI-Einheiten
- **Metrologie für die Wirtschaft**
  Leistungssteigerung der Wirtschaft, Sicherung der Beschäftigung
- **Metrologie für die Gesellschaft**
  Förderung des Verbraucherschutzes, Sicherung der Lebensbedingungen
- **Internationale Angelegenheiten**
  Abbau technischer Handelshemmnisse, Vereinheitlichung des Messwesens

Grundlagen der Metrologie

Maßeinheiten darstellen, bewahren und weitergeben



- Forschung
  Grundlagenforschung mit metrologischer Relevanz
  - Konstanten
    Rückführung der SI-Einheiten auf Fundamental- und Naturkonstanten
  - Quanteneffekte
    Nutzung von Quanteneffekten zur Darstellung der Einheiten
- Primärnormale
  Entwicklung und Bereitstellung
- Sekundär- und Transfernormale
  Weitergabe der Einheiten

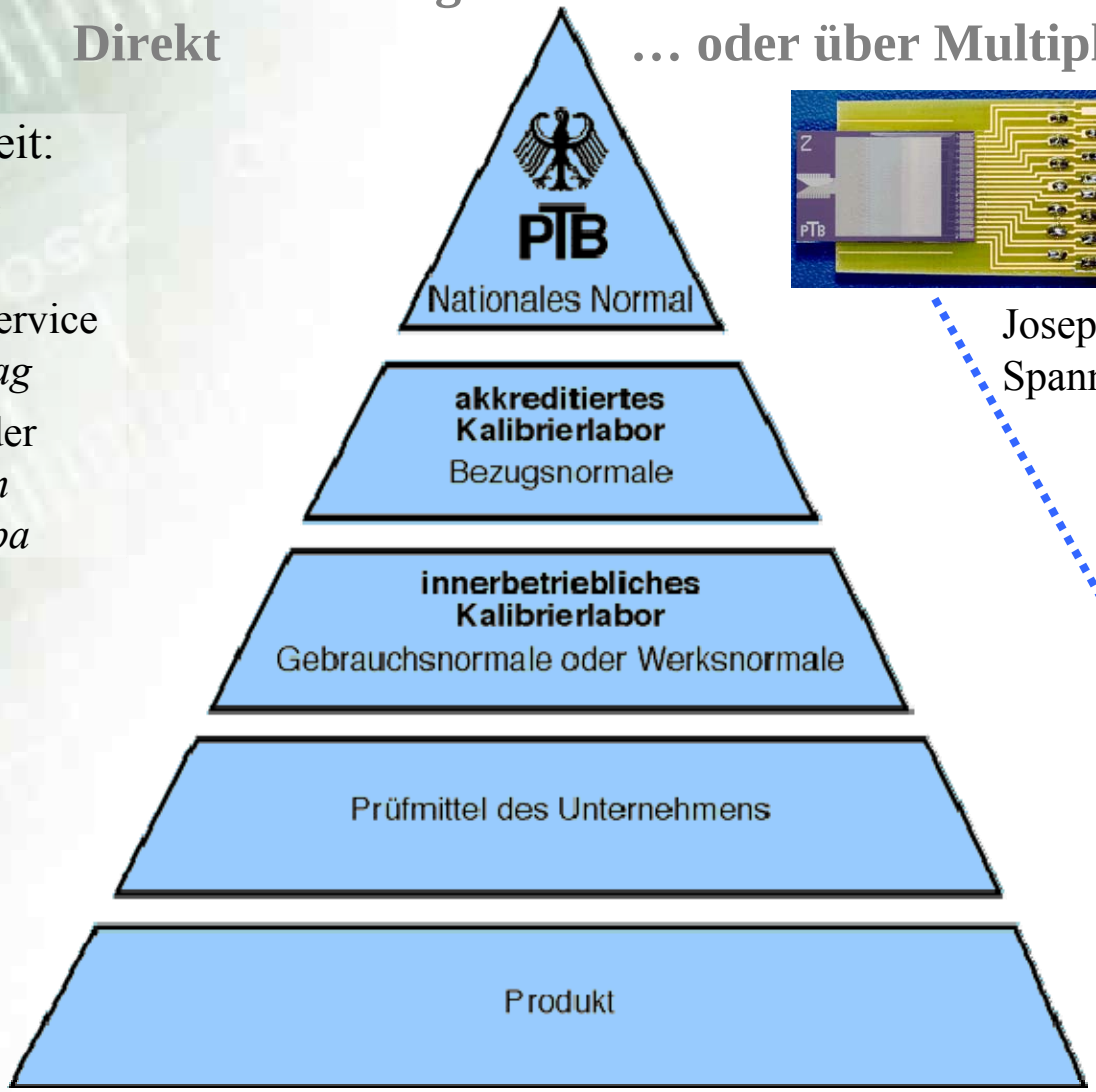
Grundlagen der Metrologie

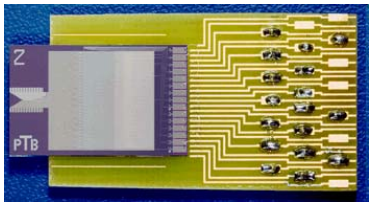
Weitergabe der Einheiten

Direkt **… oder über Multiplikatoren**

Verbreitung der PTB-Zeit:

- Telefon/Modem Service
  1000 Anrufe pro Tag
- Internet-Informations-Service
  200 Mio. Zugriffe pro Tag
- DCF77 Langwellensender
  >100 Mio. Empfänger in Deutschland und Europa

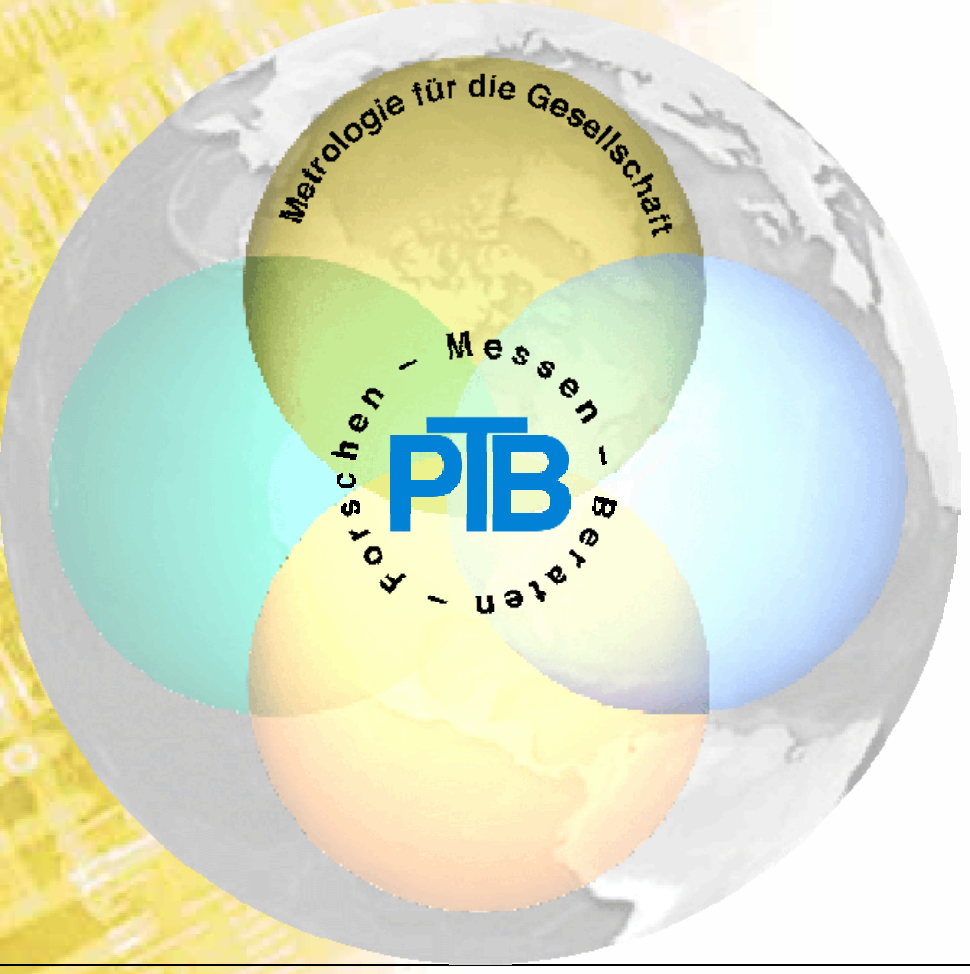




Josephson-Spannungsnormal

Metrologie für die Gesellschaft

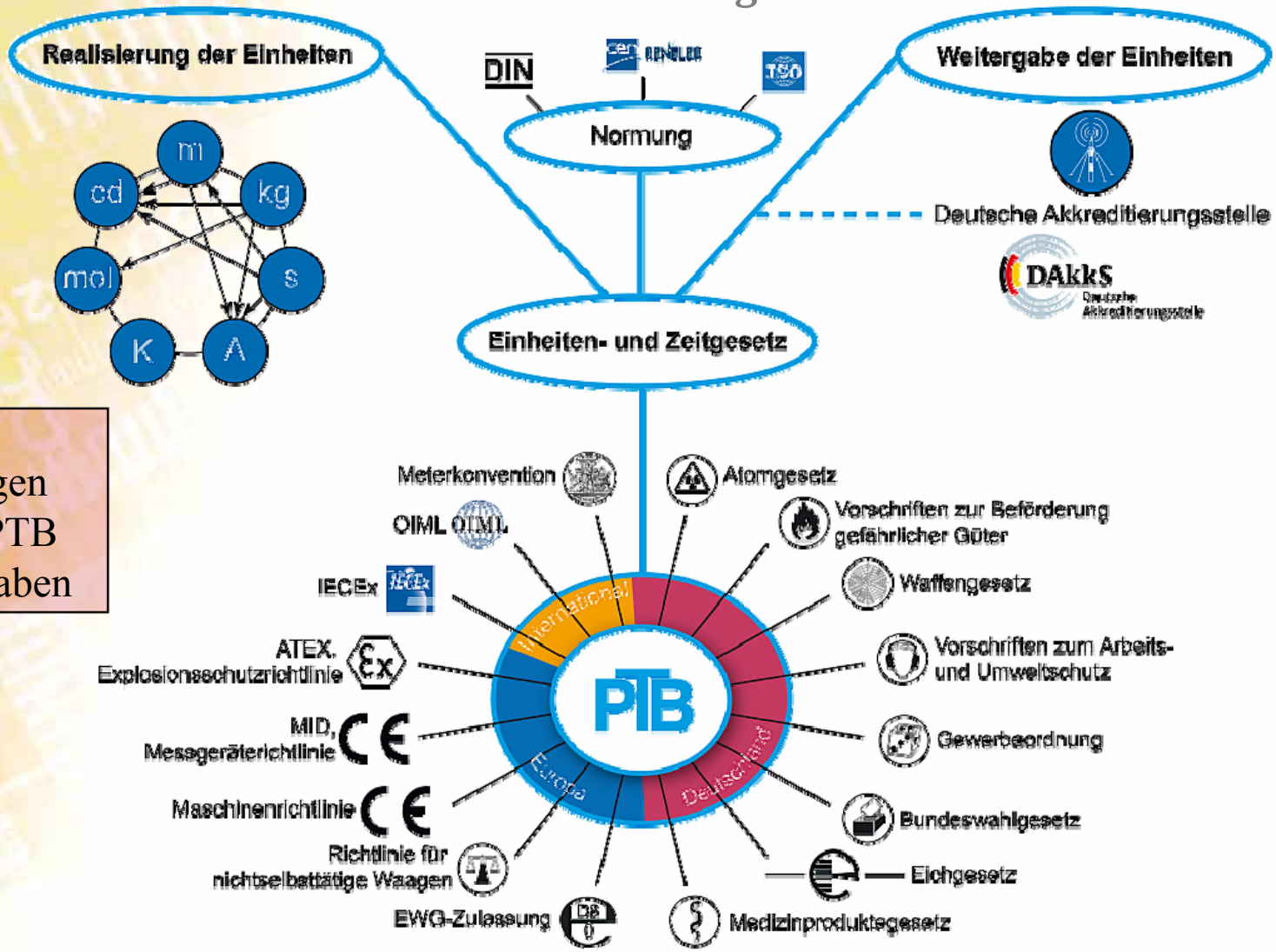
Mensch, Natur und Umwelt schützen
Verbraucherschutz



- **Eichgesetz**
  Bauartzulassung und Prüfung von Messgeräten
- **Medizin**
  Dosimetrie ionisierender Strahlung
  Messverfahren für Diagnose und Therapiekontrolle
- **Explosionsschutz**
  Physikalische Sicherheitstechnik und Ex-Schutz elektrischer Betriebsmittel
- **Umweltmesstechnik**
  z.B. Schadstoff- und Spurenanalyse, Lärmschutz

Metrologie für die Gesellschaft

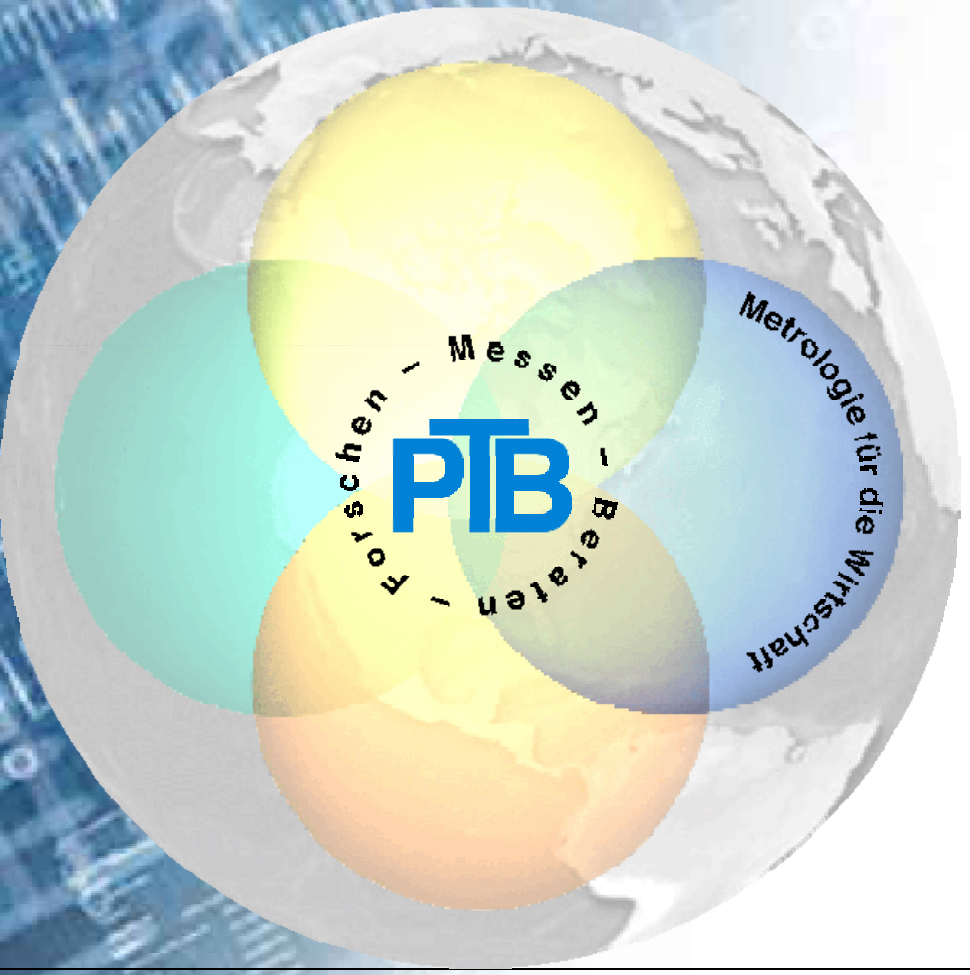
Gesetzliche Aufgaben



23 Gesetze
und Verordnungen
übertragen der PTB
spezifische Aufgaben

Metrologie für die Wirtschaft

Wirtschaft fördern und Beschäftigung sichern

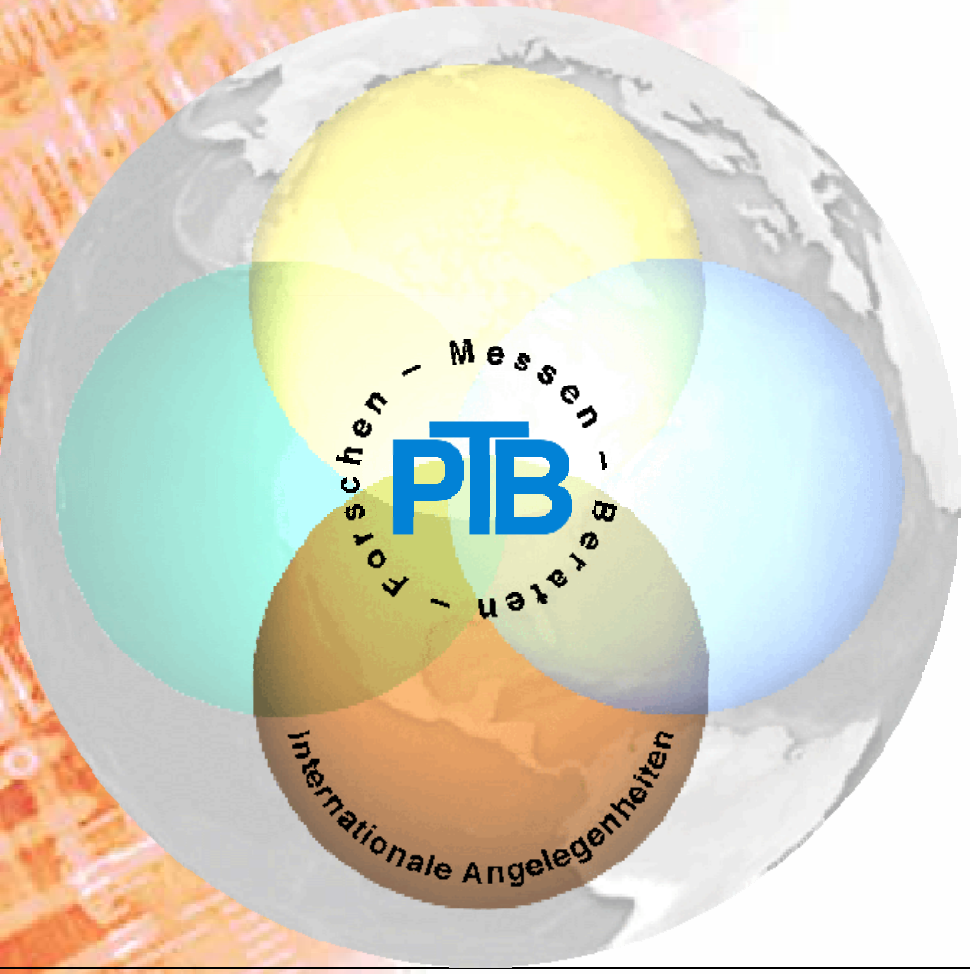


Kalibrierungen und Prüfungen/ Forschungs- und Entwicklungs-Kooperationen mit:

- Maschinenbau, Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie
  Mechanische Größen, Koordinaten, ...
- Optische Industrie
  Charakterisierung optischer Komponenten, ...
- Halbleiterindustrie, Elektronik, Kommunikationstechnologie
  elektrische Größen, Nanometrologie, ...
- Chemische und pharmazeutische Industrie
  Rückführung in der chemischen Analytik, ...
- Medizinische Industrie
  Geräte, Verfahren, Systeme, ...

Internationale Angelegenheiten

Das Messwesen vereinheitlichen und Handelshemmnisse abbauen



- Globale Metrologie
  Kooperationen mit ausländischen Metrologieinstituten
  Internationale Vergleichsmessungen
- Gremienarbeit
  Mitarbeit in internationalen Gremien
  Meterkonvention, EURAMET,
  Gesetzliches Messwesen,
  Normungsgremien
- Technische Zusammenarbeit
  Hilfe für und Zusammenarbeit mit
  Entwicklungs- und Schwellenländern

Was zeichnet die PTB aus?

