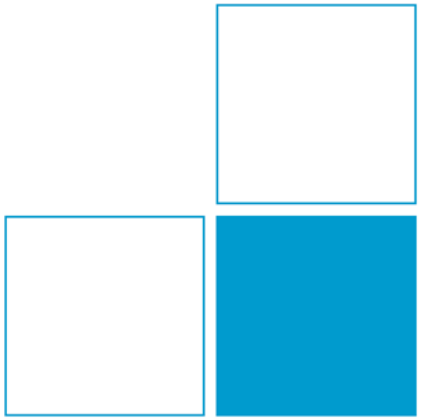
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin
Nationales Metrologieinstitut

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

# Neuartige Materialien und Metrologie

Mathias Richter und Harald Bosse

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Themenbereich „Nanometrologie“



# Geschäftsfelder der PTB

Verbraucherschutz

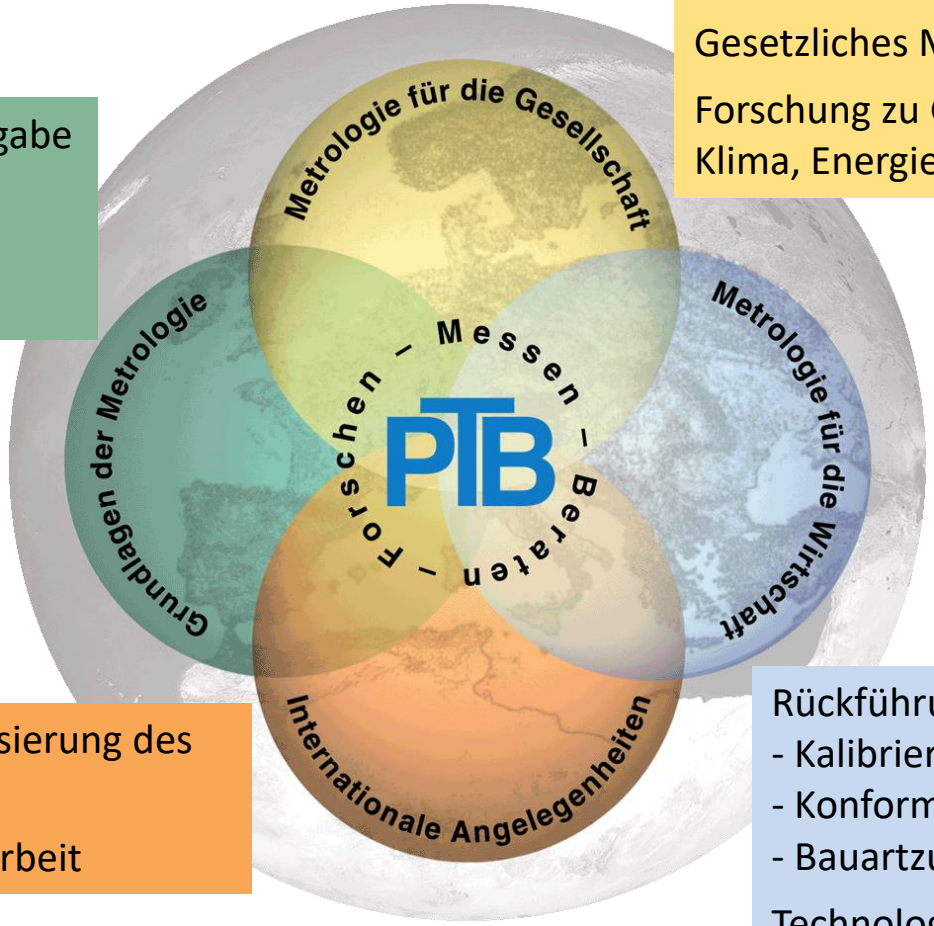
Unterstützung der Eichbehörden

Gesetzliches Messwesen

Forschung zu Gesundheit, Umwelt, Klima, Energie, Nanotechnologie …

Darstellung und Weitergabe der SI-Einheiten

Weiterentwicklung des Einheitensystems




Internationale Harmonisierung des Messwesens

Technische Zusammenarbeit

Rückführung von Messmitteln
- Kalibrierungen
- Konformitätsbewertungen
- Bauartzulassungen

Technologietransfer

# Meterkonvention

1792: Die französische Revolution beschleunigt die Diskussion über die Einführung von Normalen für Masse, Länge, Volumina und Zeit.

1875: Die Meterkonvention wird von 17 Ländern (u.a. Deutschland) unterschrieben.

1878: Die USA treten der Meterkonvention bei.

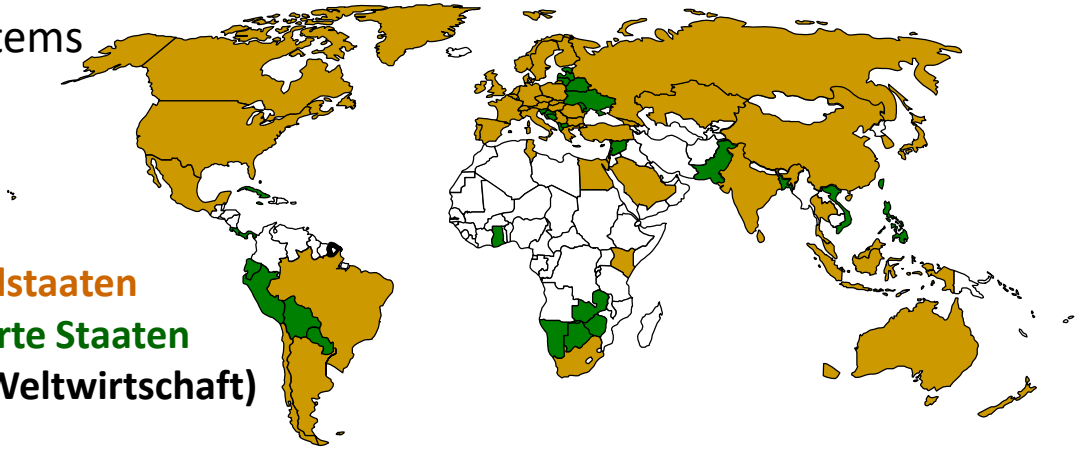
1884: Großbritannien tritt der Meterkonvention bei.

1887: Gründung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin

…

1960: Einführung des internationalen Einheitensystems SI

2019: Revision des SI-Einheitensystems

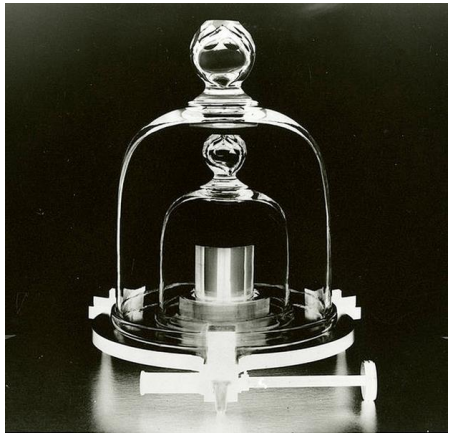


**59 Mitgliedstaaten**
**42 assoziierte Staaten**
**(97 % der Weltwirtschaft)**

https://www.ptb.de/cms/

# Revision des SI-Einheitensystems

**Kilogramm (kg):**



Planck-Konstante

$$1\,\mathrm{kg} = \left( \frac{h}{6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} \right) \mathrm{m}^{-2}\mathrm{s}$$

**Sekunde (s):**

$$1\,\mathrm{s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\mathrm{Cs}}}.$$

Übergangsfrequenz im Cäsium-Atom

Lichtgeschwindigkeit

**Meter (m):**

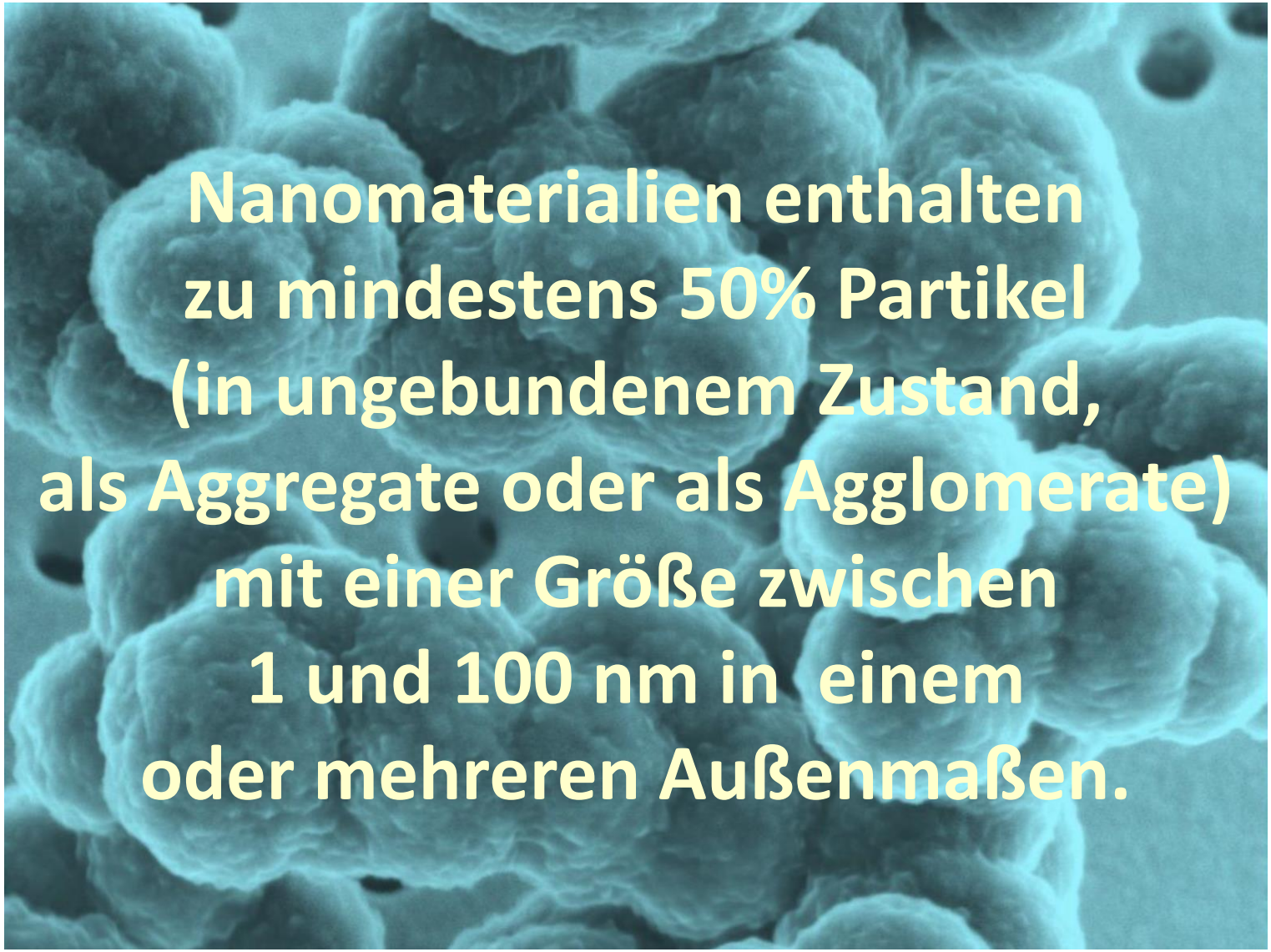
$$1\,\mathrm{m} = \left( \frac{c}{299\,792\,458} \right) \mathrm{s}$$