Die PTB ist *keine typische* Behörde:

- 60 % Forschung / Entwicklung
- 30 % Kalibrierung / Dienstleistung
- 10 % Beratung / Gremienarbeit

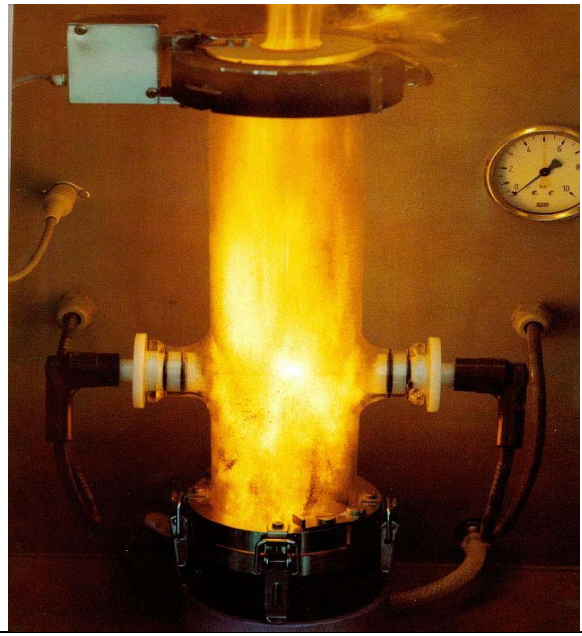
Die PTB ist *kein typisches* Forschungsinstitut:

- Sie hat eine Grundbeauftragung von Verfassungsrang: Die Sicherstellung der Einheitlichkeit des Messwesens in Deutschland
- Eigene Forschung ist notwendig aufgrund höchster technologischer Anforderungen
- Viele ihrer Aufgaben sind speziell gesetzlich geregelt

- Die PTB ist wesentlicher Teil der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur Deutschlands

Bauartprüfung und -zulassung

- Ziviles Beschusswesen (Bauartzulassungen von Schussapparaten)
- Bauartprüfung und -zulassung von Geld- und Warenspielautomaten gemäß Gewerbeordnung und Spielverordnung
- Explosionsschutz (Prüfung einer Detonationssicherung , Untersuchung der Entzündbarkeit von Pulverlacken)

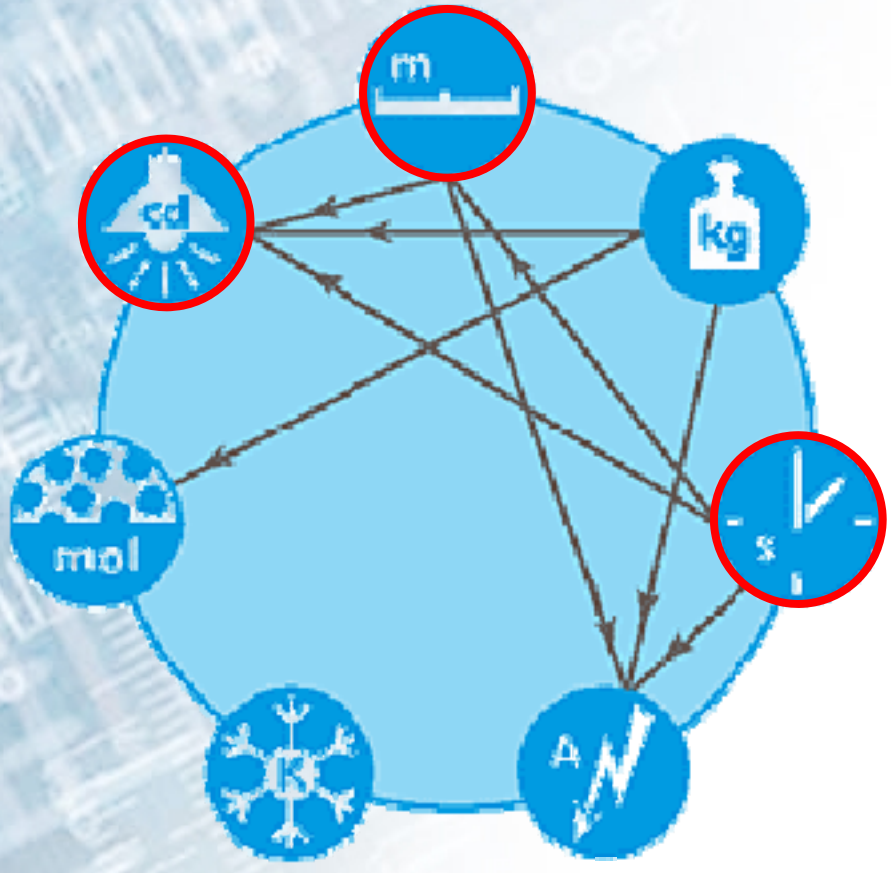


Die PTB … (Abteilung 4 “Optik“)

Abteilung 4
Optik
Dr. F. Riehle
Tel.: 4010

Fachbereich 4.1 Photometrie und angewandte Radiometrie Dr. K. Stock Tel.: 4100	AG 4.11 Strahlergestützte Spektroradiometrie Dr. S. Nevas Tel.: 4115	AG 4.12 Photometrie Dr. A. Sperling Tel.: 4120	AG 4.14 Solarzellen Dr. S. Winter Tel.: 4140	AG 4.15 Goniophotometrie M. Lindemann Tel.: 4125
Fachbereich 4.2 Bild- und Wellenoptik Dr. E. Buhr Tel.: 4200	AG 4.21 Form- und Wellenfrontmetrologie Dr. M. Schulz Tel.: 4210	AG 4.22 Quantitative Mikroskopie Dr. E. Buhr Tel.: 4200	AG 4.23 Höchstauflösende Mikroskopie Dr. B. Bodermann Tel.: 4222	
Fachbereich 4.3 Quantenoptik und Längeneinheit Dr. H. Schnatz Tel.: 4300	AG 4.31 Längeneinheit Dr. H. Schnatz Tel.: 4311	AG 4.32 Quantenoptik mit kalten Atomen Dr. U. Sterr Tel.: 4312	AG 4.33 Röntgenoptik Dr. U. Kuetgens Tel.: 4330	
Fachbereich 4.4 Zeit und Frequenz Dr. E. Peik Tel.: 4400	SeSc 4.40 Fachgebiet Optische Frequenznormale Dr. C. Tamm Tel.: 4415	AG 4.41 Zeitnormale Dr. S. Weyers Tel.: 4416	AG 4.42 Zeitübertragung Dr. A. Bauch Tel.: 4420	AG 4.43 Optische Uhren mit einzelnen Ionen Dr. E. Peik Tel.: 4400
Fachbereich 4.5 Optische Technologien Prof. Dr. S. Kück Tel.: 4500	AG 4.51 Spektrometrie und mikrooptische Messtechnik Dr. A. Schirmacher Tel.: 4510	AG 4.52 Reflektometrie Dr. A. Höpe Tel.: 4520	AG 4.53 Optische Femtosekundenmetrologie Dr. H. Telle Tel.: 4530	AG 4.54 Laserradiometrie Prof. Dr. S. Kück Tel.: 4502

SI-Basiseinheiten (in der Abteilung 4 “Optik“)

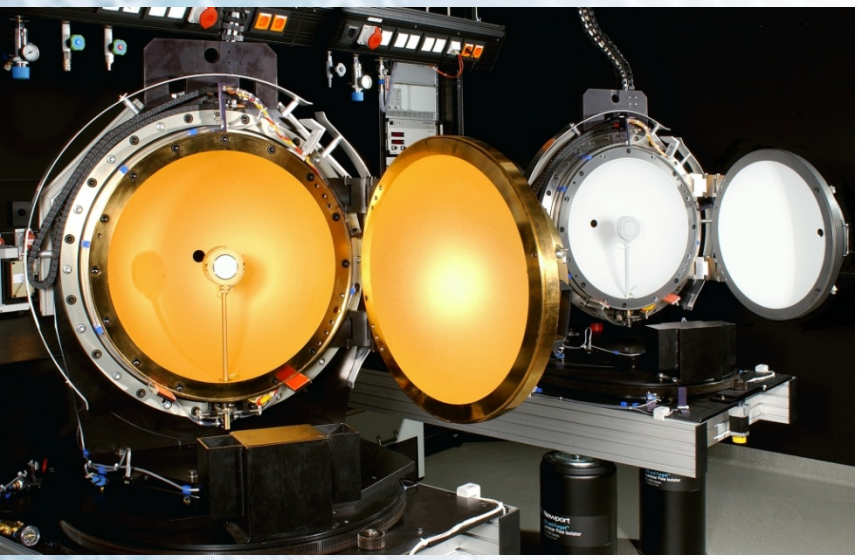


- **Das Candela: [cd]**
  4.12 “Photometrie“
- **Das Meter: [m]**
  4.31 „Längeneinheit“
- **Die Sekunde: [s]**
  4.41 „Zeitnormale“

Atomuhren (in der Abteilung 4 “Optik“)

- Sommerzeit: **25.03.12, 02:00h**
- Schaltsekunde: **01.07.12, 01:59h 59s**

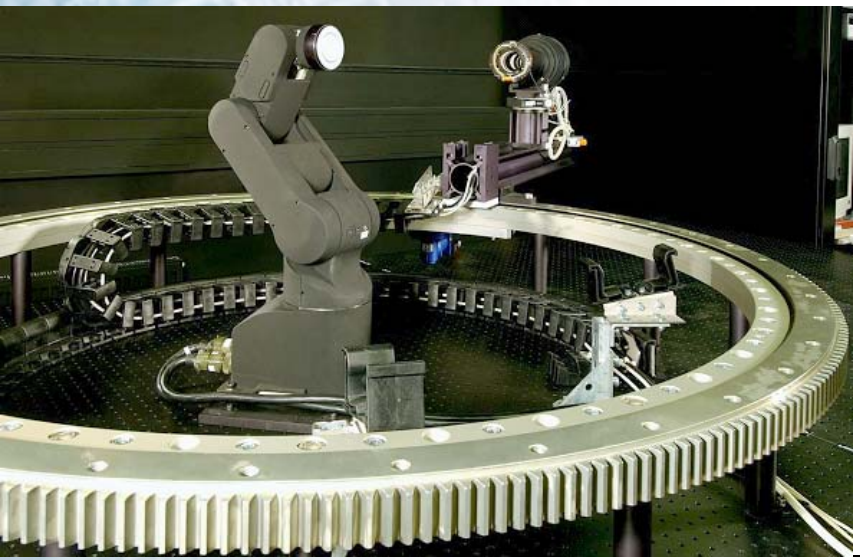
AG 4.52 “Reflektometrie“



Realisierung, Bewahrung und Weitergabe der Skalen der diffusen Reflexion, standardisierendes Laboratorium der ISO

- Messung des (absoluten) spektralen Strahldichtefaktors, für:

- Kugelgeometrien (d:0 – d:10), λ = 250 nm – 2450 nm



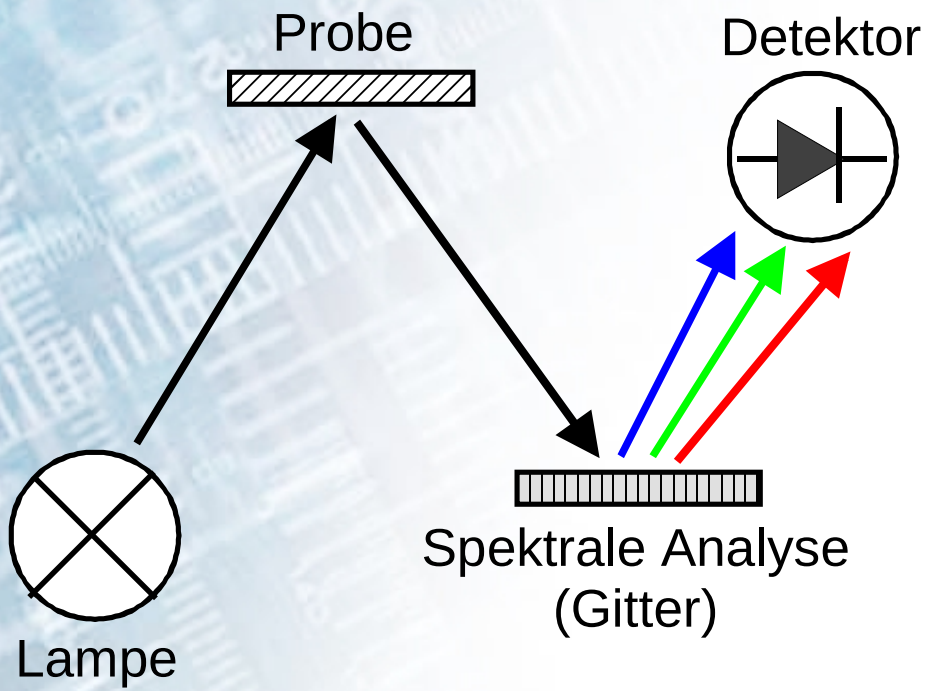
- Bidirektionale Geometrien mit roboter-basiertem Gonioreflektometer (Realisierung beliebiger Einfalls- und Reflexionswinkel), λ = 250 nm – 1850 nm

AG 4.52 “Reflektometrie“

Kunden für Kalibrierungen

- Andere NMI`s ohne eigene absolute Reflexionsskala
- Papier-, Textil- und Farbindustrie
- Firmen mit radiometrisch und photometrischer Produktpalette
  - Hersteller von Spectrophotometern, Farbmessgeräten
- Automobilindustrie
- Forschungsinstitute
  - Messungen für die radiometrische Kalibrierung von Instrumenten für Fernerkundungssatelliten
  - Appearance-Messungen an Farbmustern

Reflektometrie (Meßprinzip in der PTB)



Messprinzip für diffuse Reflexionsgeometrien:

- Polychromatische Einstrahlung auf die Probe, monochromatische Detektion (mittels eines Monochromators)
- Spiegeloptik

Begriffe in der Reflektometrie

Reflexionskennzahlen

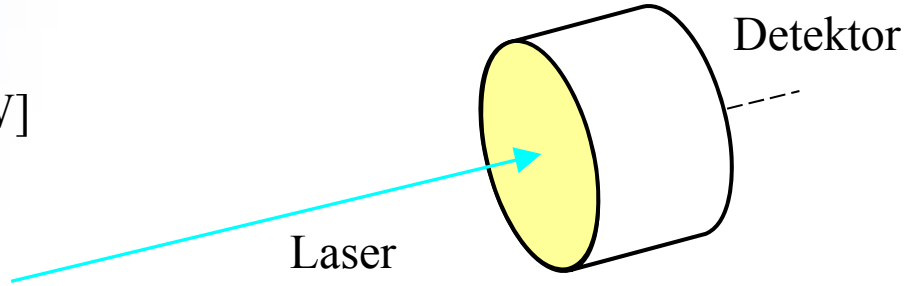
DIN 5036/1: „Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien (Begriffe, Kennzahlen)“

- Reflexionsgrad
- Strahldichtefaktor
- Strahldichtekoeffizient (BRDF)
- Rückstreuwert (für Retroreflektoren)
- Reflexionsfaktor
- Reflektometerwert

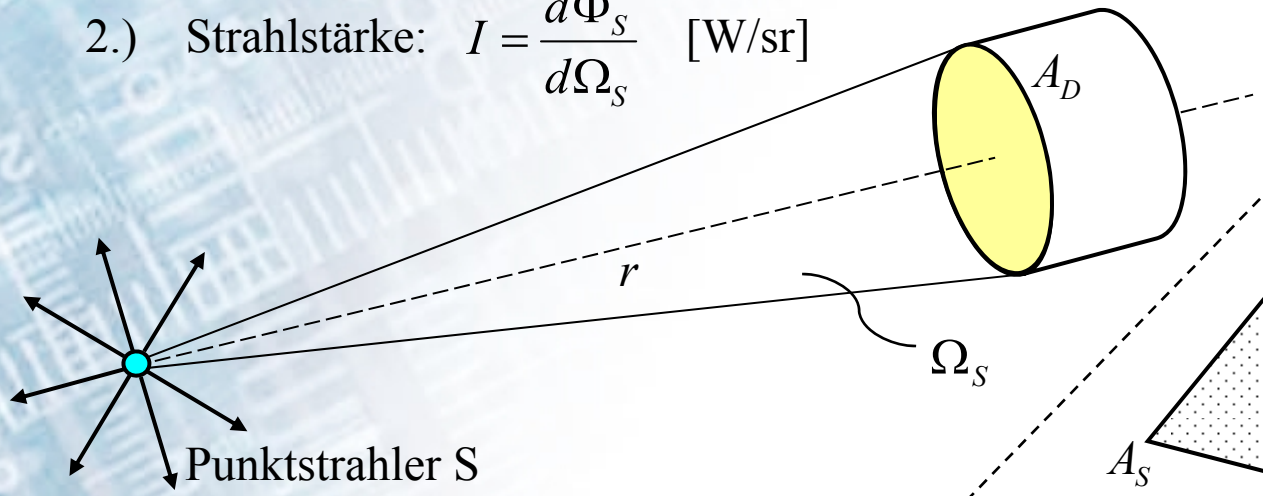
} alles dimensionslose Größen

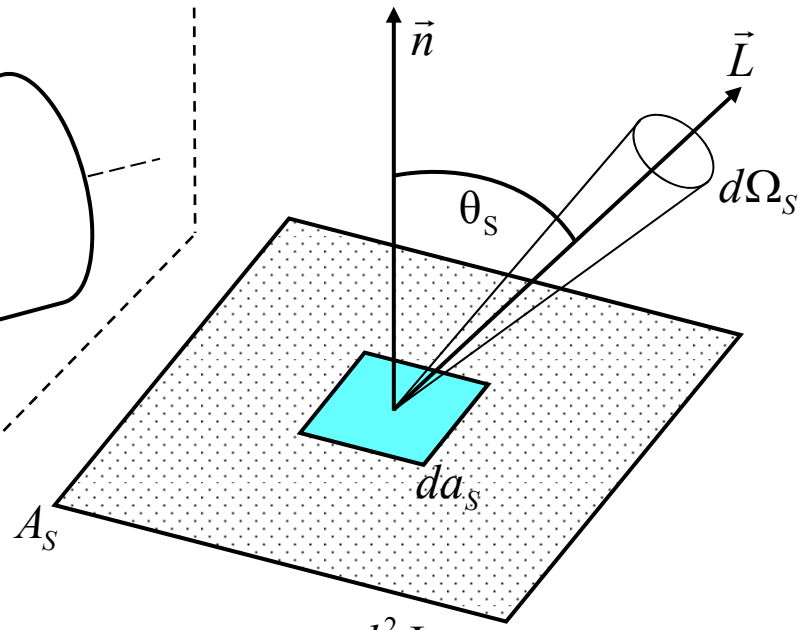
Reflexionskennzahlen, Grundlagen

1.) Φ: Strahlungsleistung: $\Phi = \dfrac{dQ}{dt}$ [W]



2.) Strahlstärke: $I = \dfrac{d\Phi_S}{d\Omega_S}$ [W/sr]





3.) Strahldichte: $L = \dfrac{d^2\Phi}{d\Omega_S da_S \cos\theta_S}$ [W/sr·m²]

Reflexionskennzahlen

- **Reflexionsgrad** **(reflectance)**

  Verhältnis der (des) reflektierten Strahlungsleistung (Lichtstroms) zu der (dem) einfallenden Strahlungsleistung (Lichtstrom).

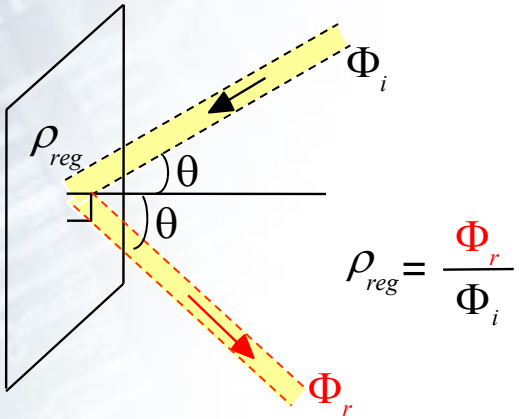
Formelzeichen: ρ

$$\rho(\lambda) = \frac{\Phi_{e\lambda\rho}}{\Phi_{e\lambda}}$$

Φ : Strahlungsleistung [W]

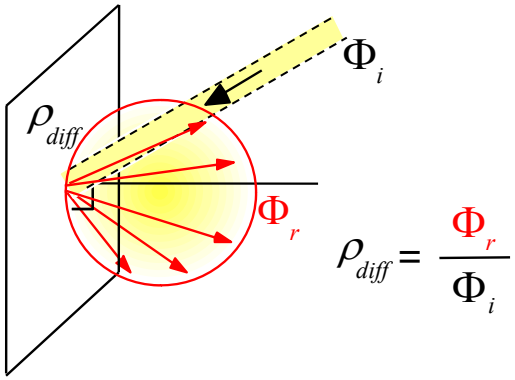
Anmerkung: Die auf ein Material fallende Strahlung kann gerichtet, gestreut oder gemischt reflektiert werden.

Reguläre (spekulare) Reflektion



$$\rho_{reg} = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$$

Diffuse Reflektion



$$\rho_{diff} = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$$

Absolut mattweißer Körper

Der absolut mattweiße Körper (Perfekt Reflektierender Diffusor: PRD) ist ein theoretisches Konzept in der Radiometrie/Photometrie. Er reflektiert definitionsgemäß die auf ihn auftreffende Strahlung verlustfrei, vollständig diffus und mit einer lambertschen Richtungscharakteristik. Da es sich beim PRD jedoch nur um ein theoretisches Konzept handelt, welches experimentell bzw. materiell nicht realisiert werden kann, erfolgt die Realisierung eines Primärnormals mit physikalischen Methoden, d.h. durch die Messapparatur selbst, im Rahmen einer Absolutmessung.

Ideal mattweißer Körper (alle in Aufsicht gemessenen Körperfarben müssen auf die ideal mattweiße Fläche bezogen werden, welche die auffallende Strahlung unabhängig vom Winkel mit einem Reflexionsgrad $\rho=1$ reflektiert. Der perfekt reflektierende Diffusor (PRD) ist der ultimative Standard der Spektrofotometrie. Technisch ist der ideal mattweiße Körper nicht realisierbar!)