**Nanometer (nm):**

1 nm = 0,000000001 m

https://www.ptb.de/cms/

# Nanomaterialien



# Größenbestimmung von Nanopartikeln

National Institute of Standards & Technology

## Report of Investigation

### Reference Material 8011

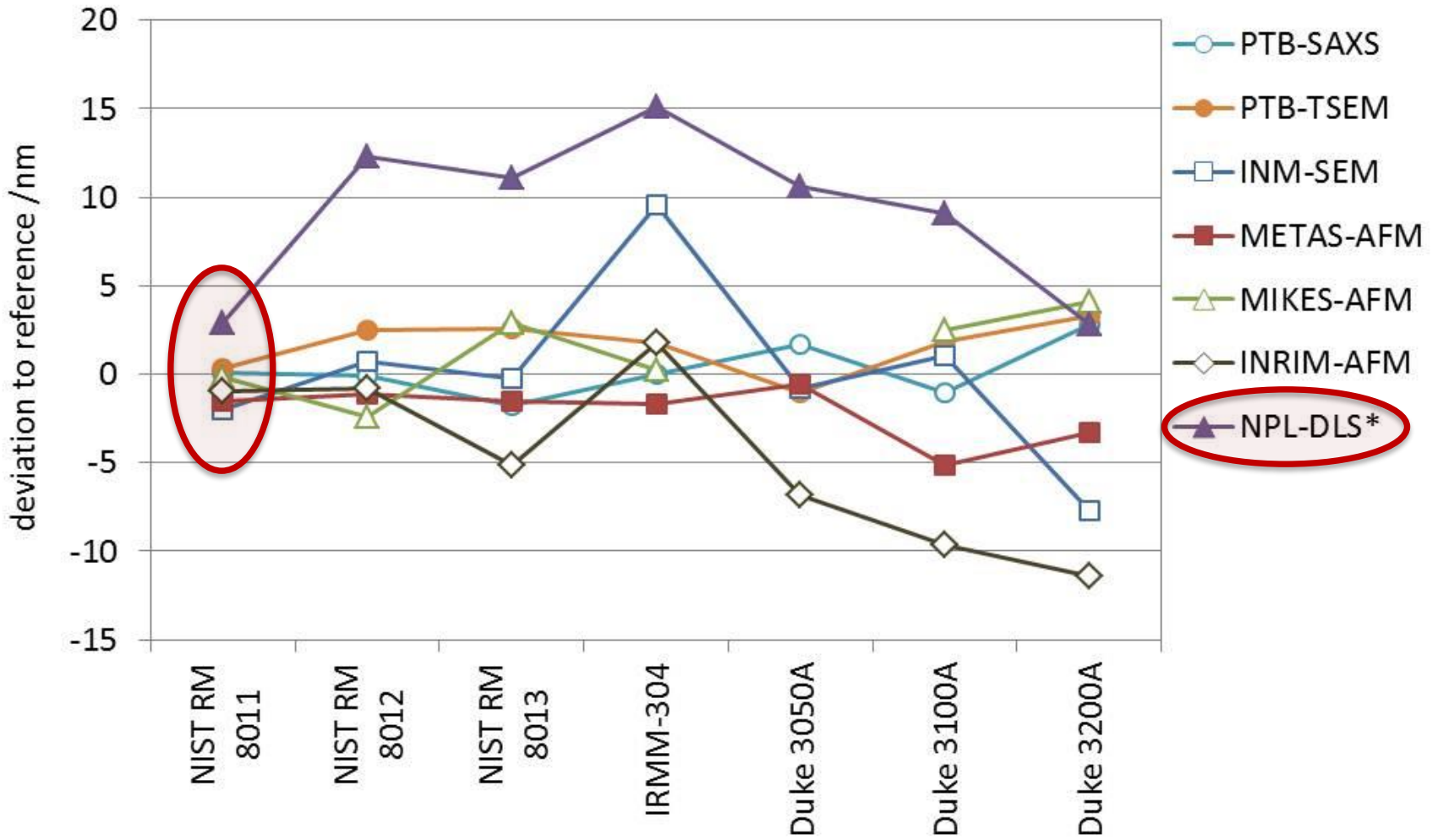
Gold Nanoparticles, Nominal 10 nm Diameter

Table 1. Reference Value Mean Size and Expanded Uncertainty [a]
Average Particle Size (Diameter), in nm

| Technique | Analyte Form | Particle Size (nm) |
|---|---|---|
| Atomic Force Microscopy | dry, deposited on substrate | 8.5 ± 0.3 |
| Scanning Electron Microscopy | dry, deposited on substrate | 9.9 ± 0.1 |
| Transmission Electron Microscopy | dry, deposited on substrate | 8.9 ± 0.1 |
| Differential Mobility Analysis | dry, aerosol | 11.3 ± 0.1 |
| Dynamic Light Scattering | liquid suspension | 13.5 ± 0.1 |
| Small-Angle X-ray Scattering | liquid suspension | 9.1 ± 1.8 |

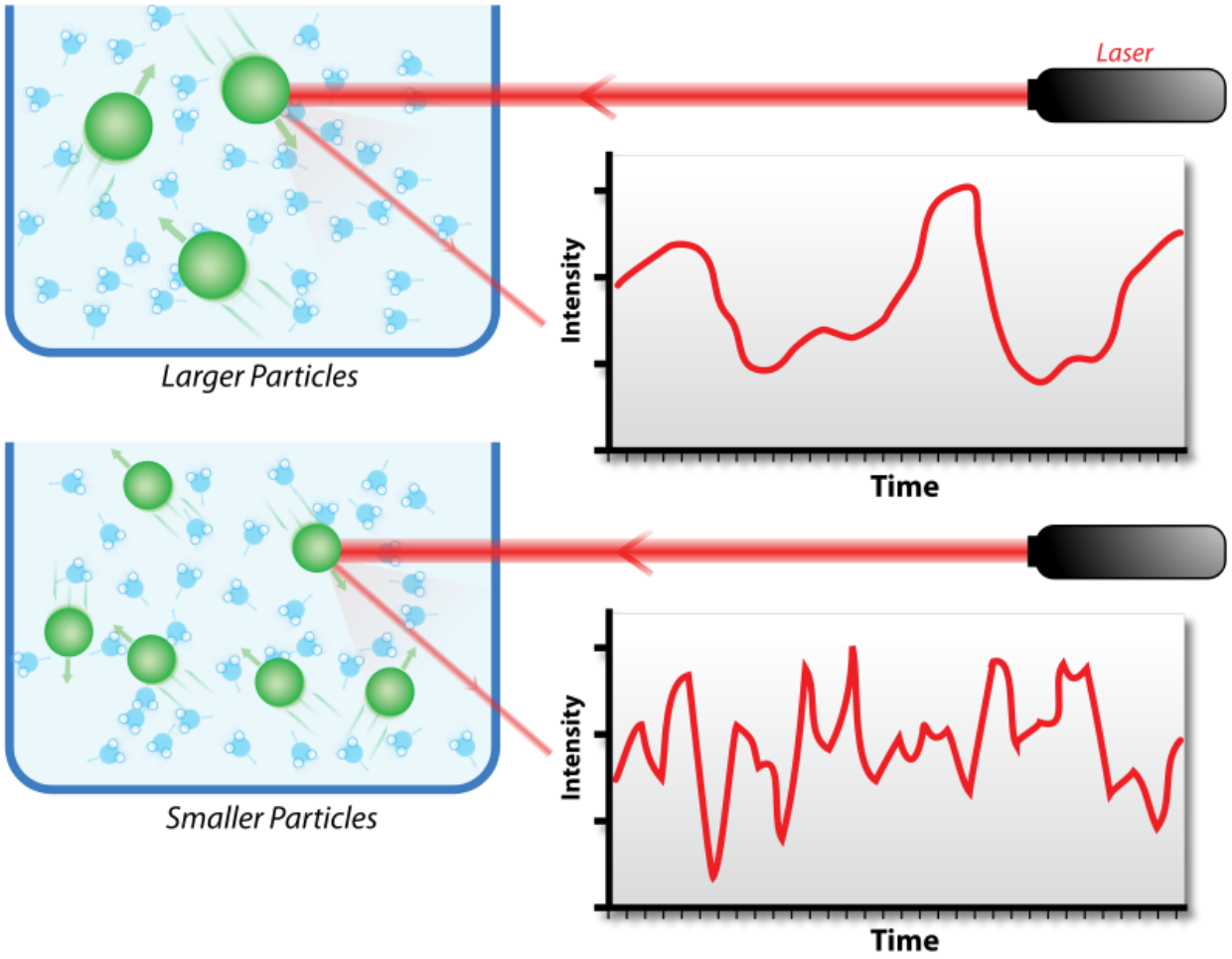
Report of Investigation, December 2007

# Rückführbare Größenbestimmung von Nanopartikeln (iMERA plus Projekt)




F. Meli *et al.*, Meas. Sci. Technol. **23**, 125005 (2012)

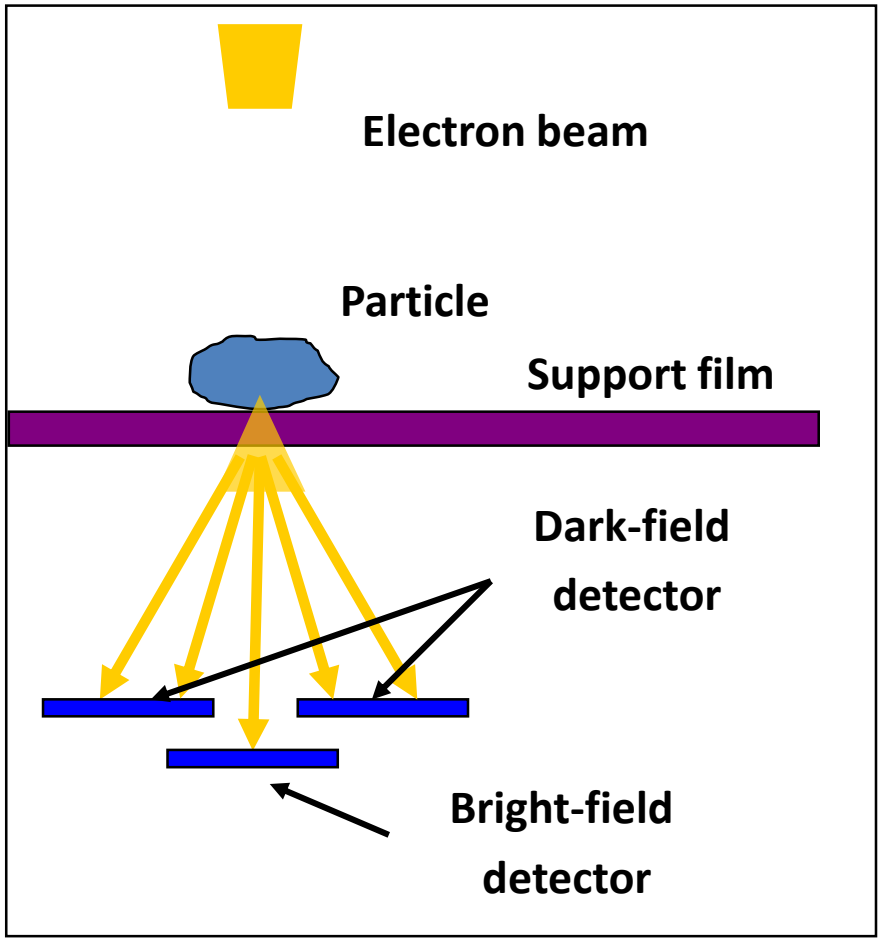
# DLS: Dynamic Light Scattering

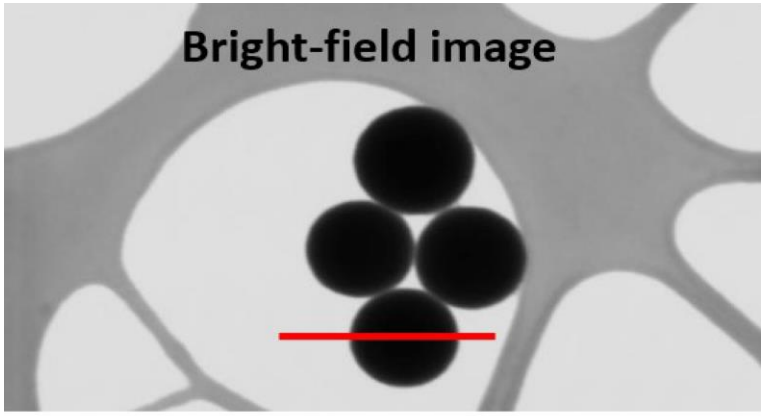


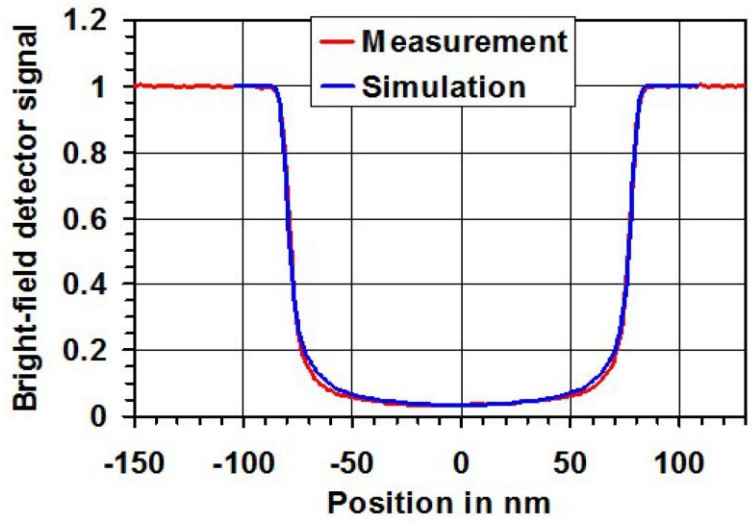