↓

Primärstandard (erster materialisierter Standard, dessen Reflexionseigenschaften durch radiometrische Messungen bestimmt werden. Die Durchführung der Messungen erfolgt meist an nationalen Instituten (z.B. PTB).)

↓

Transferstandard (Standard, dessen Reflexionseigenschaften durch Vergleichsmessungen mit einem Primärstandard bestimmt werden.)

↓

Arbeitsstandard (für den täglichen Gebrauch einzusetzender zertifizierter Weißstandard aus verschleißfestem Material. Die spektralen Reflexionseigenschaften des Arbeitsstandards müssen bekannt und auf einen Primärstandard rückführbar sein.)

Reflexionskennzahlen

- **Reflexionsfaktor** **(reflectance factor)**

  Verhältnis der (des) in einen gegebenen Raumwinkel reflektierten Strahlungsleistung (Lichtstroms) zu der Strahlungsleistung (dem Lichtstrom), die (der) in den gleichen Raumwinkel durch das vollkommen mattweiße, in gleicher Weise bestrahlte (beleuchtete) Material reflektiert wird.

Formelzeichen: R

$$R(\lambda) = \frac{I_i(\lambda)}{I_r^{PRD}(\lambda)}$$

I : Strahlstärke [W/sr]

Anmerkung 1: Der Reflexionsfaktor kann größer als 1 werden, wenn der Raumwinkel in dem gemessen wird, das Spiegelbild der Strahlungsquelle enthält.

Anmerkung 2: Wenn die Größe des Raumwinkels, in welchem gemessen wird, den Wert 2π sr (Halbraum) annimmt, geht der Reflexionsfaktor in den Reflexionsgrad über.

Es gilt: $\Omega \rightarrow 0$,
Reflektionsfaktor $\rightarrow$ Strahldichtefaktor $(\boldsymbol{R} \rightarrow \beta)$

Es gilt: $\Omega = 2\pi$,
Reflektionsfaktor = diffuser Reflexionsgrad $(\boldsymbol{R} = \rho)$

Reflexionskennzahlen

- **Strahldichtefaktor (Leuchtdichtefaktor)** **(radiance factor)**

  Verhältnis der Strahldichte (Leuchtdichte) des Materials zu der Strahldichte (Leuchtdichte) des vollkommen mattweißen Materials bei Reflexion, das in gleicher Weise bestrahlt (beleuchtet) wird.

Formelzeichen: β

$$\beta = \frac{L_r(\phi_i, \Theta_i, \phi_r, \Theta_r, \lambda)}{L_r^{PRD}}$$

L : Strahldichte [W/sr ·m²]

Der Strahldichtefaktor wurde früher auch als Remissionsgrad bezeichnet.

Von der CIE, der internationalen Beleuchtungskommission, werden drei Geometrien für die Messung des Leuchtdichtefaktors empfohlen: 45:0, 0:45 und d:0.

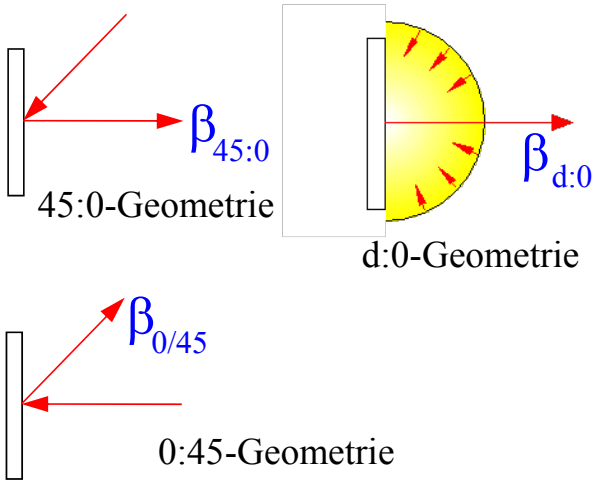
- Für absolut mattweißen Körper gilt:

  $\beta = 1$

- Für lambertschen Strahler gilt:

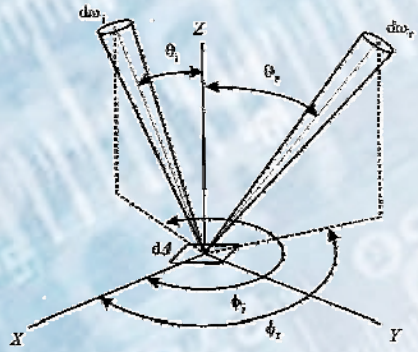
  $\beta = \rho$

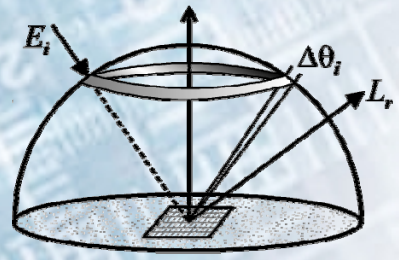
- β kann > 1 werden

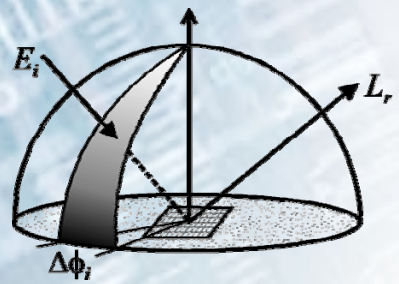


Reflexionskennzahlen

BRDF







- **Strahldichtekoeffizient (Leuchtdichtekoeffizient)**

(radiance coefficient, BRDF)

(an einem Flächenelement auf der Oberfläche eines nicht selbststrahlenden (selbstleuchtenden) reflektierenden Materials in einer Richtung, unter gegebenen Bestrahlungs-(Beleuchtungs-)bedingungen)

Verhältnis der Strahldichte (Leuchtdichte) des Materials zu der Bestrahlungsstärke (Beleuchtungsstärke) auf dem Material.

Formelzeichen: q $\quad q(\lambda) = \dfrac{L_\lambda}{E_\lambda} \quad q = \dfrac{L_r(\phi_i, \theta_i, \phi_r, \theta_r, \lambda)}{E_i(\phi_i, \theta_i, \lambda)} \quad [\mathrm{sr}^{-1}]$

Anmerkung 1: Bei Einstrahlung aus nur einer Richtung wird der spektrale Strahldichte-koeffizient auch als spektrale Reflexionsfunktion $\gamma_r(\lambda)$ bezeichnet. Die Reflexionsfunktion beschreibt die Reflexionseigenschaften eines Materials für jedes Paar von Einfalls- und Reflexionsrichtung.

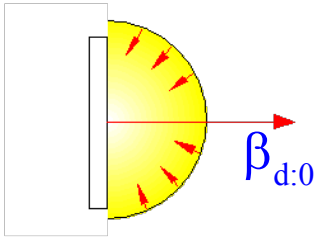
Anmerkung 2: (Internationales Wörterbuch Lichttechnik): Abgesehen davon, dass sie für gerichtet auffallende Bestrahlung definiert ist, entspricht die in den USA gebräuchliche „BRDF“ dem oben genannten Koeffizienten.

Reflexionskennzahlen

Strahldichtefaktor β > 1 ?

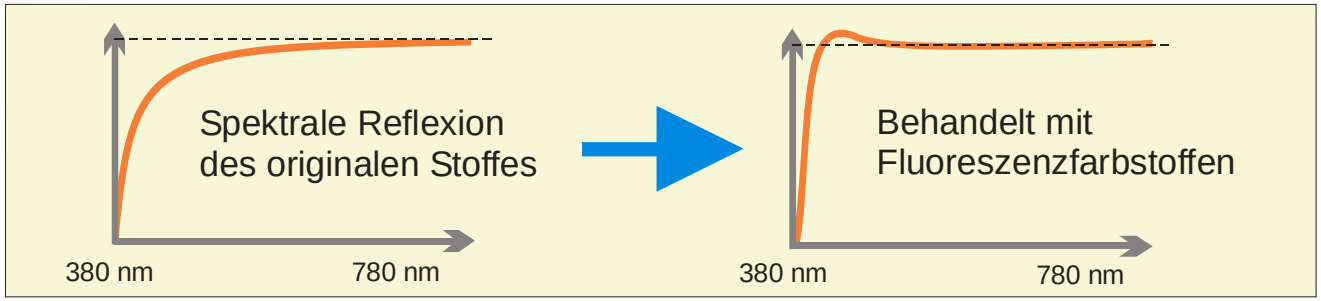
1.) Fluoreszenz

- Für Kugelgeometrien wie z.B. d:0, d:8, 8:d ist β immer kleiner als 1, sonst liegt Fluoreszenz vor



d:0-Geometrie

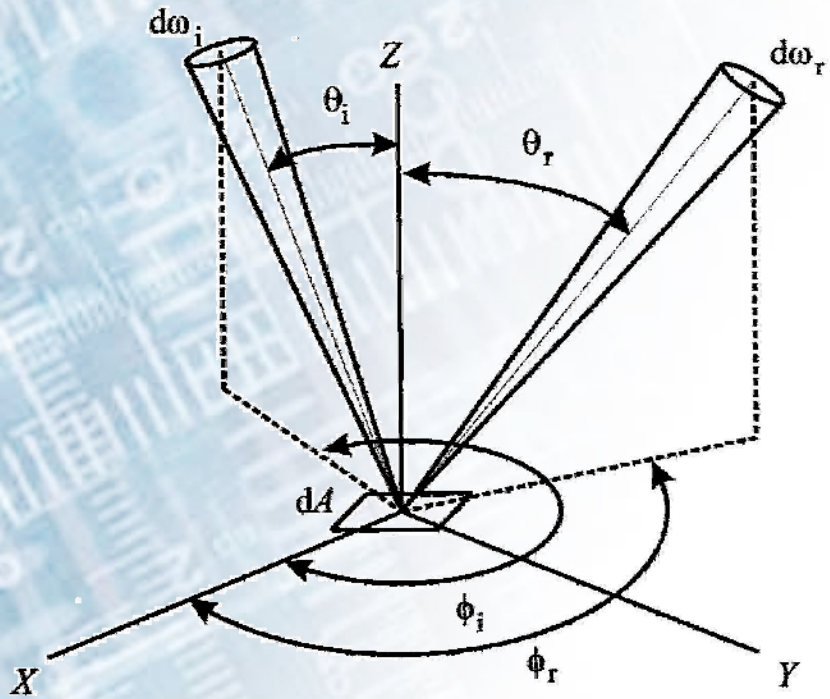
- Spezielle Farben, Fluoreszenzfarbstoffe



Reflexionskennzahlen

Strahldichtefaktor β > 1 ?

2.) Gonioreflektometrie, gerichtet/gerichtete Geometrien

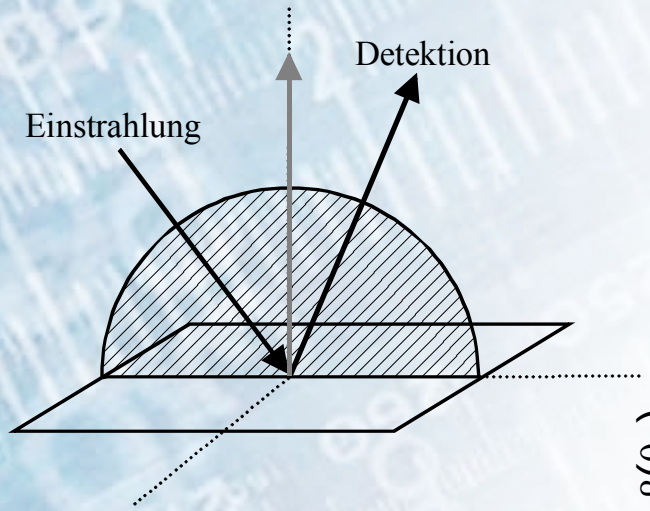


- Normiert wird auf den absoluten mattweißen Körper (PRD) (β = 1, Lambert-Strahler)

$$\Phi_r = \Phi_o \cos \theta_r$$

- Reflektiert ein Material (eine Oberfläche) in der betreffenden Geometrie mit den gegebenen Öffnungswinkeln $d\omega_i$, $d\omega_r$ stärker als der PRD, so kann β > 1 werden.

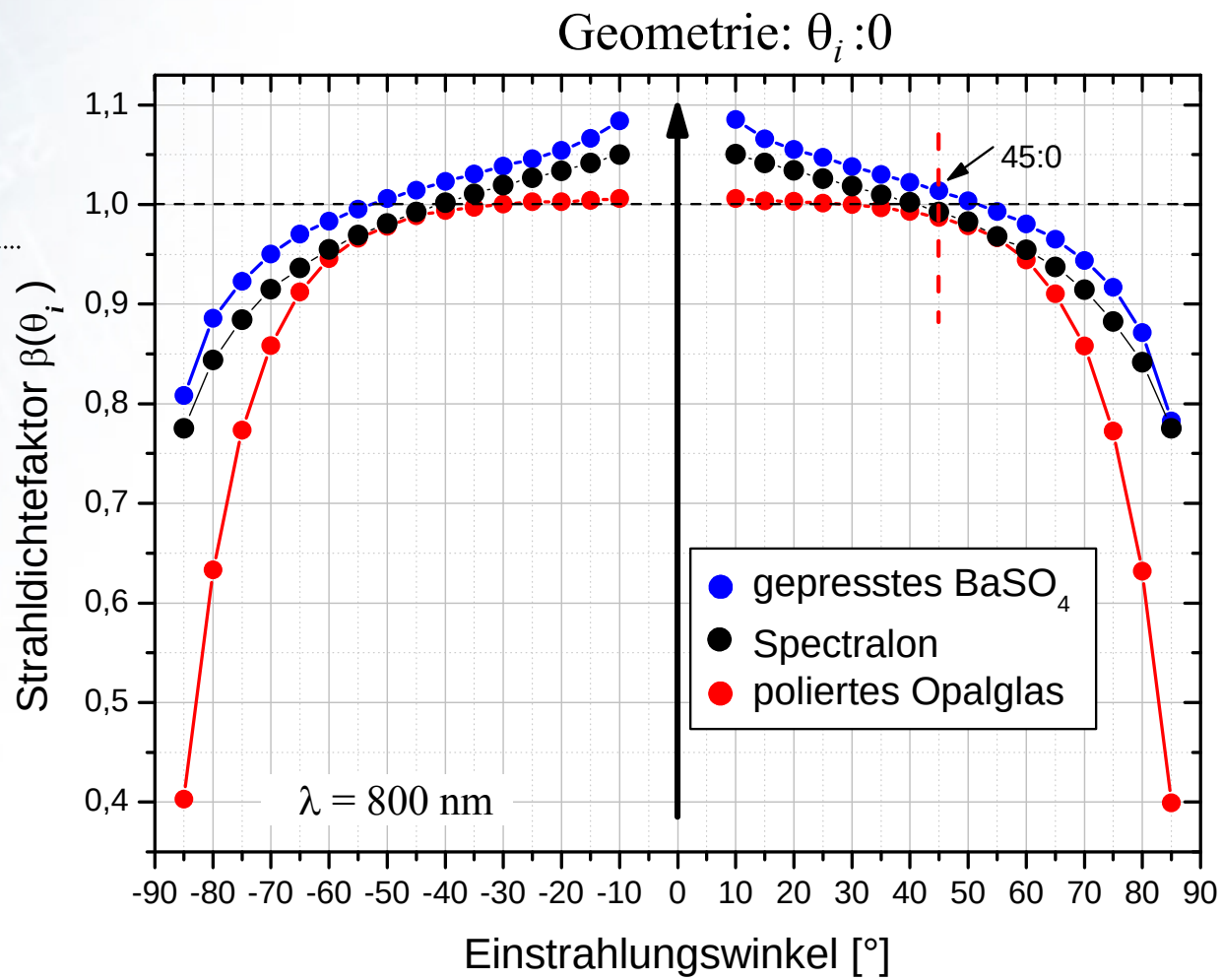
Reflexionskennzahlen (Reflexionsindikatrix)



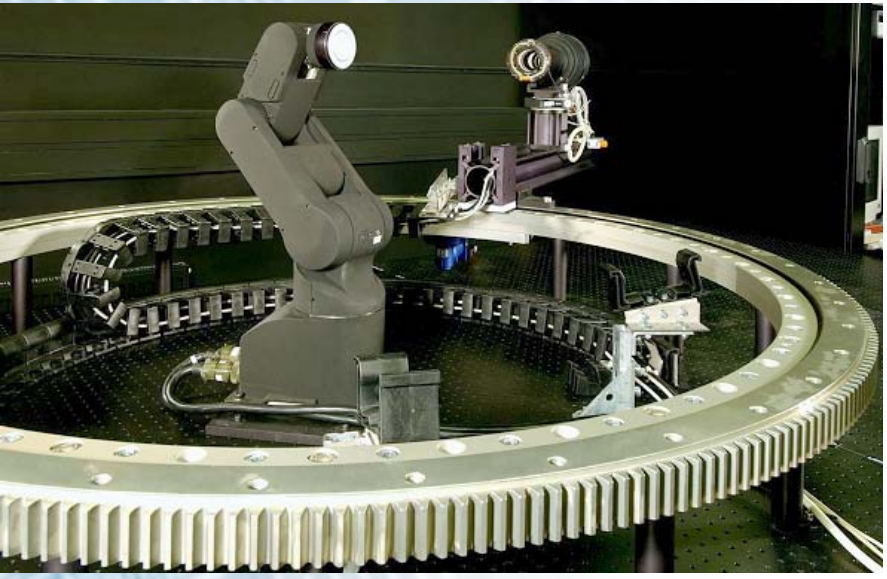
- Für absolut mattweißen Körper gilt:

$$\beta = 1$$

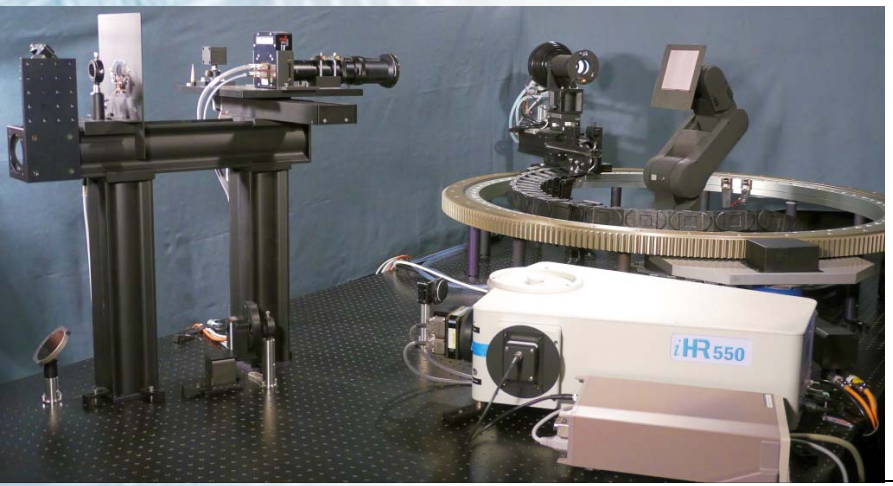
- β kann > 1 werden



Roboter-Gonioreflektometer

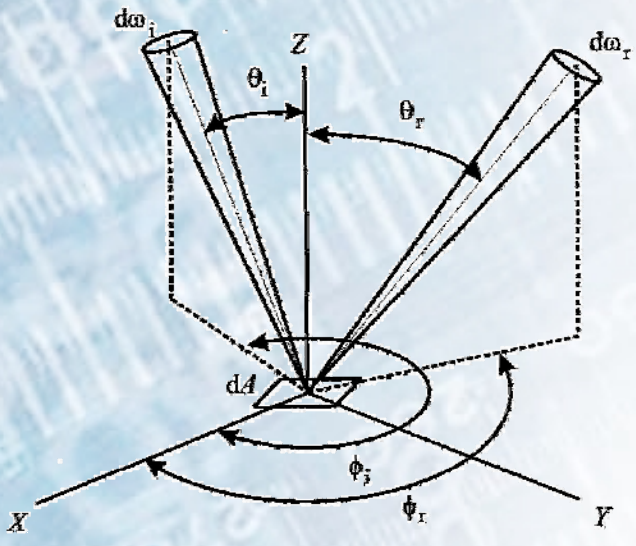


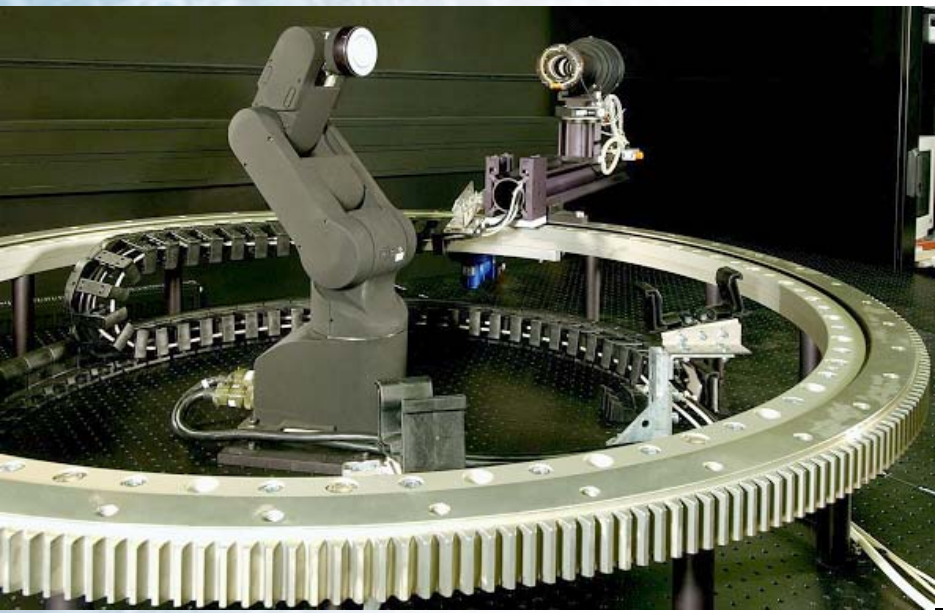
- Roboterbasiertes Gonioreflektometer
  - Kalibrierung von Reflexionsnormalen in beliebigen gerichtet/gerichteten Geometrien (beliebiger Einfalls- und Reflexionswinkel)
  - Fertigstellung 2004



- ARGon^3: 3D Appearance Robot-based Gonioreflectometer
  - Forschung und Entwicklung neuer Messverfahren im Bereich der Gonioreflektometrie
  - Fertigstellung 2010

Roboter-Gonioreflektometer



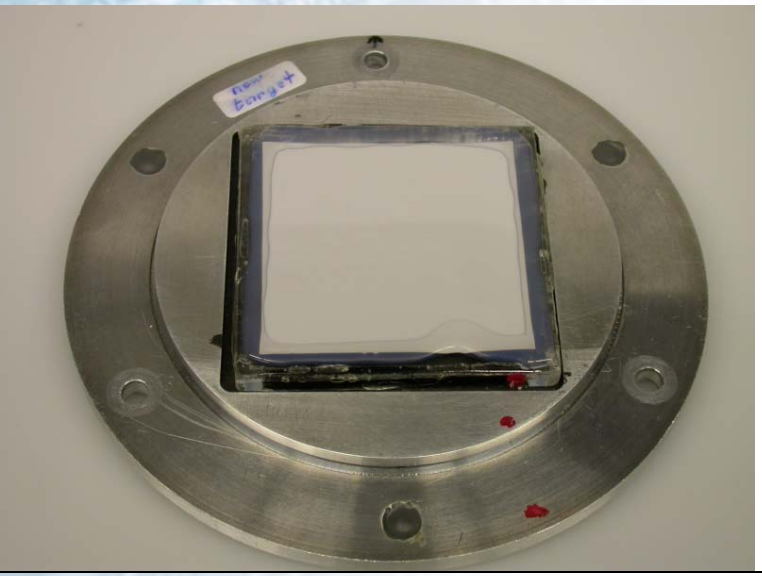


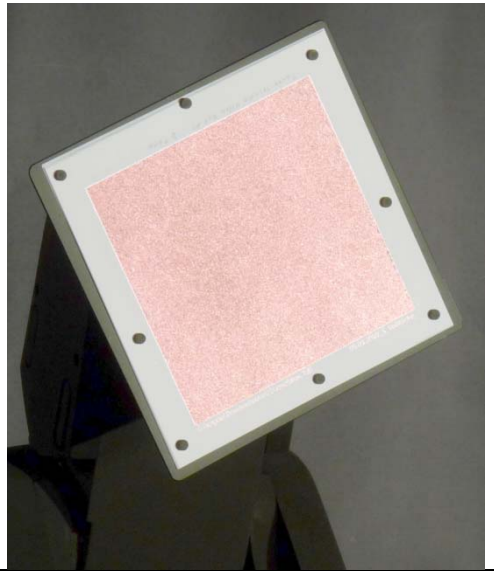
- 5-Achsen Industrieroboter als Probenhalter
- Drehkranz, Ø = 1,6 m,
  Ausleger als Lampenträger
- Wellenlängenbereich:
  250 nm – 1850 nm
- Spektrale Aussonderung im Detektionsarm mit Monochromator
- Spiegeloptik
- Mit dem Roboter, volle Rotation der Proben in θ, ϕ – Richtung möglich, “Out of plane”-Messungen

Roboter-Gonioreflektometer

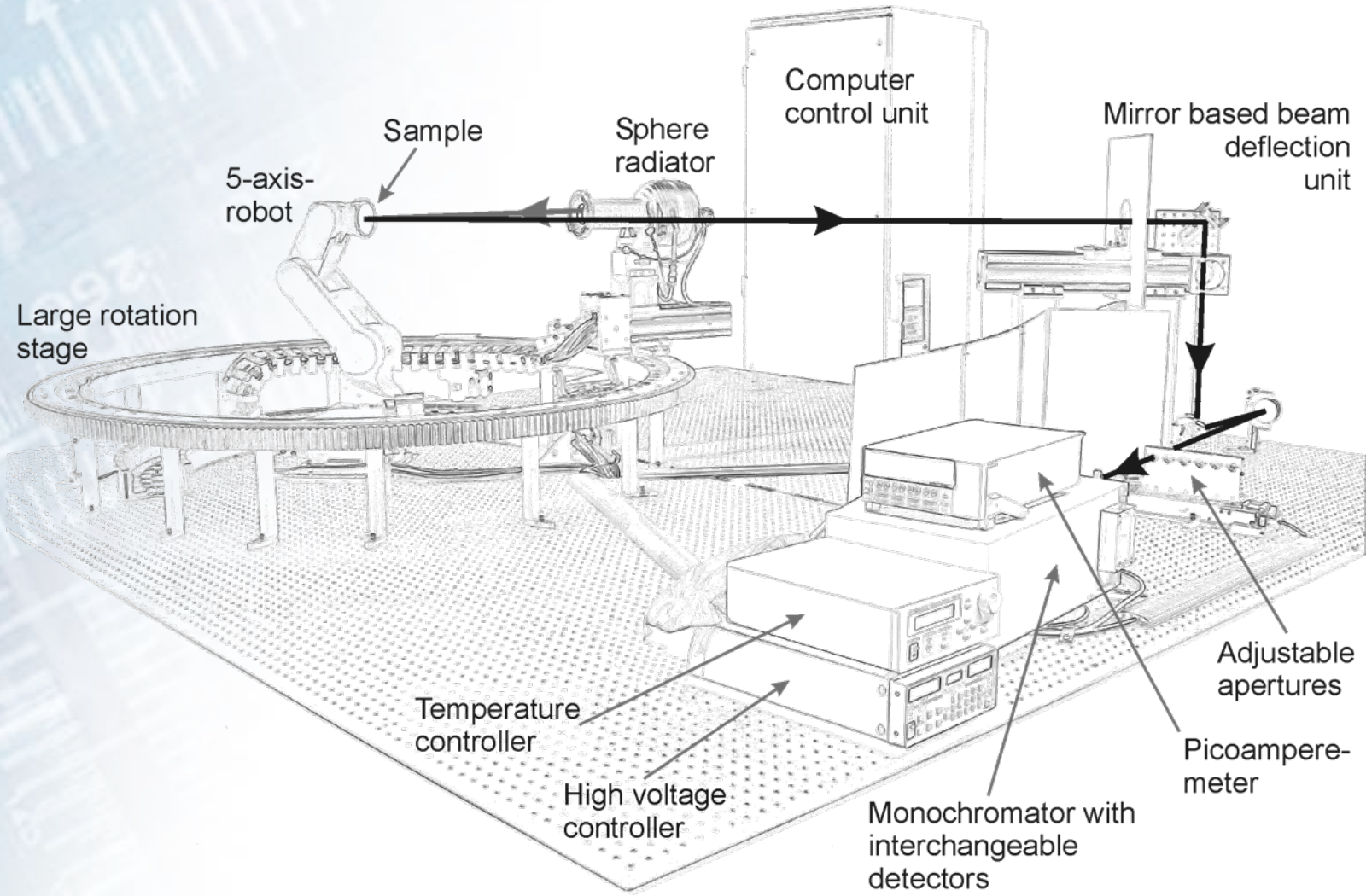
Ideal geeignet zur Messung von außergewöhnlich gestalteten Objekten, wie z.B.:

- Testkörper für Sicherheitssysteme für Hochregalstaplersysteme
- Kalibriernormal (Graustandard) für „Multispectral Image Processing“
- Kalibriernormal für Erdbeobachtungssensoren auf Satelliten
- Papierbögen mit gedruckten Effektpigmenten





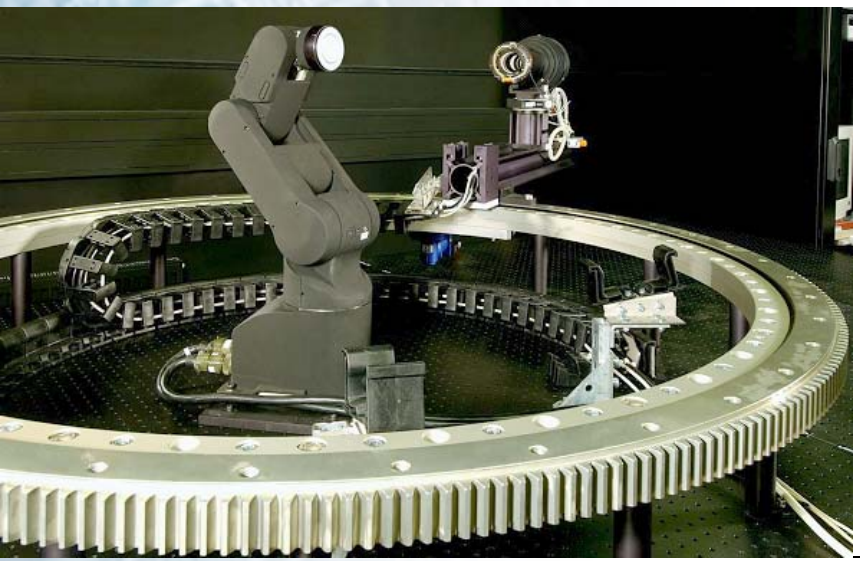
Roboter-Gonioreflektometer



Roboter-Gonioreflektometer

Daten und Unsicherheiten

- Öffnungswinkel, Detektion: 0,32°
  Raumwinkel, Detektion: 96,45 µsr
- Öffnungswinkel, Bestrahlung: 1,5°
  Raumwinkel, Bestrahlung: 2,164 msr
- Abstand, Strahler ↔ Probe: 781,8 mm ± 0,3 mm
- Raumtemperatur: 22,0 °C ± 0,5 °C
- Unsicherheit des Raumwinkels, Bestrahlung: ± 0,09 %
- Unsicherheit Probenwinkel (J1-Achse): ± 0,002°
- Unsicherheit Strahlerwinkel: ± 0,0002°
- Detektor/Verstärker Nichtlinearität (4 Dekaden)
  (Detektor: Hamamatsu S1337-1010BQ): $\pm 1{,}06 \cdot 10^{-4}$



Unsicherheiten für eine Probe mit $\beta \approx 1$:

Unsicherheit ($k = 2$) $u(\beta(\lambda))$ [%]	Wellenlängenbereich [nm]
3,5	$250 \leq \lambda \leq 300$
1,2	$300 < \lambda < 400$
0,5	$400 \leq \lambda \leq 550$
0,2	$550 < \lambda \leq 1650$
0,5	$1650 < \lambda \leq 1700$

“Appearance“ (Was ist das?)

- Appearance ⇔ äußeres (optisches) Erscheinungsbild
- Appearance: *"A visual sensation through which an object is perceived to have attributes such as size, shape, colour, texture, gloss, transparency, and opacity.“*
  CIE: TC 1-65 „Visual Appearance Measurement“

Abhängig von:

- Eigenschaften des Messobjektes (Objektbedingungen)
- Beleuchtungsbedingungen
  (Geometrie von Einstrahlung und Beobachtung)

Beschreibung:

- Reflexionsindikatrix,
  BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function

“Appearance“ Charakterisierung von Effektfarben

- Automobil

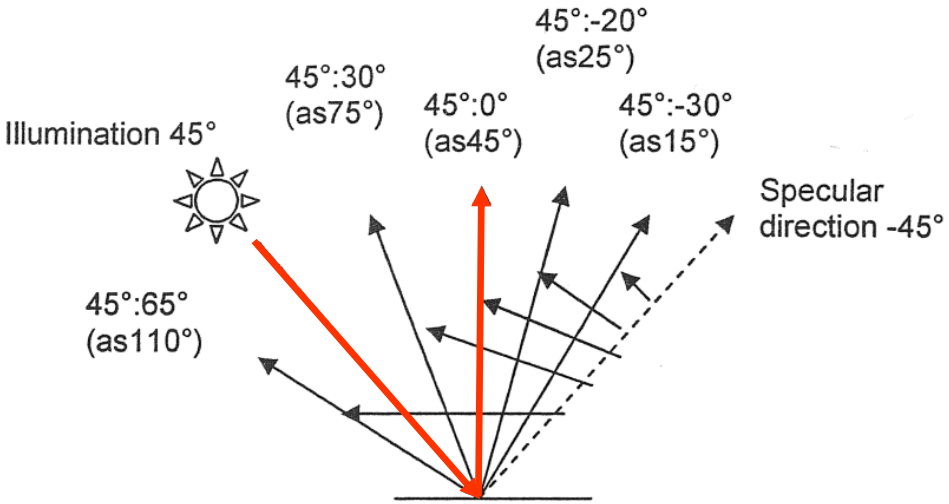
- Architektur

Verwaltungsgebäude, Braunschweig
Aluminium-Verbundplatten,
Alucobond spectra colours

- Druck

„Appearance“
Charakterisierung von Effektlackierungen

- Empfohlene Messgeometrien für Metallic-Lacke



- Ist dieser Satz von fünf Geometrien hinreichend um Effektlackierungen zu charakterisieren?

DIN 6175-2: Farbtoleranzen für Automobillackierungen,
Teil 2: Effektlackierungen

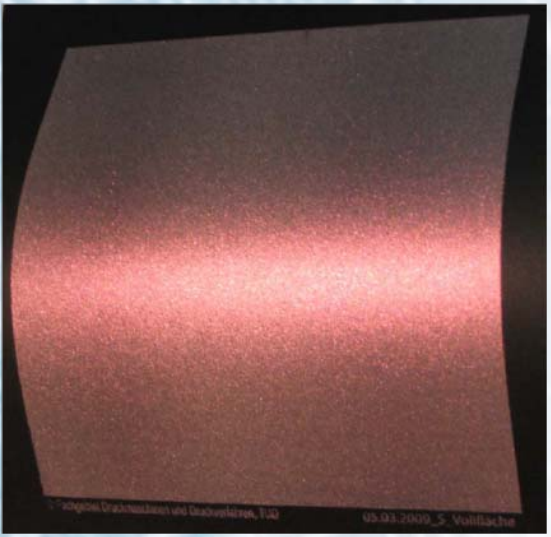
„Appearance“

Begriffe:

- Farbe
- Glanz (Gloss)
- Milchigkeit (Haze)
- Orangenschaleneffekt, Welligkeit (Orange Peel, Wavyness)
- Textur
- Transparenz

Gonioreflektometrie,

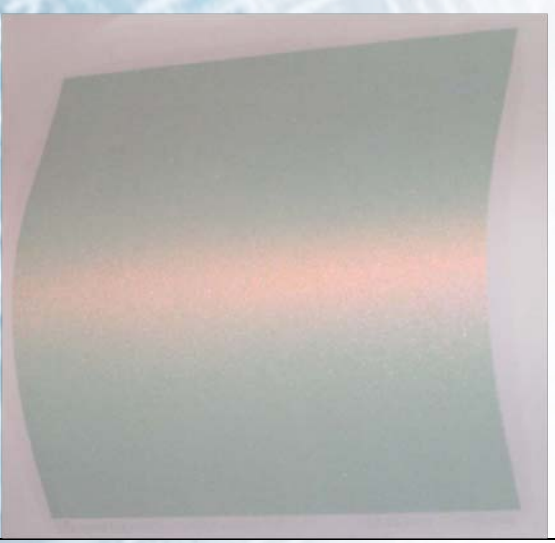
“Appearance“ von gedruckten Effektpigmenten



- **Kooperation mit dem IDD, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren**

- Messung des spektralen Strahldichtefaktors in 14 Geometrien:

- Iriodin 7215 Ultrarot gedruckt auf Pop´Set 87 schwarz



- Iriodin 7215 Ultrarot gedruckt auf Tauro

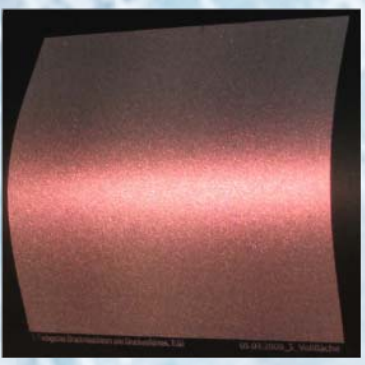
In-plane geometries $\theta_i : \theta_r$ ($\phi_r = 0°$ or $180°$)	Out-of-plane geometries $(\theta_i, \phi_i) : (\theta_r, \phi_r)$
45° : 65°	(45°,0°) : (45°,90°)
45° : 30°	(45°,0°) : (50.14°,146.6°)
45° : 0°	(15°,0°) : (45°,90°)
45° : -20°	(15°,0°) : (50.14°,146.6°)
15° : 0°	
15° : -30°	
45° : -30°	
45° : -60°	
65° : -50°	
65° : -80°	

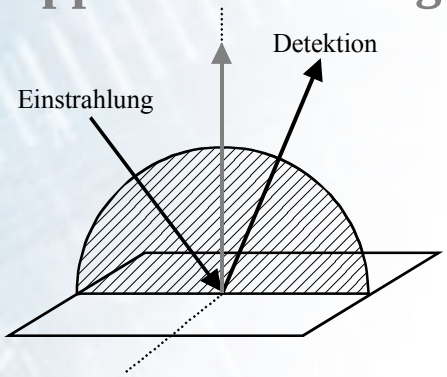
← 45° Aspecular Linie

← Interferenz Linie (±15° vom Glanz)

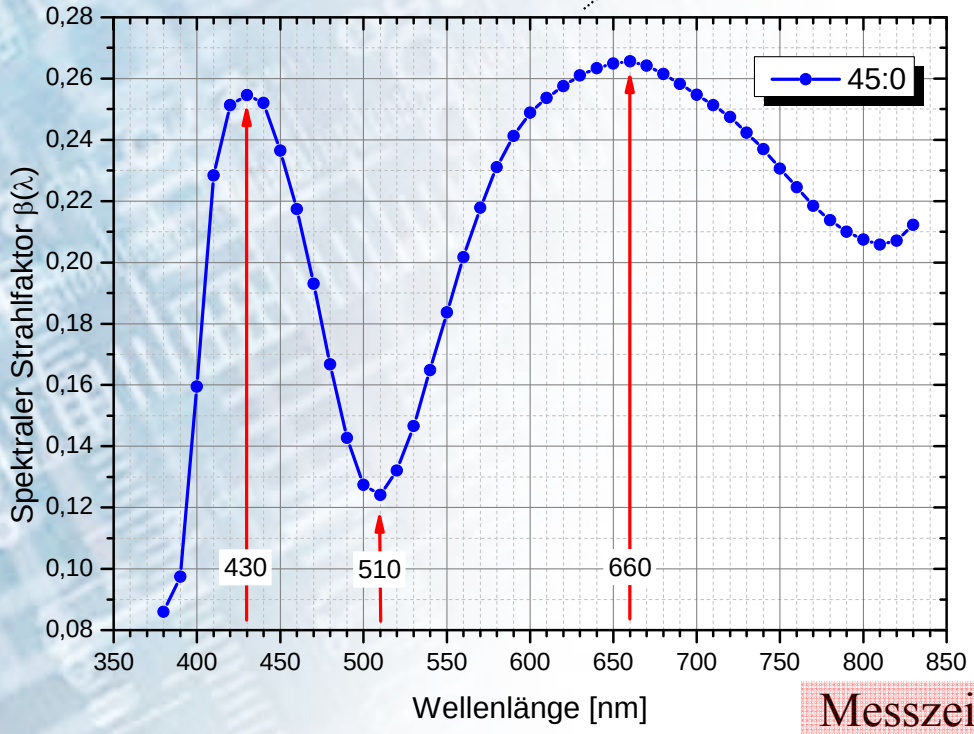
Gonioreflektometrie,

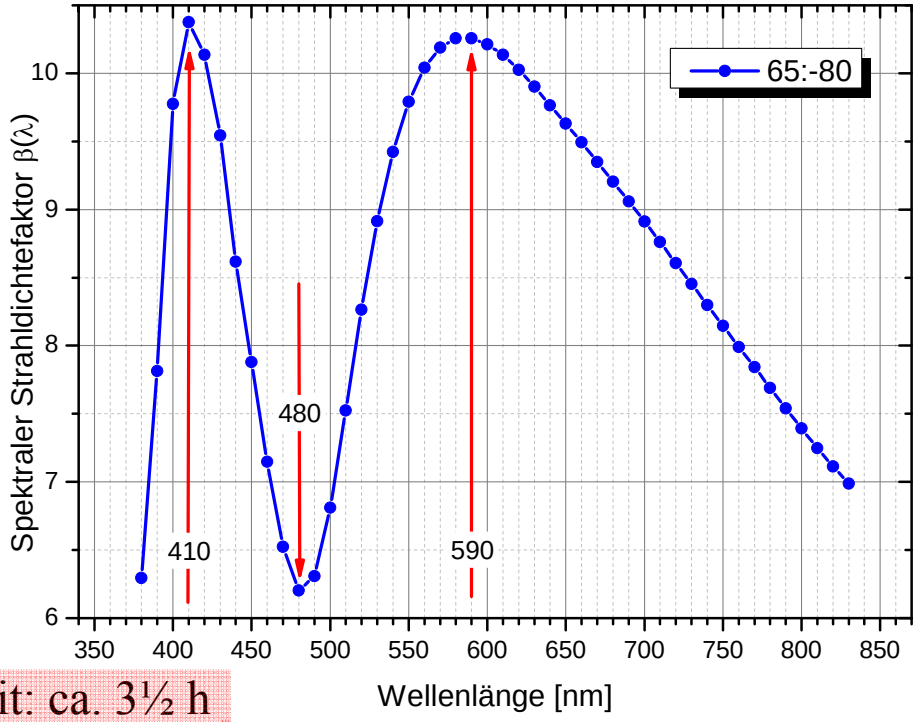
“Appearance“ von gedruckten Effektpigmenten