**Brownsche Molekularbewegung → „hydrodynamischer“ Radius**

https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_light_scattering

# TSEM: Transmission Scanning Electron Microscopy



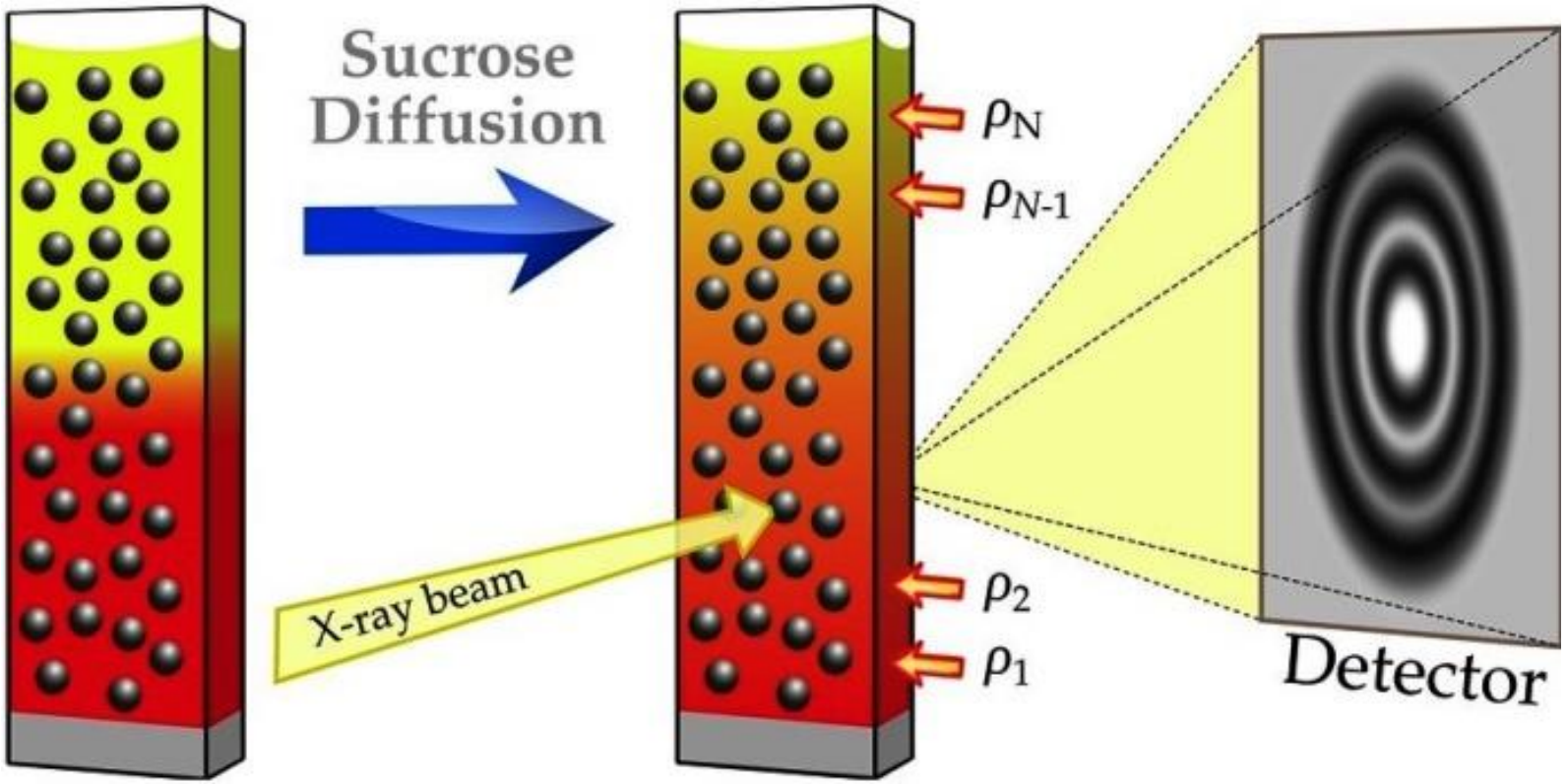




→ **mikroskopische Einzelmessung**

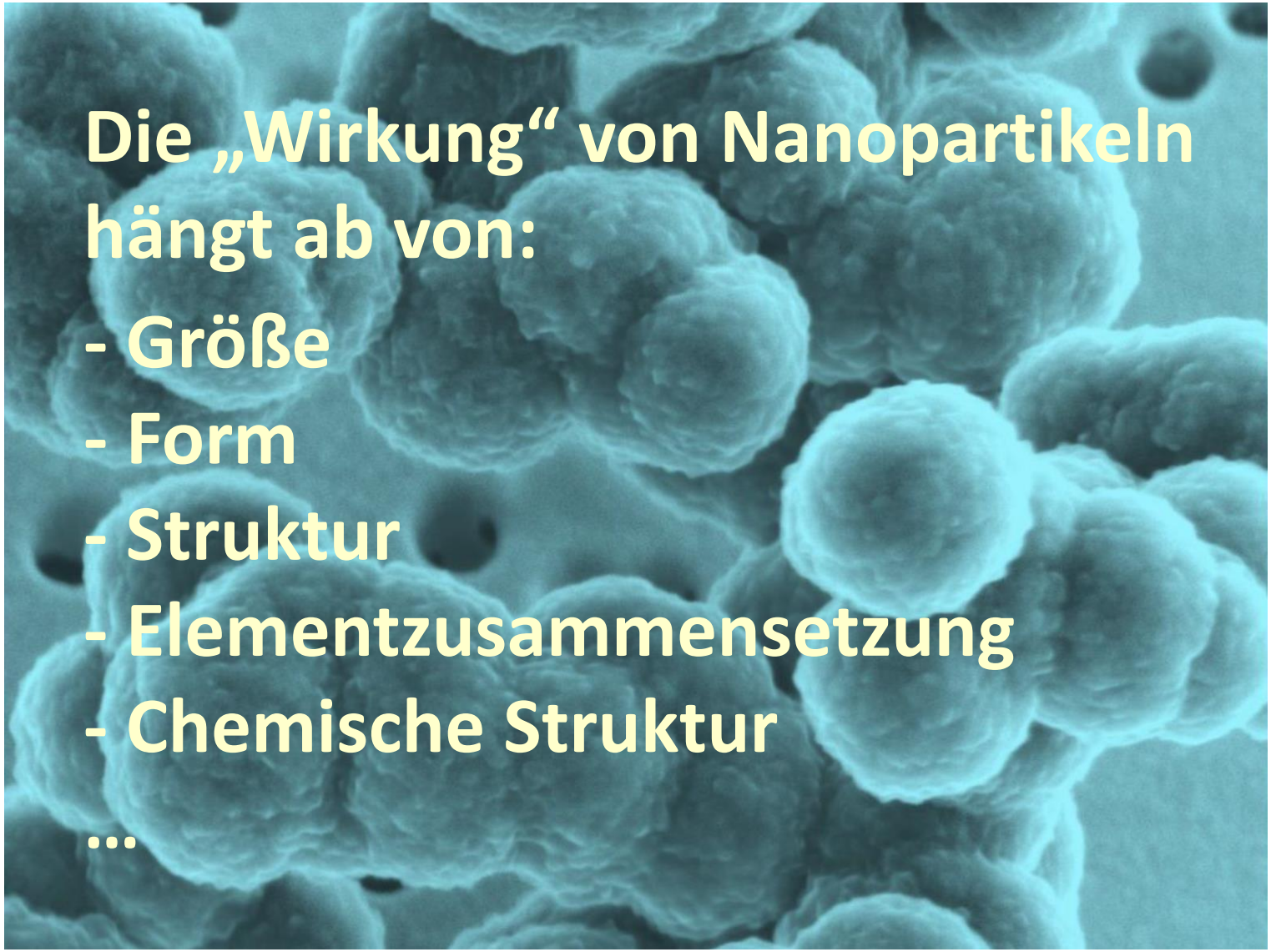
T. Klein, E. Buhr, H. Bosse et al.