- Messung des spektralen Strahldichtefaktors in 14 Geometrien
- Berechnung von Farbkoordinaten ($L^*a^*b^*$) für beliebige Lichtarten, (z.B. D50)





Messzeit: ca. 3½ h

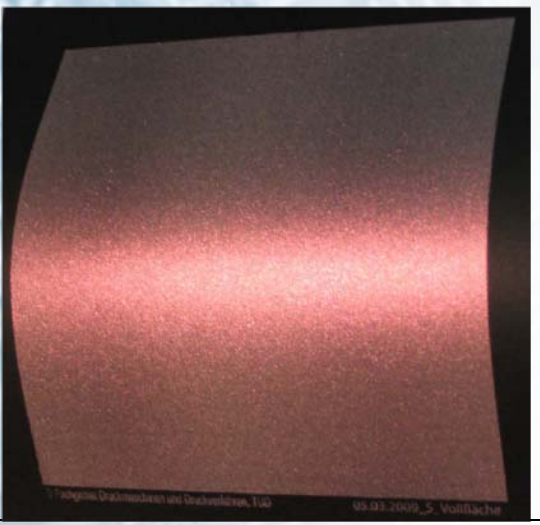
Gonioreflektometrie,

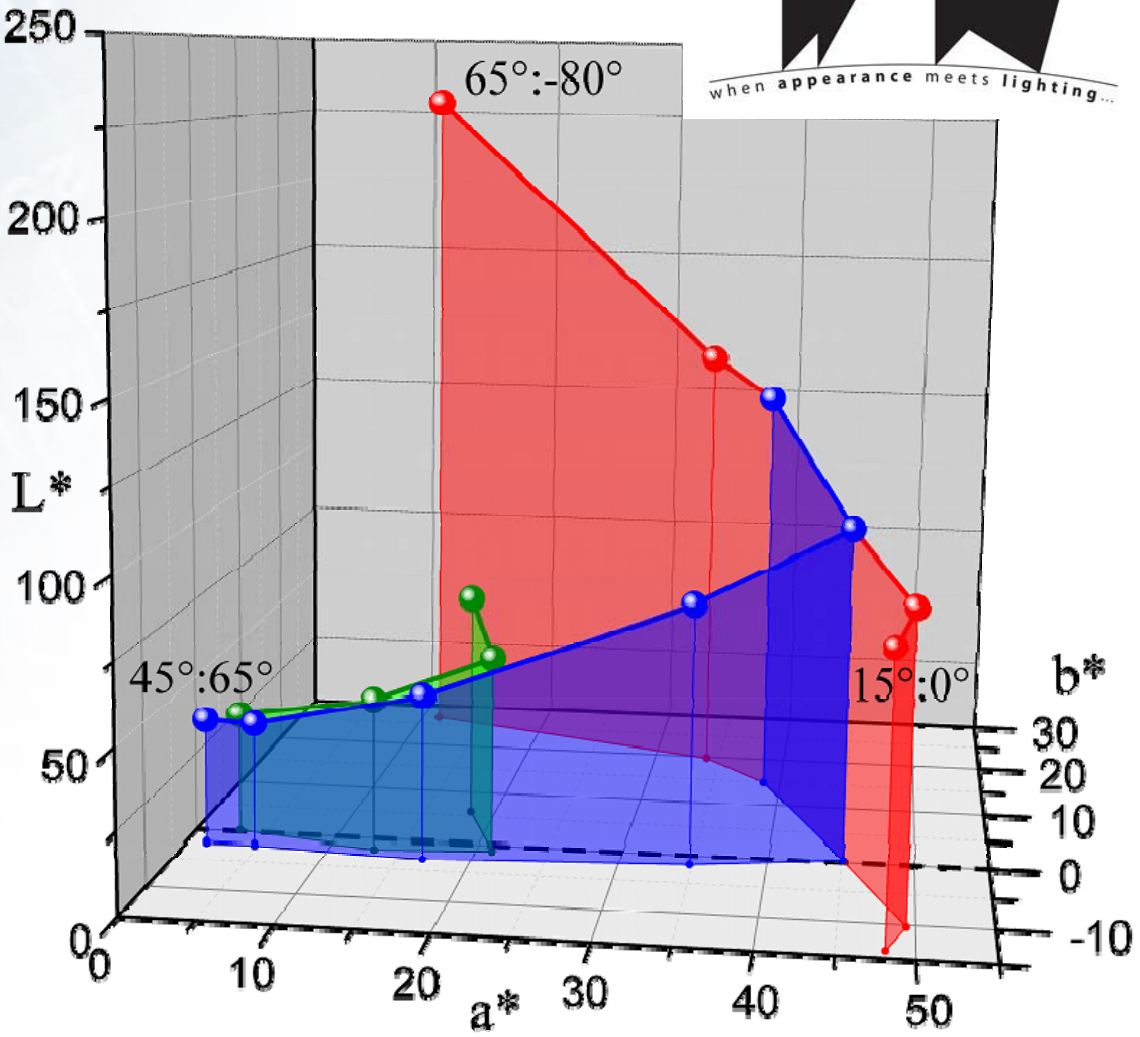
“Appearance“ von gedruckten Effektpigmenten

2nd CIE Expert Symposium on Appearance

8-10 September 2010
Ghent, Belgium

when appearance meets lighting...

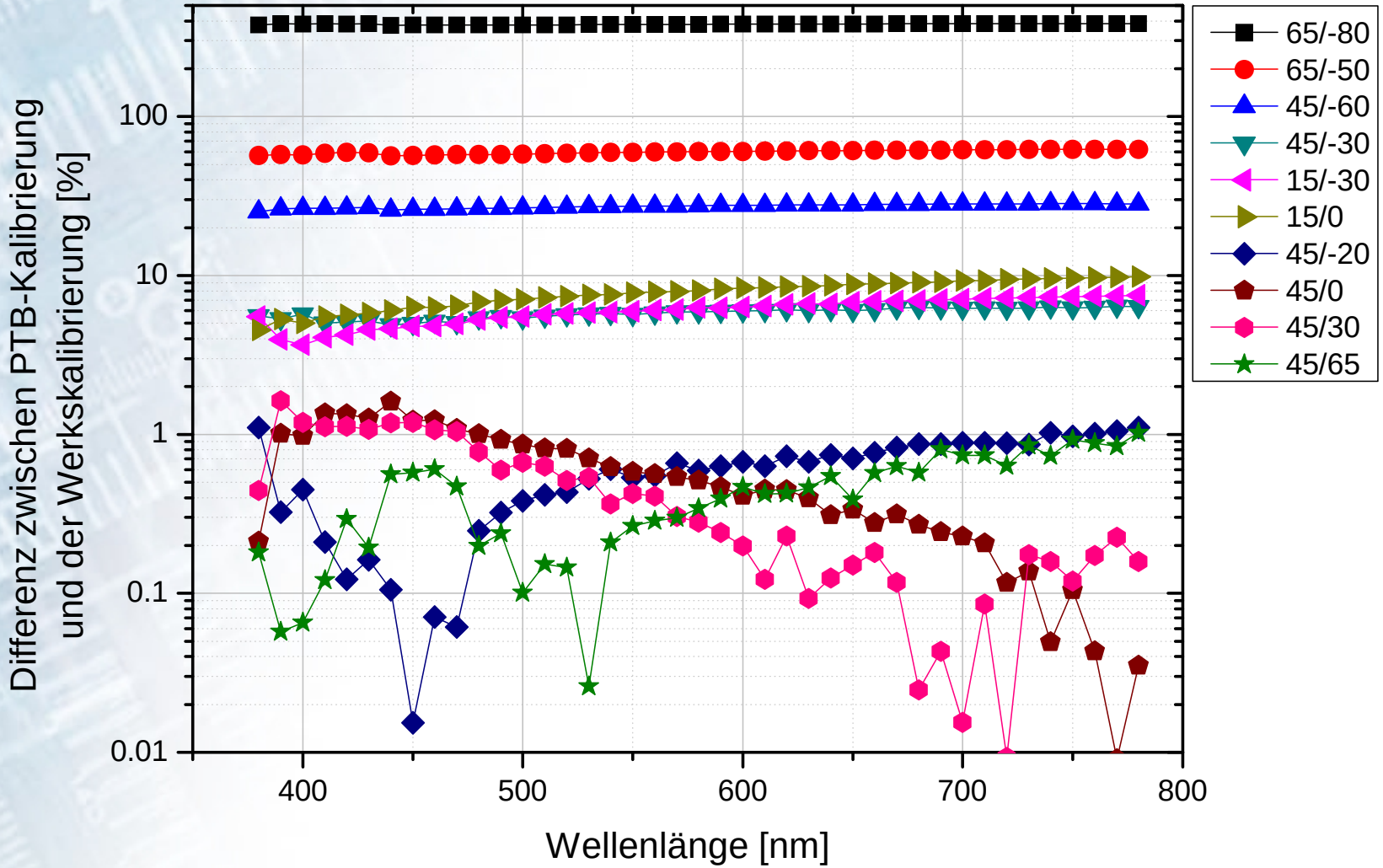




Physikalisch-Technische Bundesanstalt

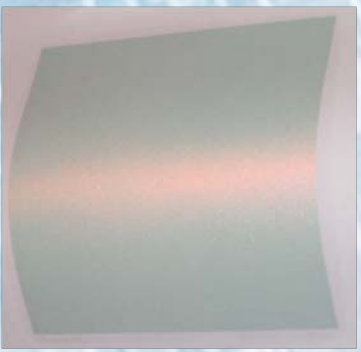
Gonioreflektometrie,

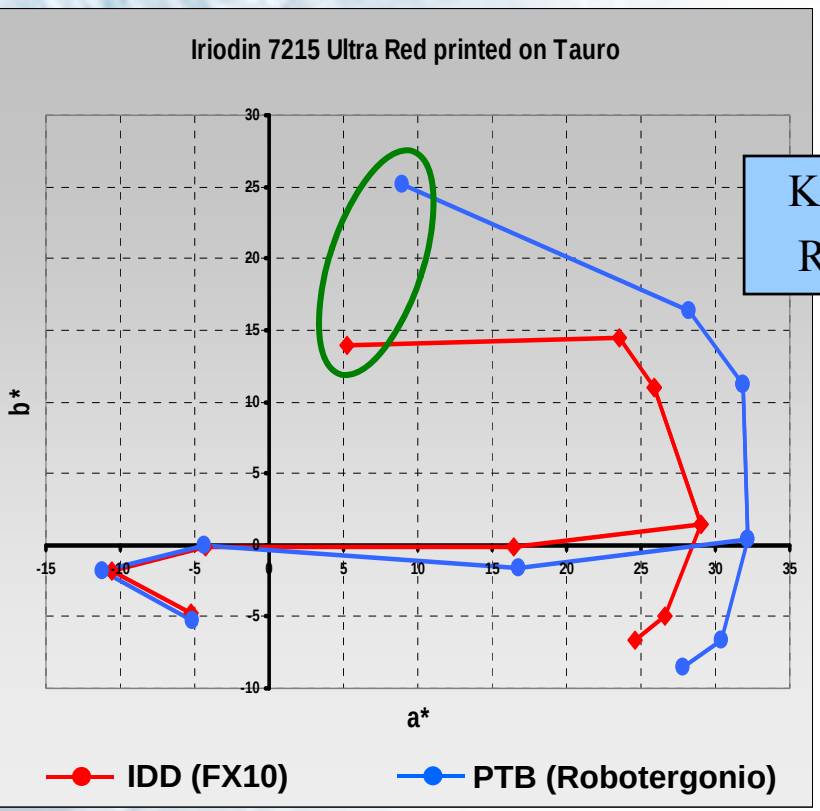
Weißstandard für Multigeometriemessungen