# SAXS: Small Angle X-ray Scattering: Continuous Contrast Variation

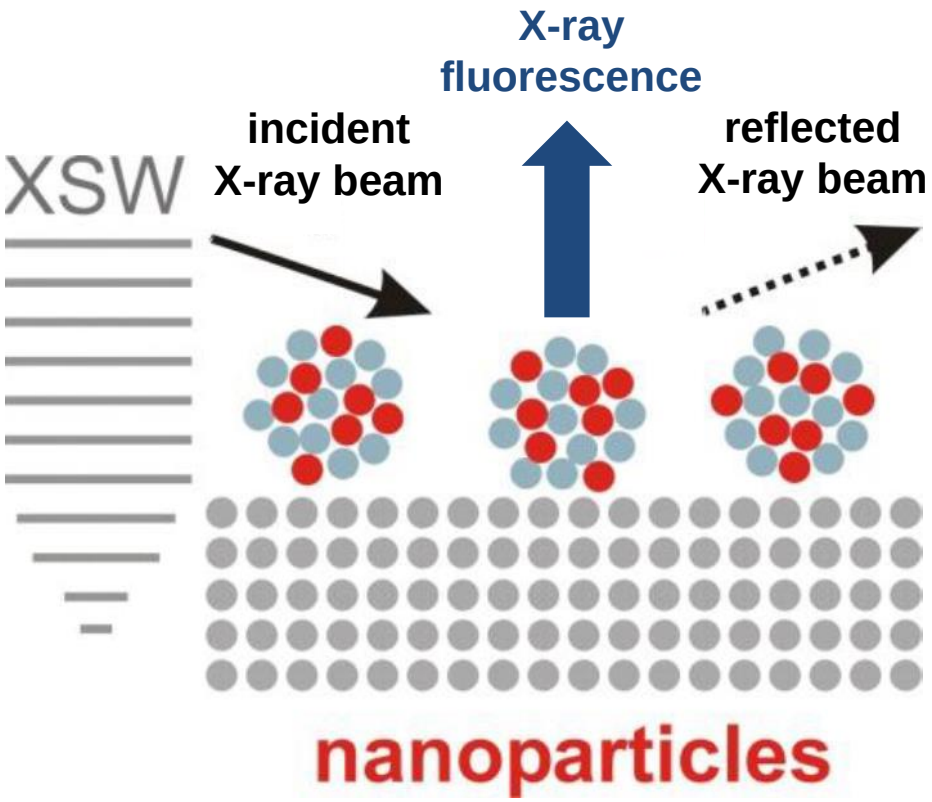



R. Garcia-Diez *et al.*, J. Appl. Cryst.. **48**, 20-28 (2015)

**Röntgenstreuung am Dichtekontrast → Rekonstruktion**

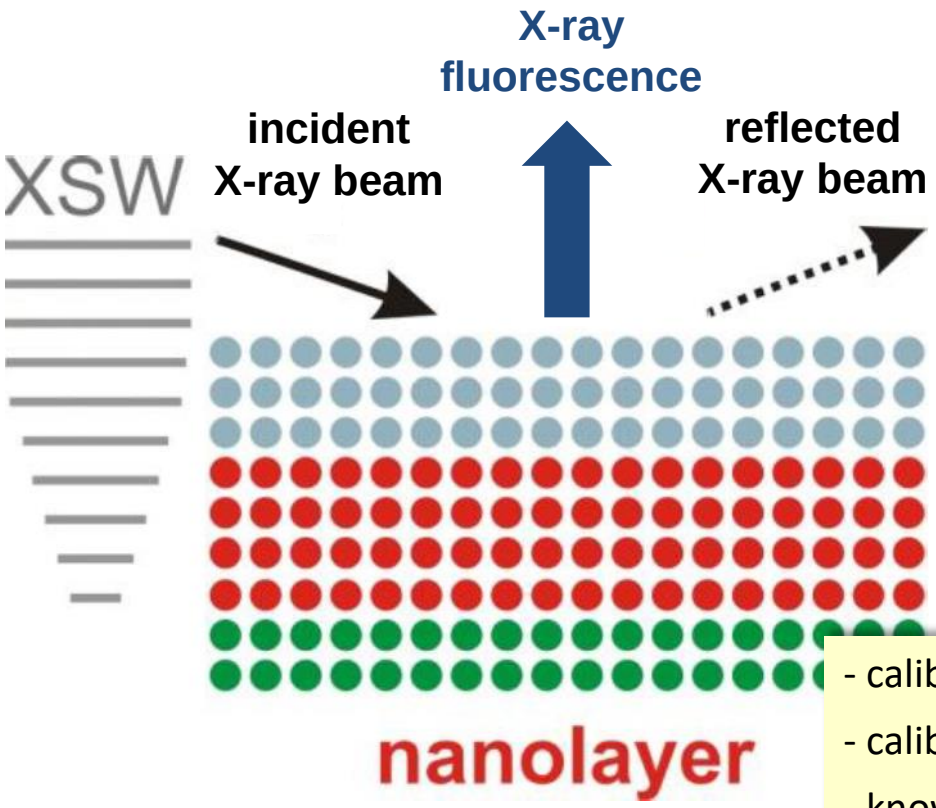

Die „Wirkung“ von Nanopartikeln hängt ab von:
- Größe
- Form
- Struktur
- Elementzusammensetzung
- Chemische Struktur
…

# GIXRF: Grazing Incidence X-ray Fluorescence: X-ray Standing Wave (XSW) Geometry




JAAS 23, 845 (2008)

# GIXRF: Grazing Incidence X-ray Fluorescence: X-ray Standing Wave (XSW) Geometry

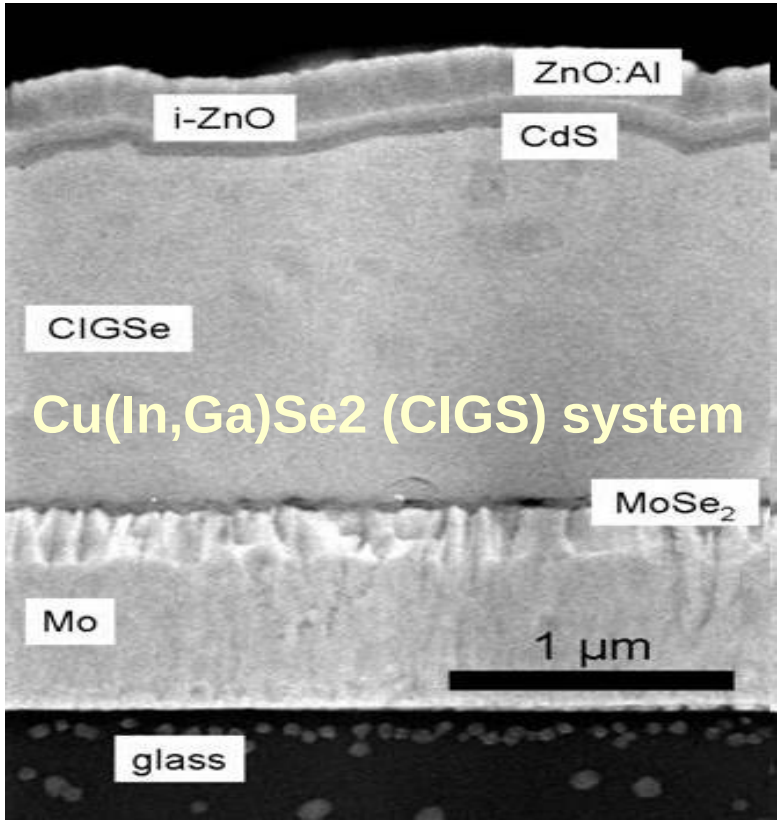


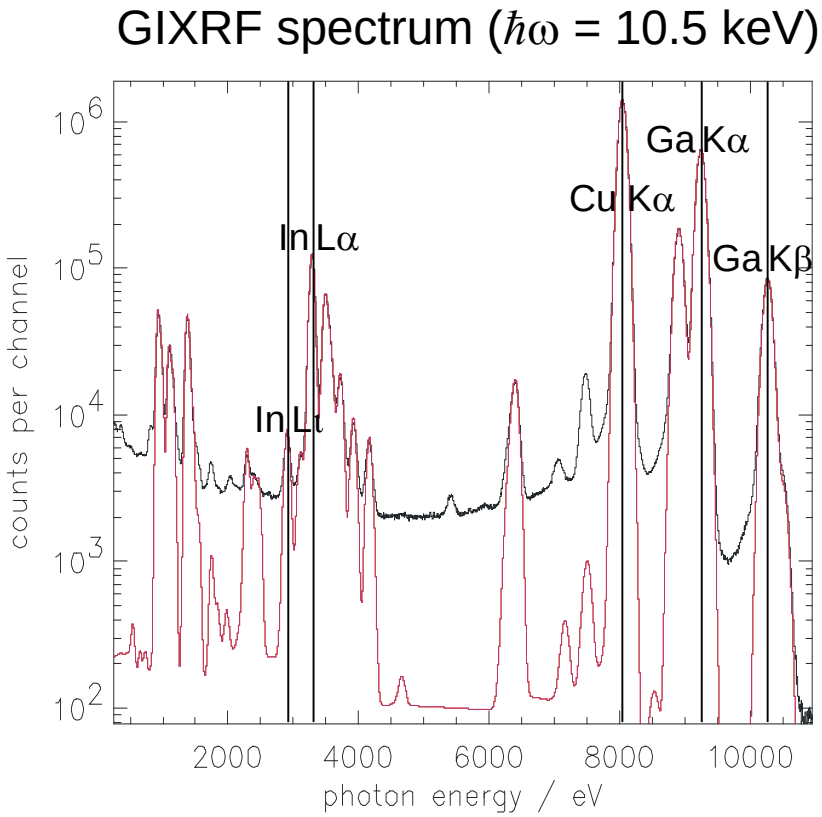

- calibrated incident X-ray intensity
- calibrated detection of X-ray fluorescence
- known fundamental parameters
  (exciation cross sections, fluorescence yields, …)

**→ reference-free XRF analysis**

JAAS 23, 845 (2008)