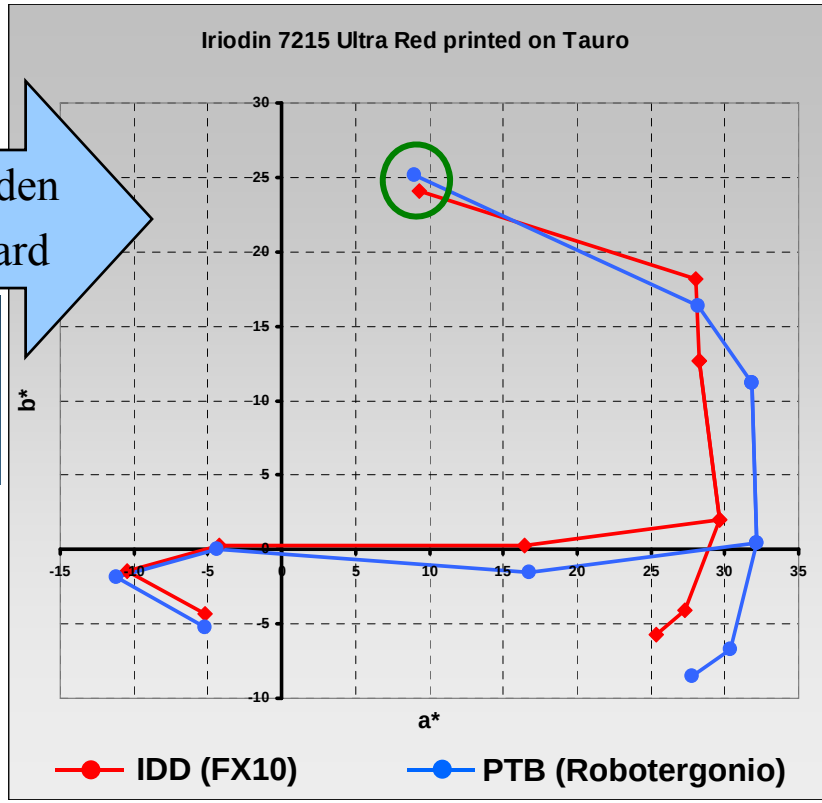
Gonioreflektometrie,

“Appearance“ von gedruckten Effektpigmenten



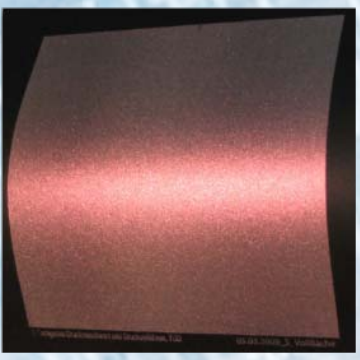


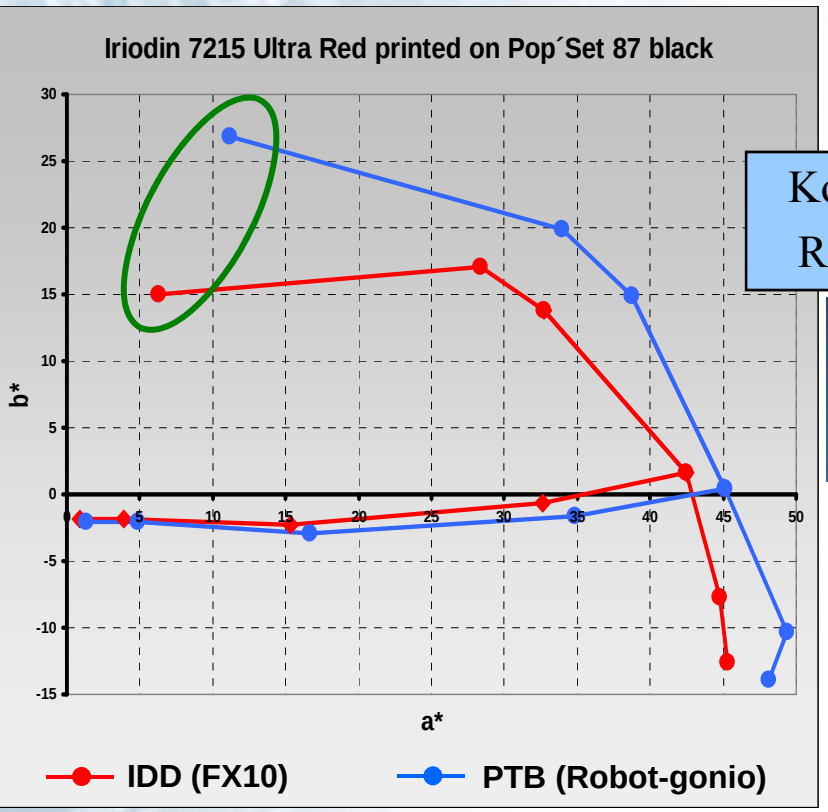
Korrektur durch den Reflexionsstandard



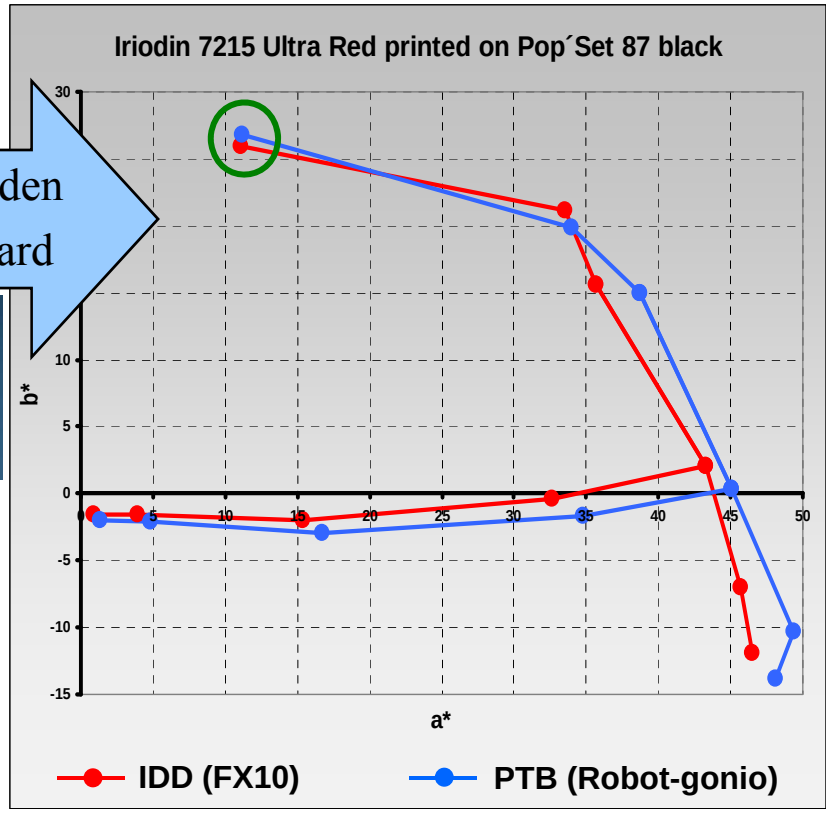
Gonioreflektometrie,

“Appearance“ von gedruckten Effektpigmenten





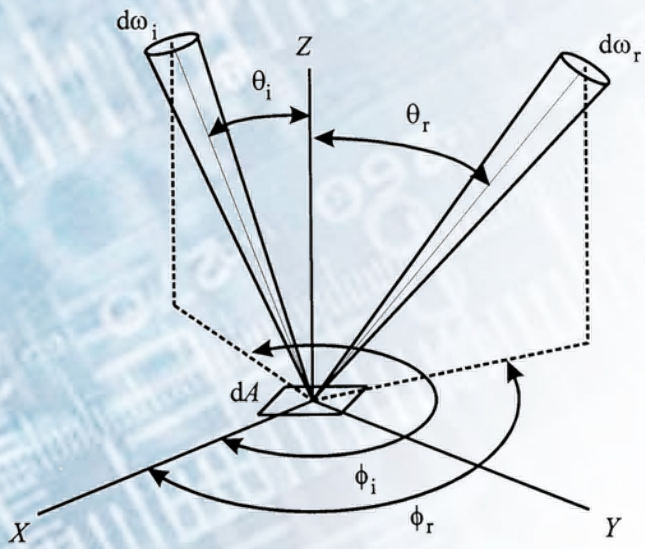
Korrektur durch den Reflexionsstandard

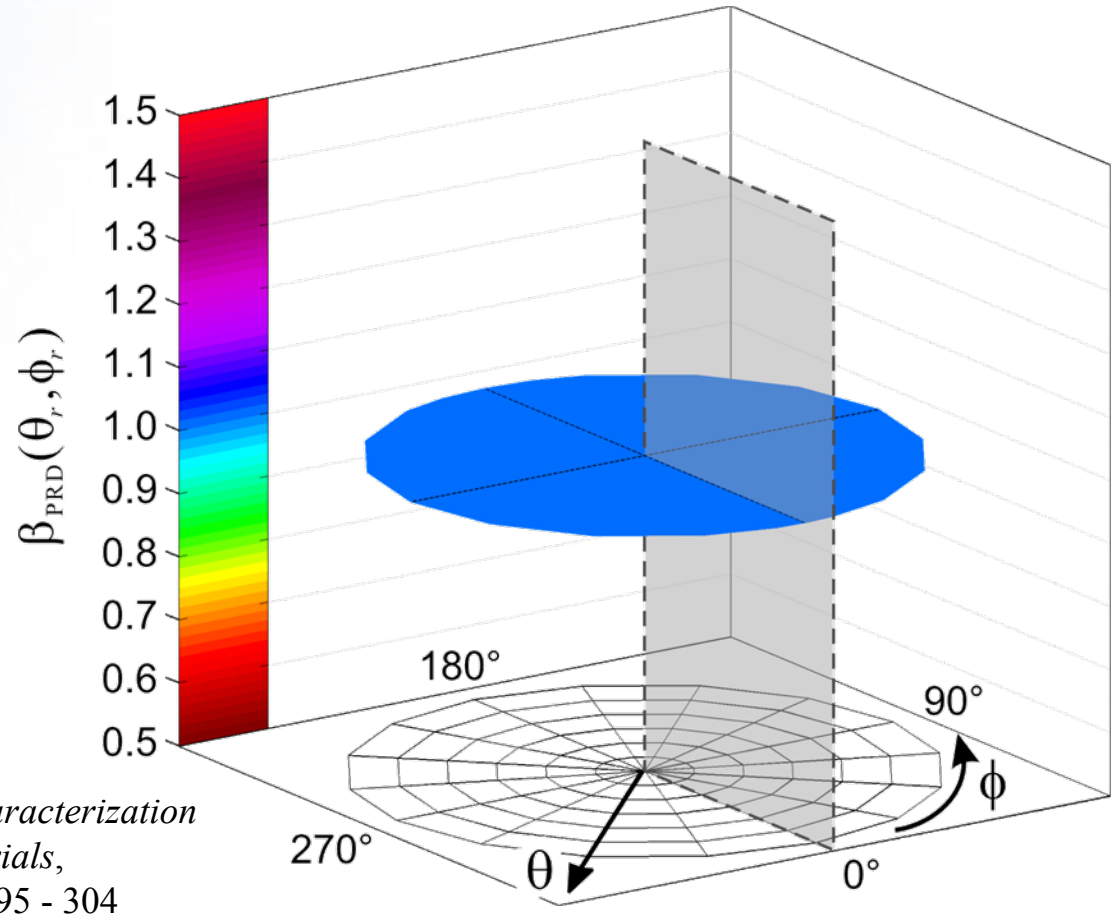


Reflektometrie, Standardreflexionsmaterialien

„Appearance“ Messungen,
an Standardreflexionsmaterialien

- Strahldichtefaktor β_{PRD} des absoluten mattweisen Körpers

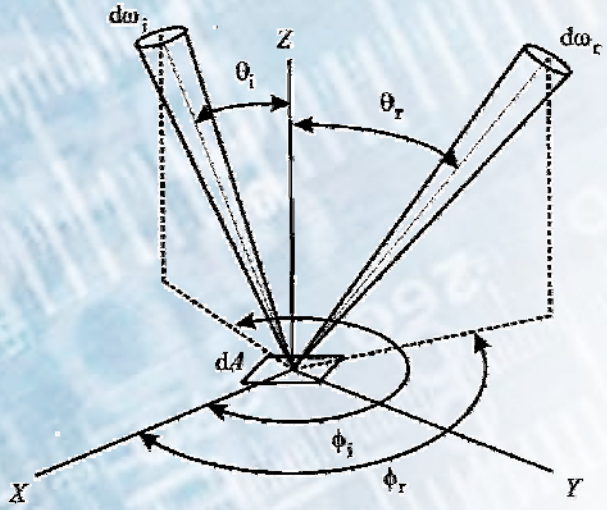


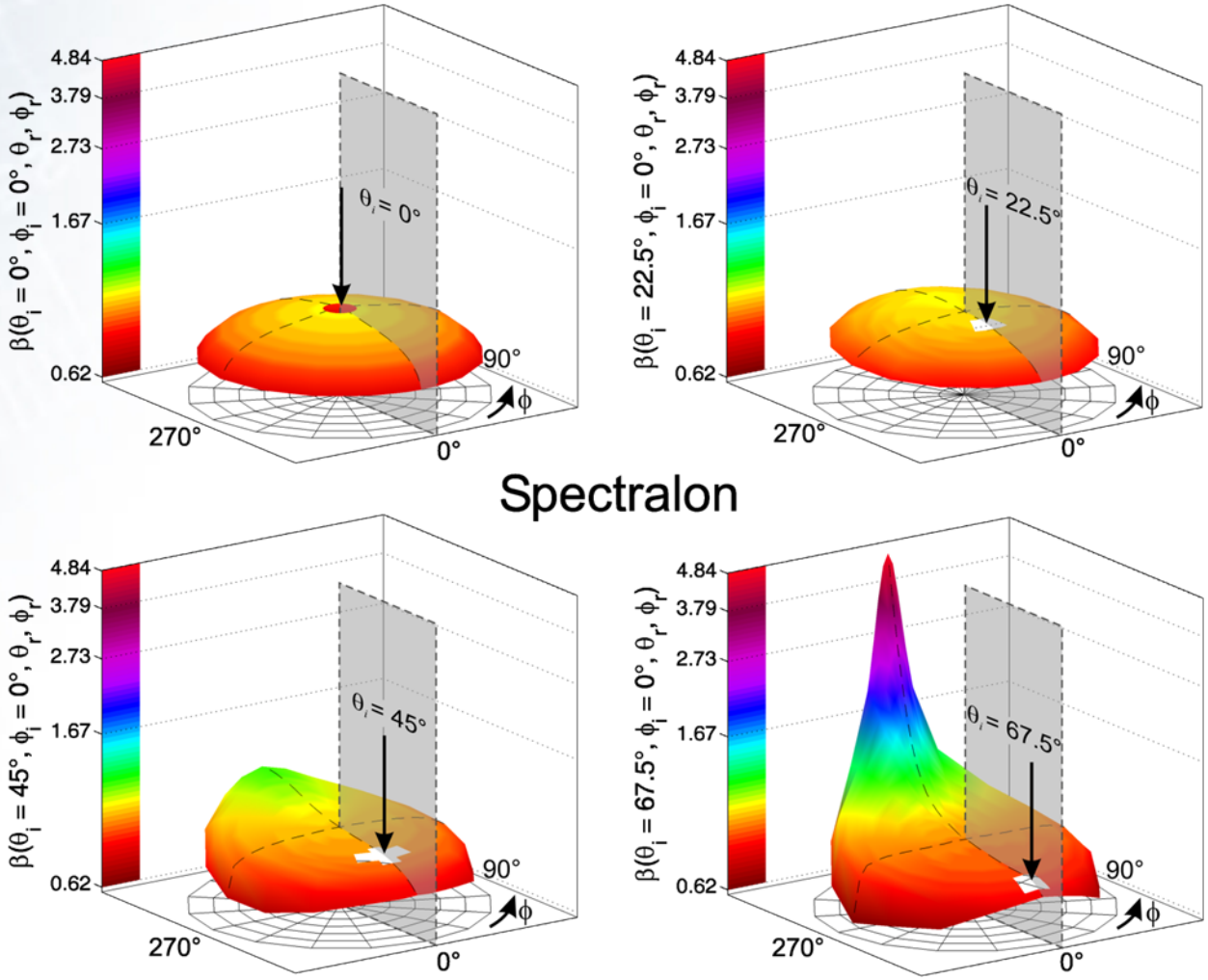


A. Höpe, K.-O. Hauer,
Three-dimensional appearance characterization of diffuse standard reflection materials,
Metrologia Vol. 47, No. 3 (2010) 295 - 304

„Appearance“ Messungen,

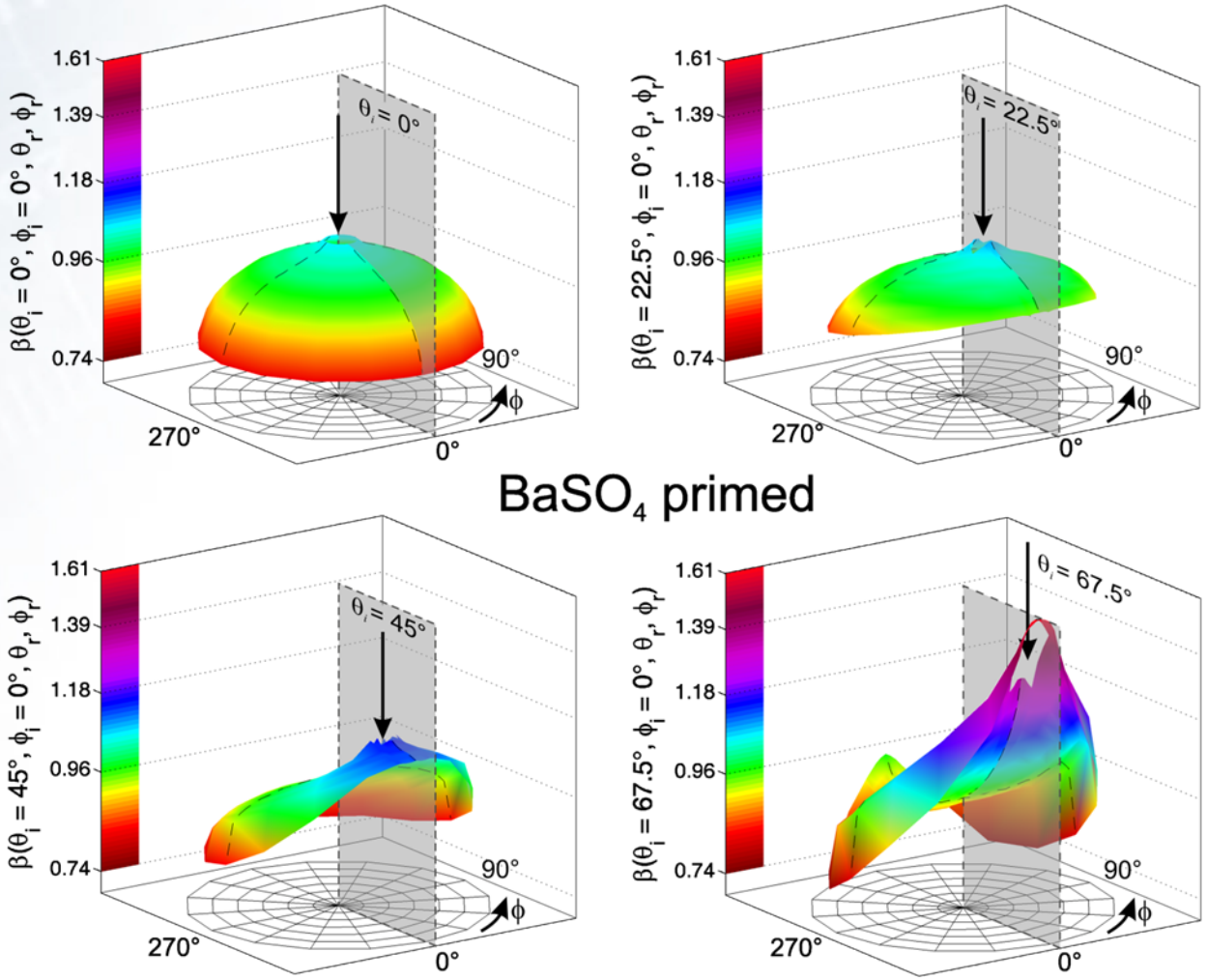
an Standardreflexionsmaterialien, bei λ = 550 nm





„Appearance“ Messungen,

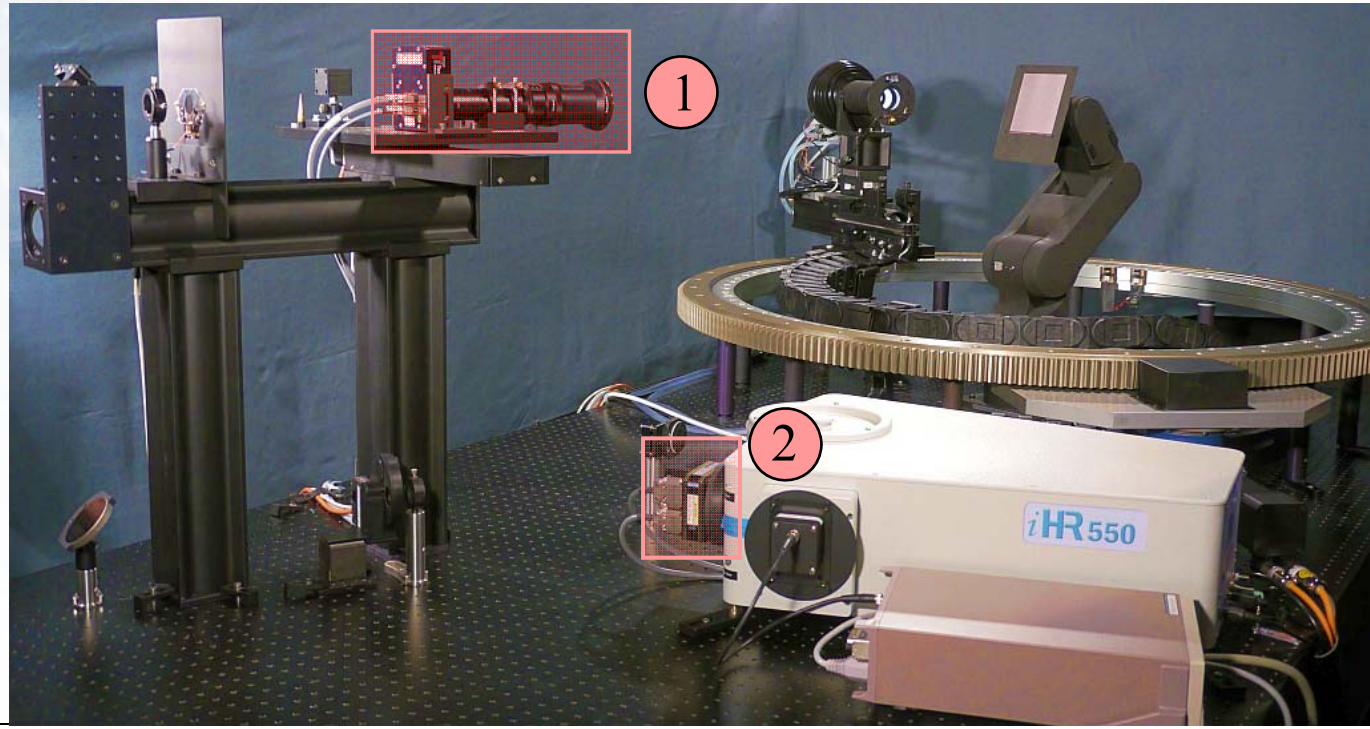
an Standardreflexionsmaterialien, bei λ = 550 nm



ARGon^3: 3D Appearance Robot-based Gonioreflectometer

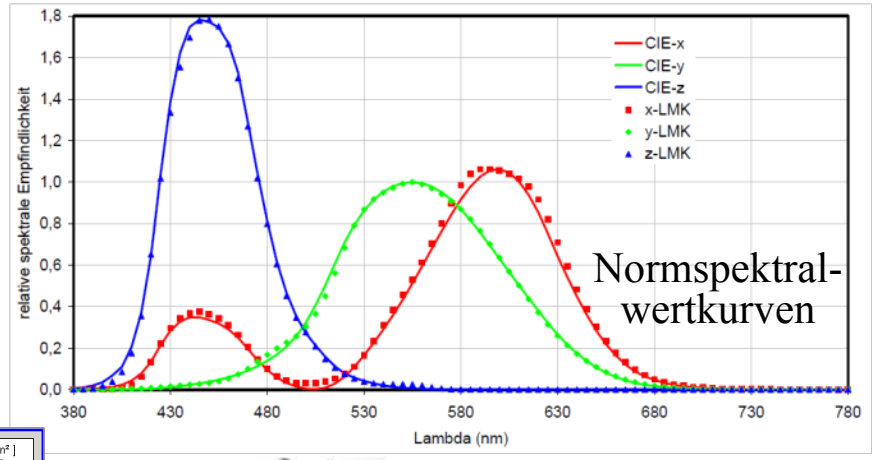
- Erweiterungen am Appearance-Messplatz: ARGon^3

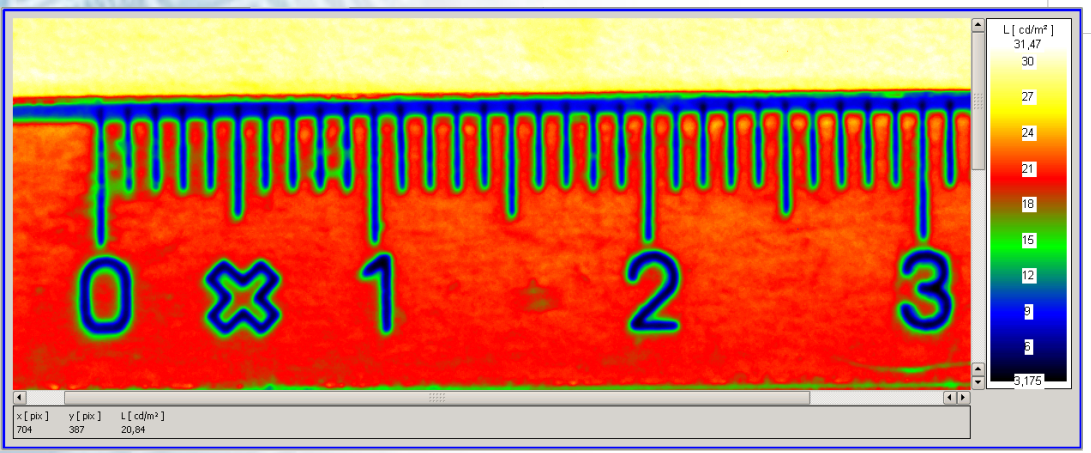
  1. Leuchtdichtekamera zur orts- und farbraumspezifischen Messung der Appearance
  2. Zeilen-Kamera am Monochromator ($\Delta\lambda$ = 290 nm)

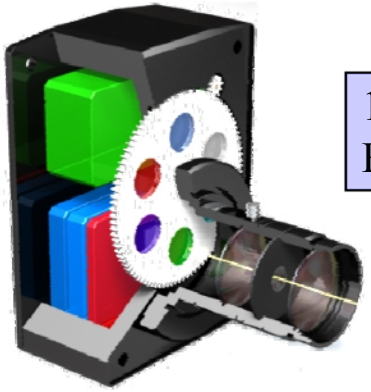


① ARGon³: Leuchtdichtekamera

- Bestimmung der Leuchtdichte
- Ortsaufgelöste Messungen (28 µm)
- Farbraumkoordinaten, z.B. L*a*b*



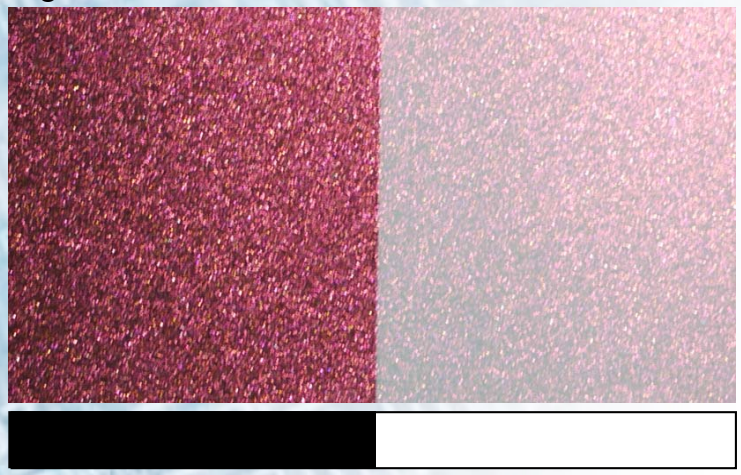


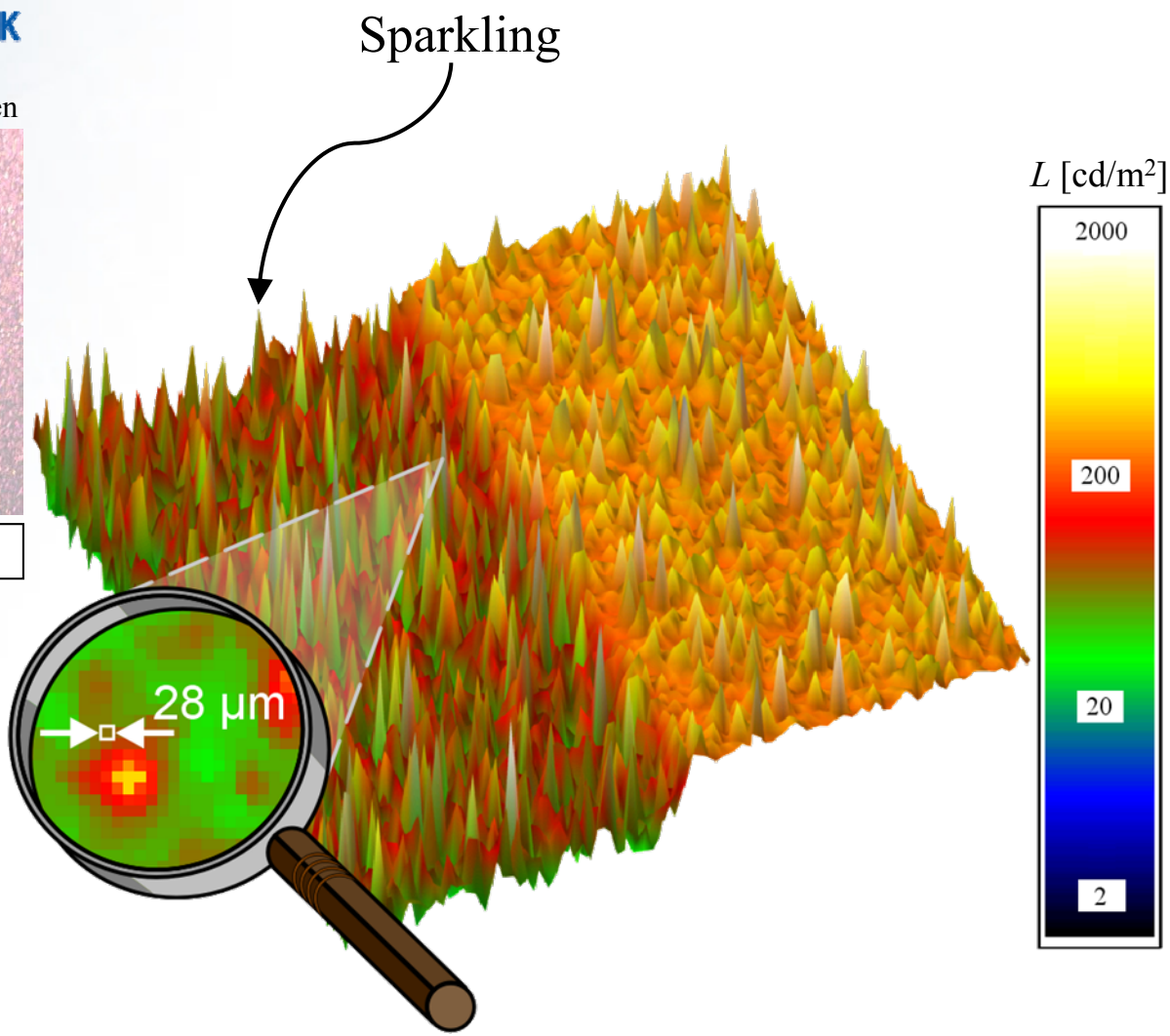


1364 x 1030 Pixel
FOV: 38 x 28 mm

1 ARGon³: Leuchtdichtekamera

Effektpigment:
Xirona® Volcanic Sparks
Pigment aus Calcium-Aluminium-Borosilikat-Plättchen



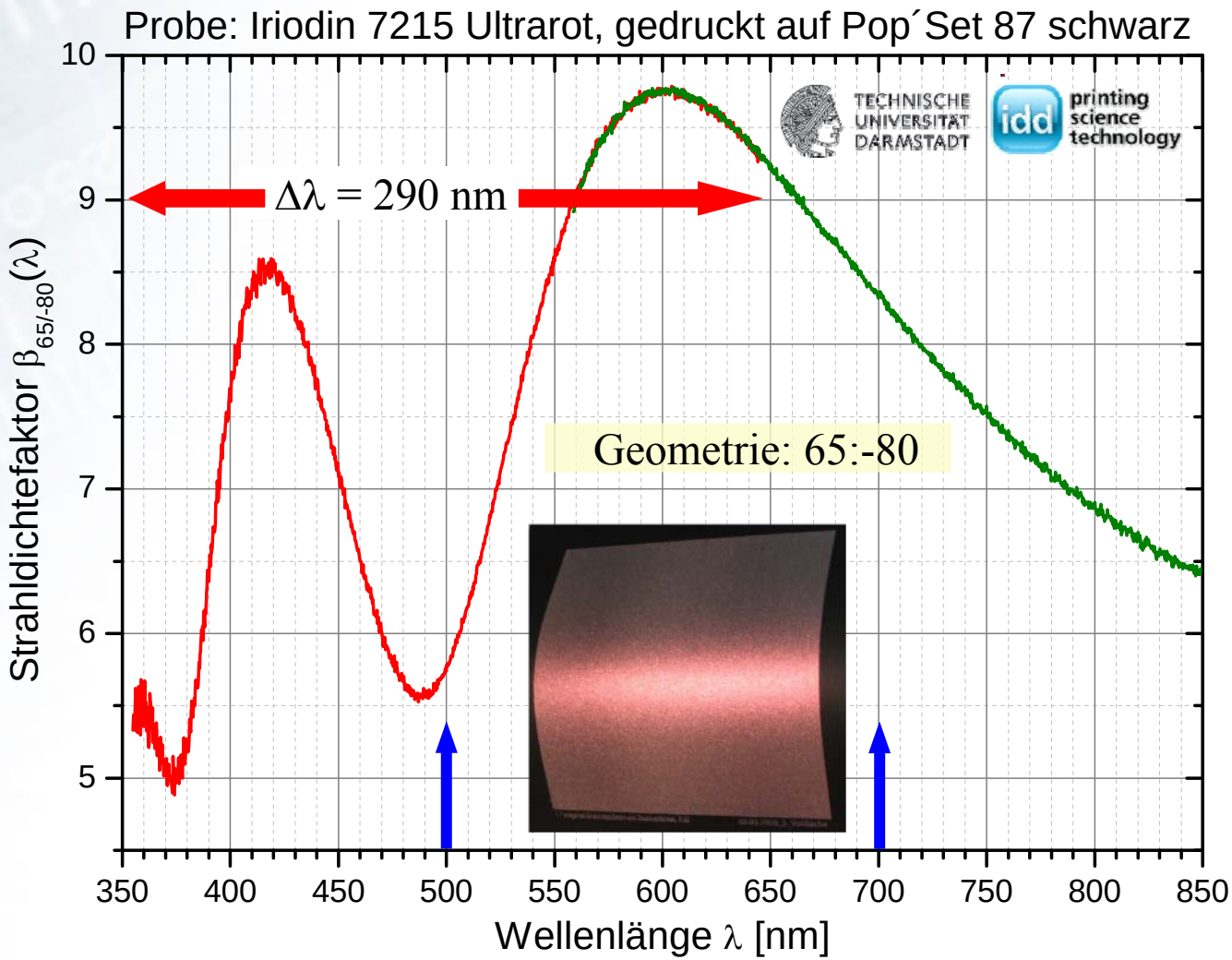


② ARGon³: Zeilenkamera

Spektraler Strahldichtefaktor

Zeilenkamera: 1036 Pixel,
16 Bit,
65536 Counts

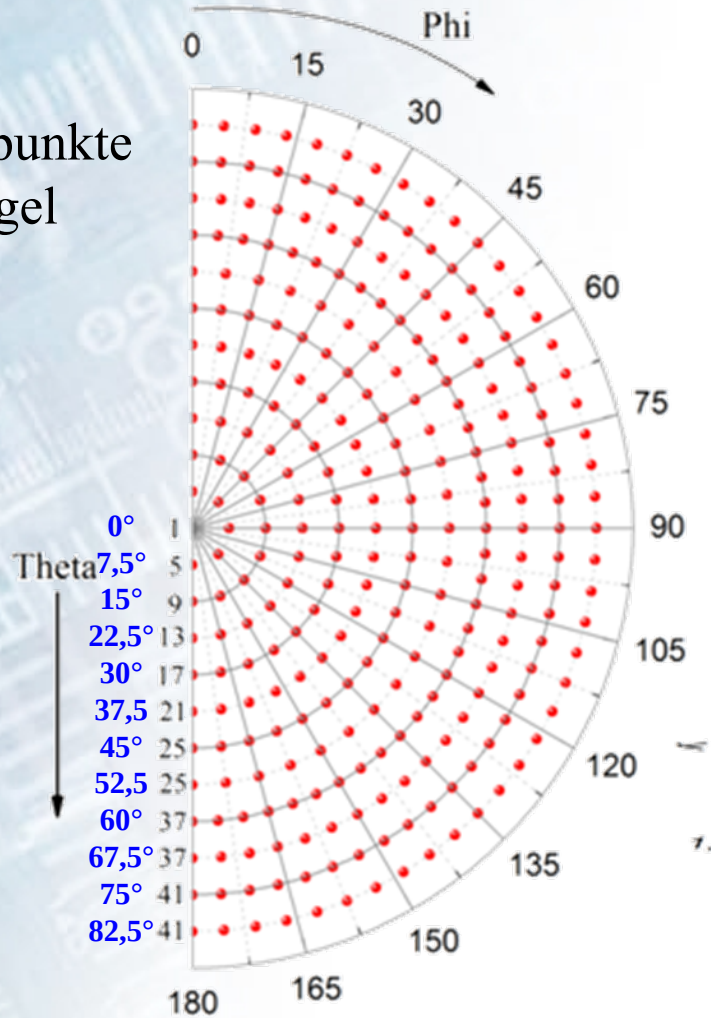
Absolutmessung:
Messzeit: ca. 2 min.

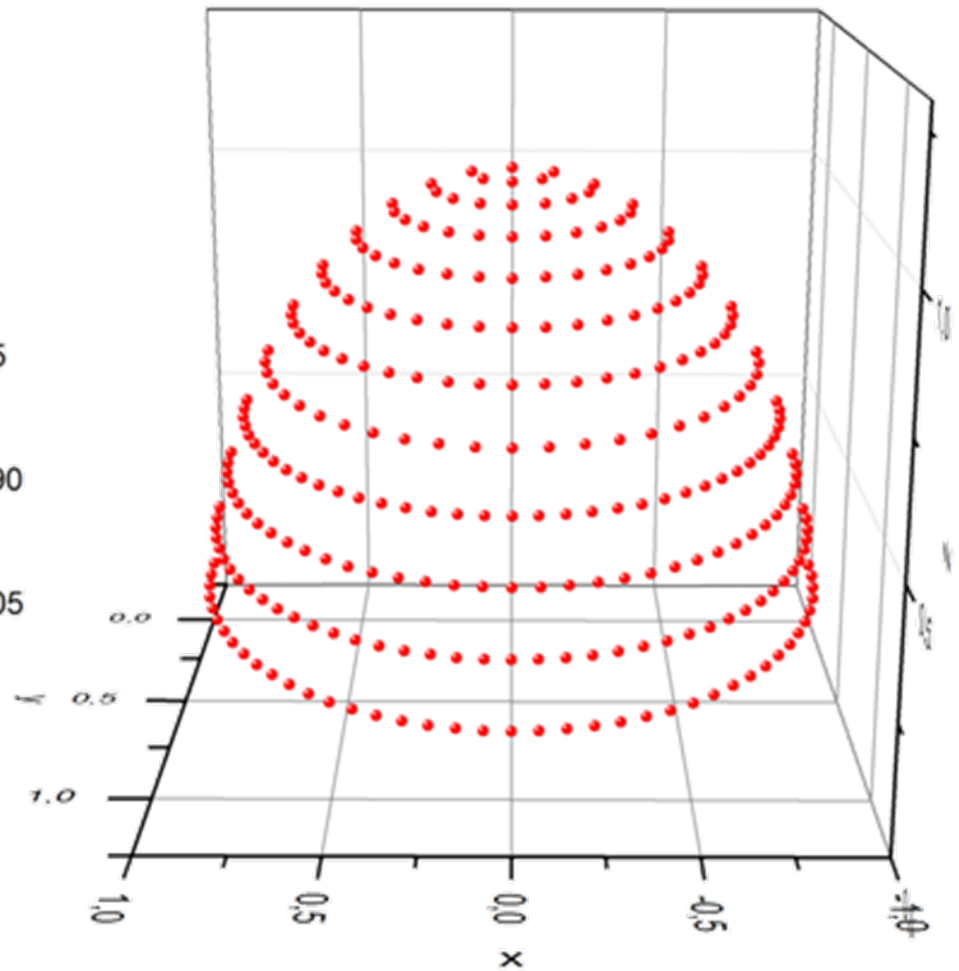


„Appearance“ Messungen,

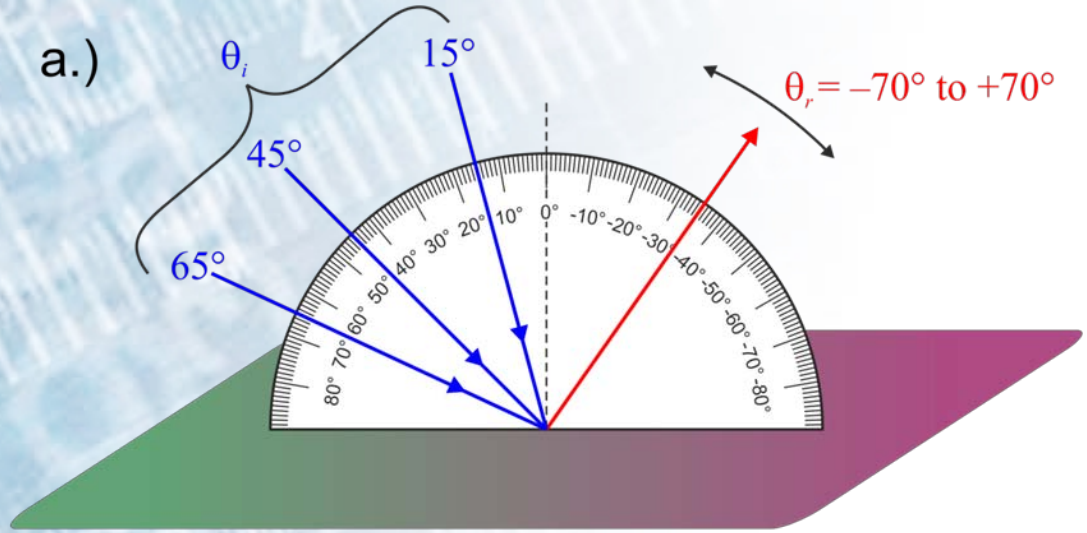
an Effektpigmenten im V(λ)-Bereich

272 Messpunkte
für ¼ -Kugel

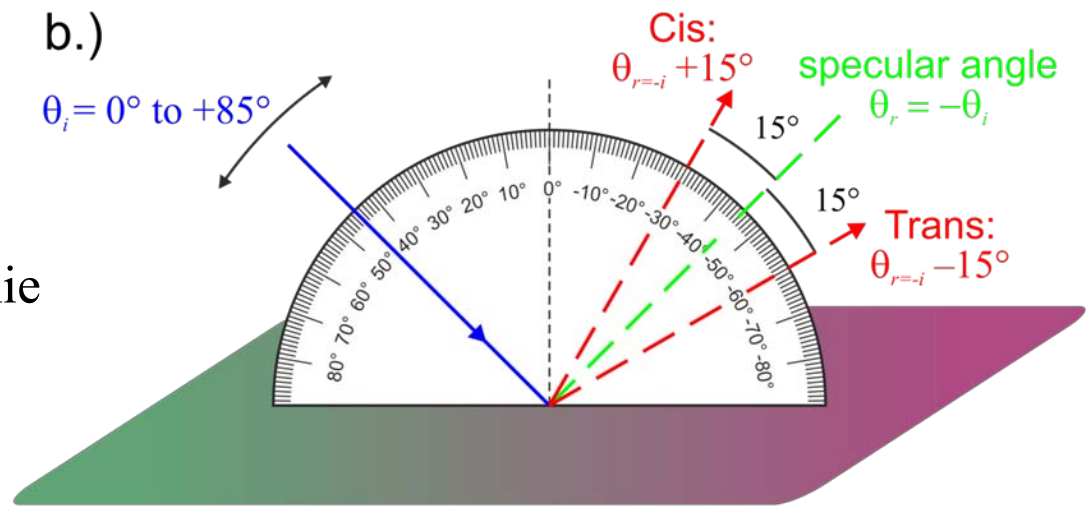




Reflexionsgeometrien, (In-plane)