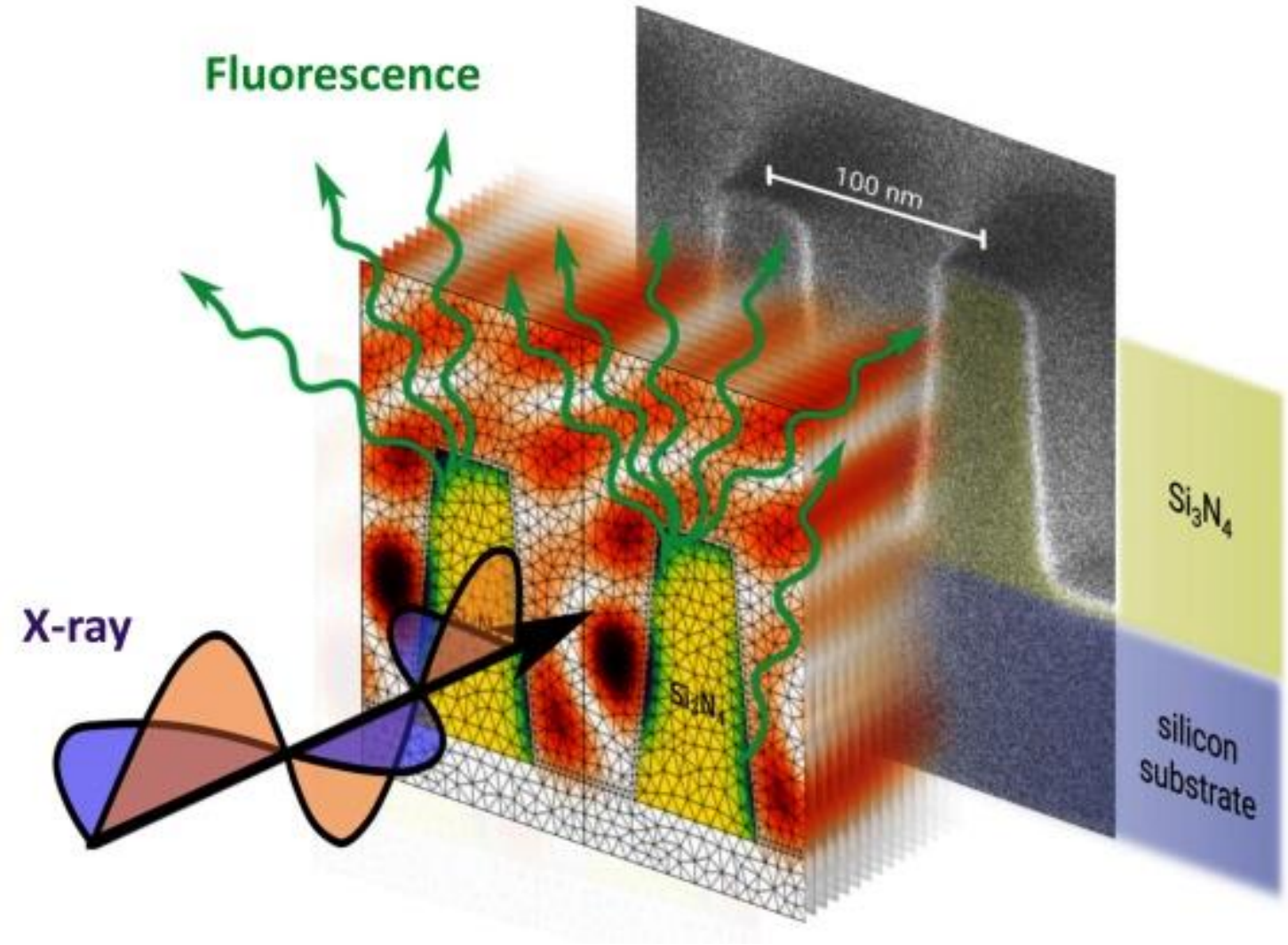
# GIXRF on CIGSe Photovoltaics




C. Streeck *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. B **268**, 277 (2009)

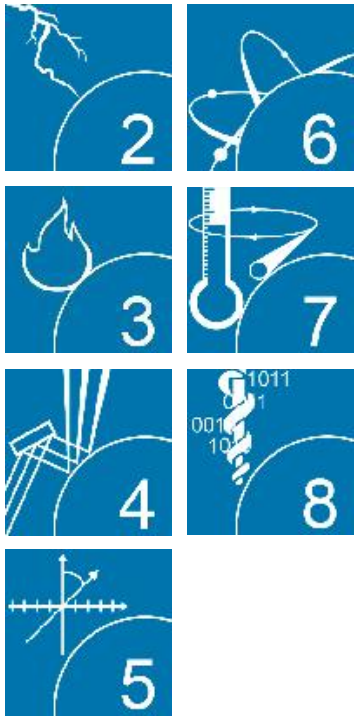
# GIXRF and FEM Modeling on Semiconductur Nanostructures




V. Soltwisch *et al.*, Nanoscale **10**, 6177 (2018)

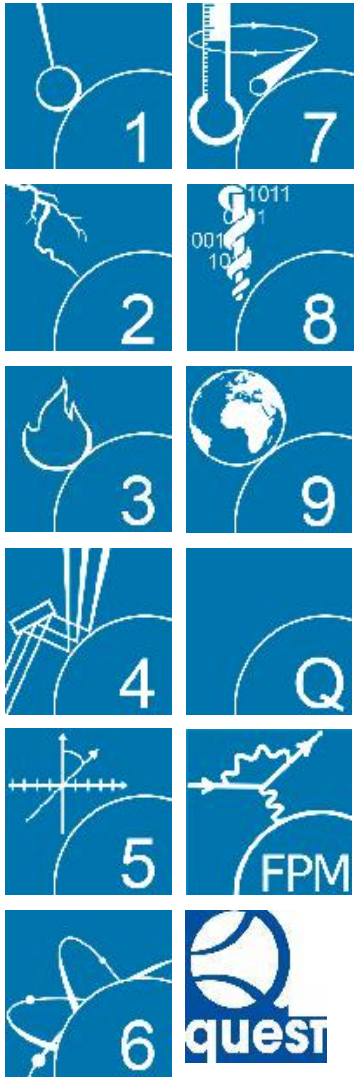
# Physikalisch-Technische Bundesanstalt
# Themenbereich „Nanometrologie

- Nanoskalige Partikel
- Faserartige Materialien
- Magnetische Nanomaterialien
- Biomedizinische Nanomaterialien
- Materialien der Halbleiterindustrie
- Materialien der Photovoltaik
- Materialien der Batterieforschung
- Nanomechanische Materialien



# Physikalisch-Technische Bundesanstalt
# Strategieklausur 2019: Querschnittsthemen

- Digitalisierung
- Energie
- Umwelt und Klima
- Medizin
- Quantentechnologien
- Themenbereich Nanometrologie
- Synchrotronstrahlung
- …



# Neuartige Materialien und Metrologie

Mathias Richter und Harald Bosse

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Themenbereich „Nanometrologie“

## Fazit

Sowohl für die technologische Entwicklung und Herstellung von Bauteilen und Produkten auf der Grundlage neuartiger (nanoskaliger) Materialien in Bereichen von der Photovoltaik bis hin zur Medizin als auch für die Aspekte des Verbraucher-, Arbeits-, Gesundheits-, Umwelt- oder Klimaschutzes bildet eine verlässliche Charakterisierungsmesstechnik die Bewertungsgrundlage.