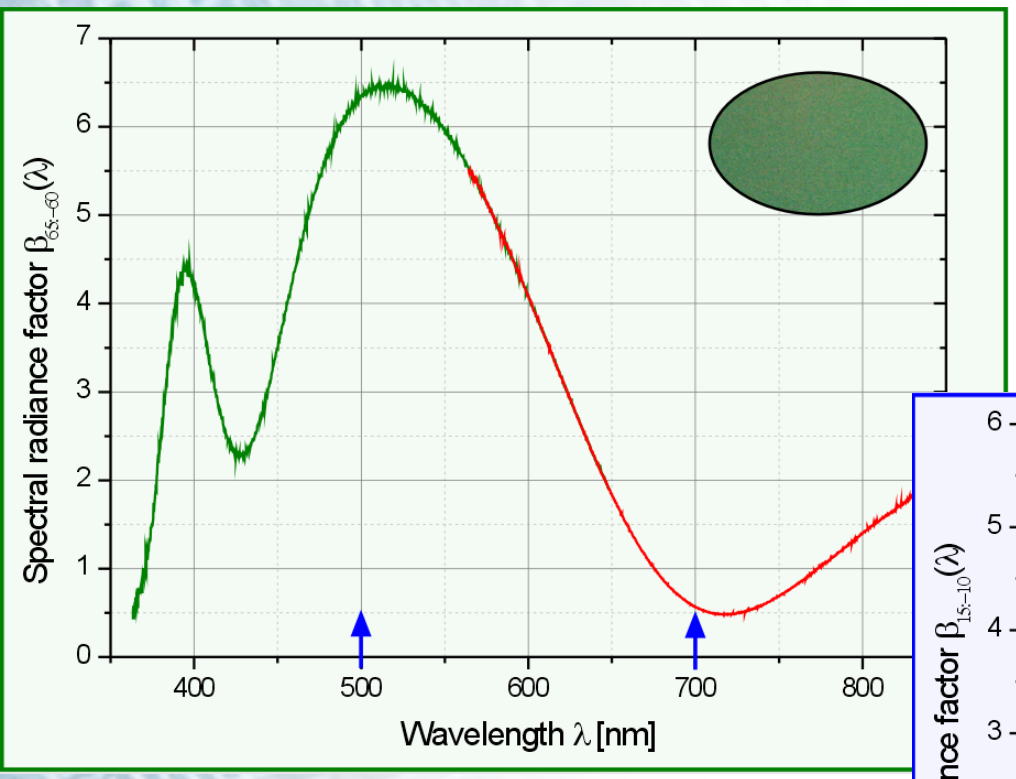


- Aspecular Linie



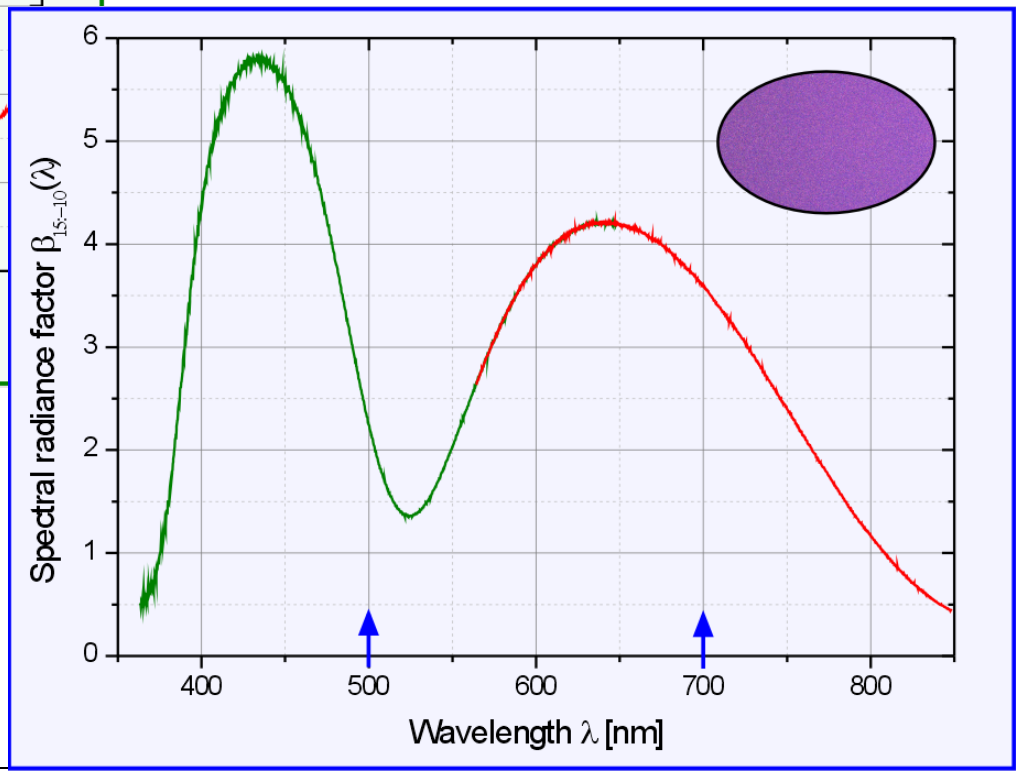
- Interferenz Linie

Messplatz: ARGon^3



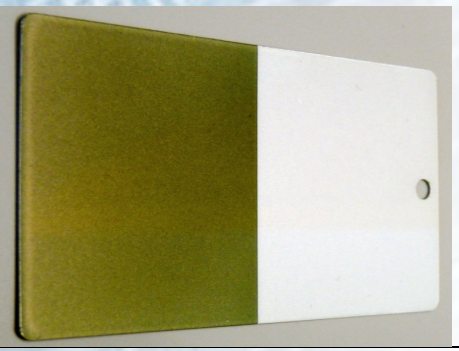
- Geometrie: 65:-60

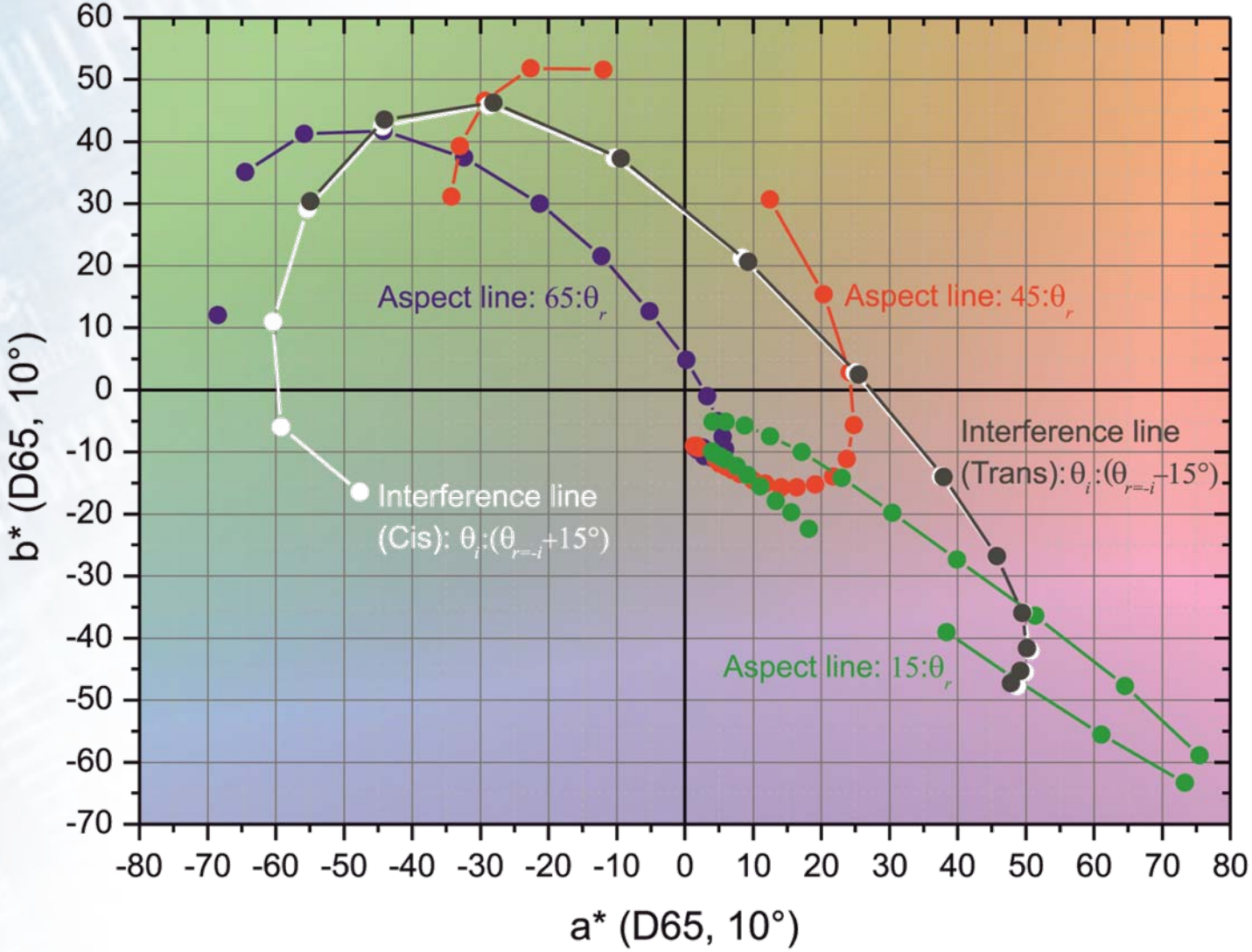
- Geometrie: 15:-10



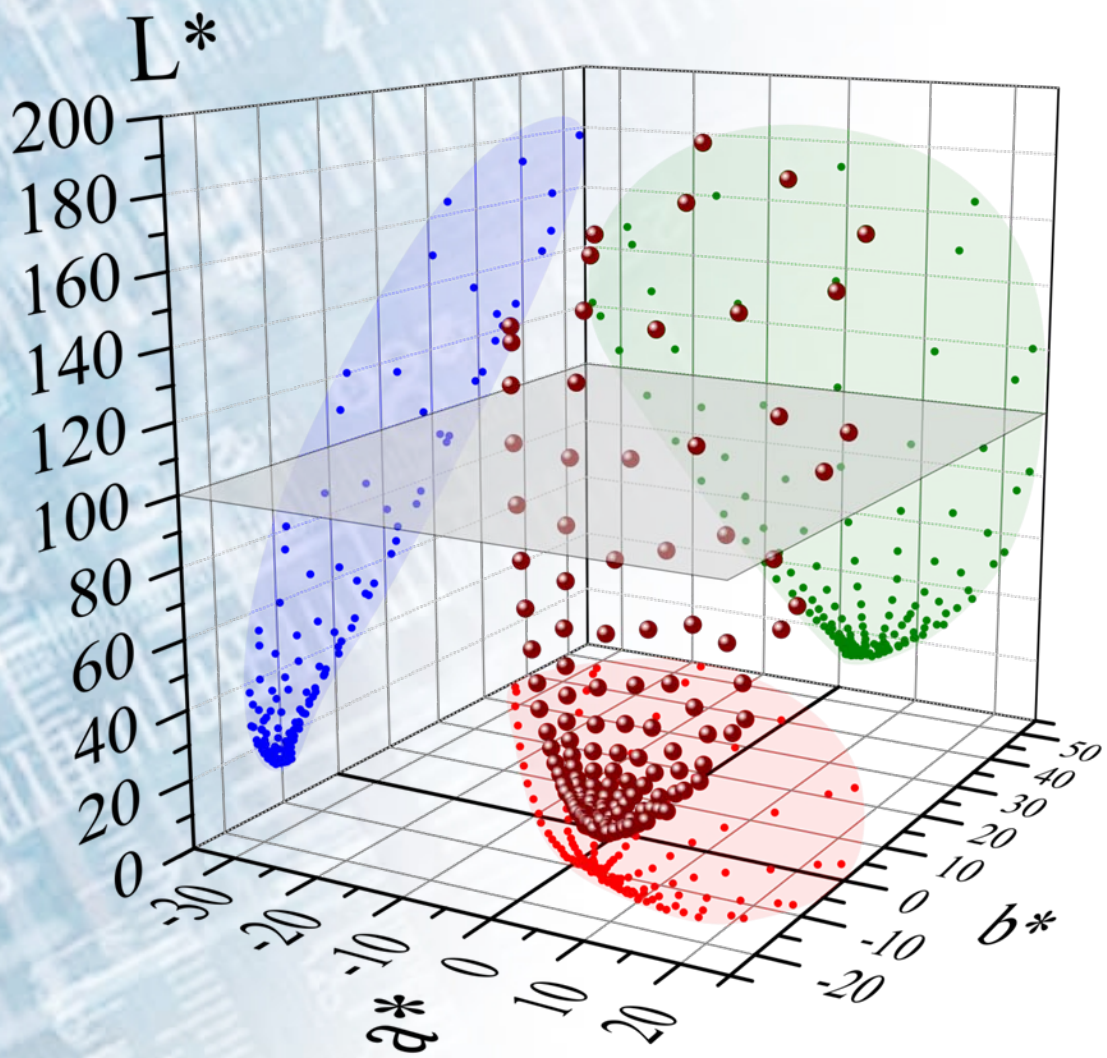
Messplatz: ARGon^3

- Messungen an MERCK Colorstream® Viola Fantasy





Messplatz: ARGon^3



- 188 Messpunkte,
  ohne spekularen Peak
  Winkelbereich: $\theta_r = 0° - 67{,}5°$
  $\phi_r = 0° - 180°$

EMRP – Was ist das?

- Das Europäische Parlament hat am 22. April 2009 entschieden, das mit einem Budget von 400 Mio. Euro geplante europäische Metrologie-Forschungsprogramm (EMRP) mit 200 Mio. Euro zu unterstützen. Weitere 200 Mio. Euro werden von den europäischen Mitgliedstaaten selbst aufgebracht (Laufzeit 2009 - 2016).
- Um die weltweite Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie langfristig zu sichern und kommenden metrologischen Herausforderungen mit vereinten Kräften zu begegnen, hat sich die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) als Deutschlands nationales Metrologieinstitut mit 22 europäischen Partnerinstituten zusammengetan und das EMRP auf den Weg gebracht, welches die Kompetenz aller Institute in gemeinsamen Forschungsprojekten bündelt. Es wird Forschungsansätze ermöglichen, die einzelnen Instituten im Alleingang bisher nicht möglich waren und somit eine Neuausrichtung der metrologischen Forschung innerhalb der EU fördern.

EMRP
European Metrology Research Programme
Programme of EURAMET

- **EMRP** Call 2012

  Metrology for Industry
  SI Broader Scope
  Open Excellence

EMRP – Was ist das?

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

SECHSTES EUROPÄISCHES FORSCHUNGSRAHMENPROGRAMM

Inhalte | Durchführung | Beratung | Service

- Inhalte
  - Einführung
  - Instrumente
    - Integrierte Projekte
    - Networks of Excellence
    - Artikel 169
    - Traditionelle Instrumente
    - Marimon-Report
  - Thematische Inhalte
  - Ausschreibungen
  - Europäischer Forschungsraum/ Europäische Forschungspolitik
  - Ansprechpartner/-innen
  - 7. RP

Förderung von Forschungsprogrammen gemäß Artikel 169 EG-Vertrag

Artikel 169 EG-Vertrag (Beteiligung der Gemeinschaft)

Die Gemeinschaft kann im Einvernehmen mit den betreffenden Mitgliedstaaten bei der Durchführung des mehrjährigen Rahmenprogramms eine Beteiligung an Forschungs- und Entwicklungsprogrammen mehrerer Mitgliedstaaten, einschließlich der Beteiligung an den zu ihrer Durchführung geschaffenen Strukturen, vorsehen.

Ziel

Wesentliches Ziel von Fördermaßnahmen nach Artikel 169 EG-Vertrag ist die Zusammenführung unterschiedlicher nationaler und regionaler Forschungsprogramme in einem speziellen Bereich in einem einzigen gemeinsamen Programm mehrere Mitgliedstaaten. Insbesondere soll so der Zersplitterung und der Überschneidung von Forschungsvorhaben entgegengewirkt werden und die Mitgliedstaaten sollen dazu befähigt werden, Informationen, Fachwissen und „good practice" in speziellen Bereichen auszutauschen. Zudem soll die Synergie zwischen dem 7. Forschungsrahmenprogramm und den im Rahmen zwischenstaatlicher Strukturen, wie beispielsweise bei EUREKA und COST durchgeführten Tätigkeiten, verstärkt werden.

⇒ Hier jetzt aktuell Förderung der europäischen Metrologie (NMI´s)

EMRP
European Metrology Research Programme
Programme of EURAMET

EMRP – Was ist das?

Call Year	Field	Status
iMERA-Plus		
2007	SI and Fundamental Health Length Electricity and Magnetism	**Projects completed** »
EMRP		
Call 2009	Energy	**Projects in progress** »
Call 2010	Industry Environment	**Projects in progress** »
Call 2011	Health II SI Broader Scope New Technologies	**Projects in negotiation** »
Call 2012	Industry II SI Broader Scope II Open excellence call	**Further details** »
Call 2013	Energy II Environment II	**Further details** »

EMRP – Was ist das?

- EMRP – 22 teilnehmende Länder
- Als Minimum müssen sich drei europäische NMI´s sich für einen Antrag zusammentun.

- Austria
- Belgium
- Czech Republic
- Denmark
- Estonia
- European Commission (EC)
- Finland
- France
- Germany
- Hungary
- Italy
- The Netherlands
- Norway
- Poland
- Portugal
- Romania
- Slovakia
- Slovenia
- Spain
- Sweden
- Switzerland
- Turkey
- United Kingdom

EURAMET – Was ist das?

EURAMET
European Association of National Metrology Institutes

Members and Associates

- 38 Mitglieder

Albania	Austria
Belgium	Bosnia-Herzegovina
Bulgaria	Croatia
Cyprus	Czech Republic
Denmark	Estonia
Finland	France
FYR Macedonia	Germany
Greece	Hungary
Iceland	Ireland
Italy	Latvia
Lithuania	Luxembourg
Malta	Montenegro
Netherlands	Norway
Poland	Portugal
Romania	Serbia
Slovakia	Slovenia
Spain	Sweden
Switzerland	Turkey
United Kingdom	European Commission

EURAMET – Was ist das?

EURAMET
European Association of National Metrology Institutes

EURAMET, the European Association of National Metrology Institutes, is a European Regional Metrology Organisation (RMO). It is a registered association under German Law (e.V.).

EURAMET was inaugurated on 11th January 2007. It is the successor of EUROMET and took over the responsibilities as RMO on 1st July 2007.

For detailed information, please contact the Website: http://www.euramet.org

For any questions, please contact the EURAMET Secretariat: »

EURAMET e.V.
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
Germany

Phone: +49 531 592 1960
Fax: +49 531 592 1969
secretariat@euramet.org

EMRP – Was ist das?

- The European Metrology Research Programme (EMRP) is a metrology-focused European programme of coordinated R&D that facilitates closer integration of national research programmes. The EMRP is jointly supported by the European Commission and the participating countries within the European Association of National Metrology Institutes (EURAMET e.V.).

EMRP
European Metrology Research Programme
Programme of EURAMET

http://www.emrponline.eu/

- **EMRP** Call 2012

  Metrology for Industry
  SI Broader Scope
  Open Excellence

http://www.emrponline.eu/call2012/

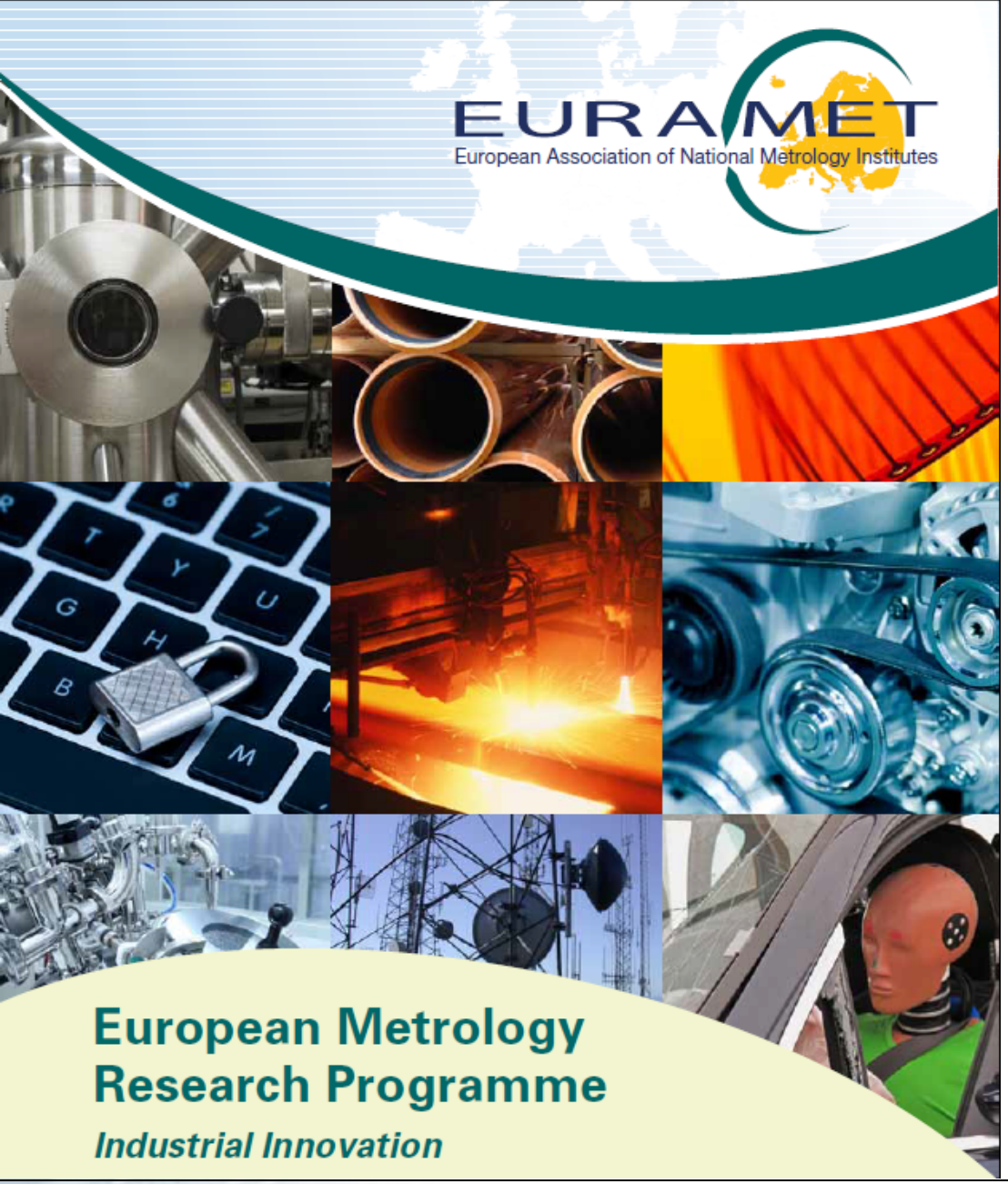
- The Call encompasses a two-stage process for joint research projects and includes opportunities for Researcher Grants.

* Stage 1 of the call is for potential research topics and is open to any interested party, and opens on 02 February 2012: Deadline 23:59 CET, 18 March 2012

- SRT (Selected Research Topic)

* Stage 2 of the call is for joint research projects and associated researcher grants and is subject to eligibility criteria, and opens on 18 June 2012: Deadline 23:59 CET, 01 October 2012.

- JRP (Joint Research Project)



- PRT: (Proposed Research Topic)
- **“Innovative Reflectometry“**

- Keywords:

  Reflectance, Transmittance,

  Appearance, Scattering,

  Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF),

  Angle-dependence, Multi-geometry,

  Modern functional surfaces,

  Mathematical modelling

Photometrieseminar

2012
Photometrie-Seminar

4. Photometrie-Seminar 2008
in Braunschweig

- Professioneller Intensivkurs in Photometrie, für Techniker, Ingenieure und Wissenschaftler aus Industrie und Hochschule

Seminarthemen

7. Photometrie-Seminar
26.11. – 30.11.2012

- Grundlagen
  - Grundlagen der Photometrie
  - Grundlagen der Farbmesstechnik
  - Geometrische Berechnungen
- Angewandte Photometrie
  - Photometrische Standards
  - Farbmesstechnik
  - Photometrie von LEDs
  - Goniophotometrie
  - Messungen mit der Ulbrichtkugel
  - Messunsicherheit
- Qualitätsmanagement
- Praktische Übungen

Zusammenfassung & Ausblick

- Robotergestützte Messplätze für Gonioreflektometrie entstehen derzeit an vielen NMIs
- Insgesamt ein wachsendes Interesse an „off-axis-Geometrien“ und Indikatrixmessung zu verzeichnen
- Normung (DIN, ASTM, CIE) muss fortschreiten, Bezeichnung von Messgeometrien