



Steinbeis-Transferzentrum
Tribologie in Anwendung
und Praxis

Messen, was den Unterschied macht – Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

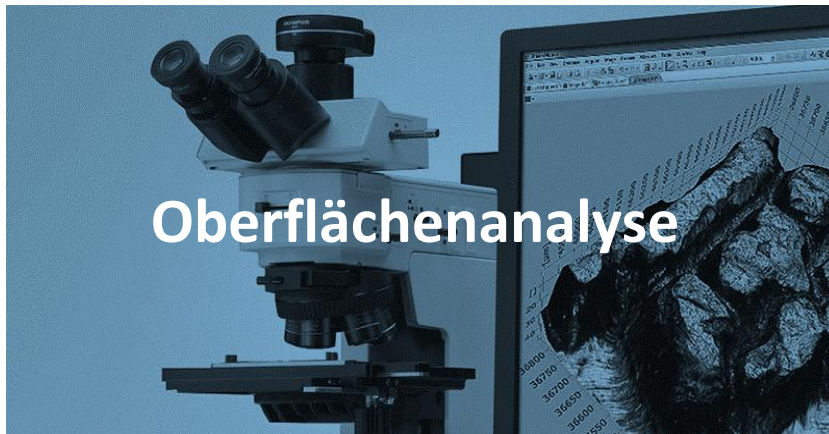
Steinbeis-Transferzentrum
Tribologie, Oberflächenanalyse, Materialprüfung

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Schorr

www.steinbeis-analysezentrum.com

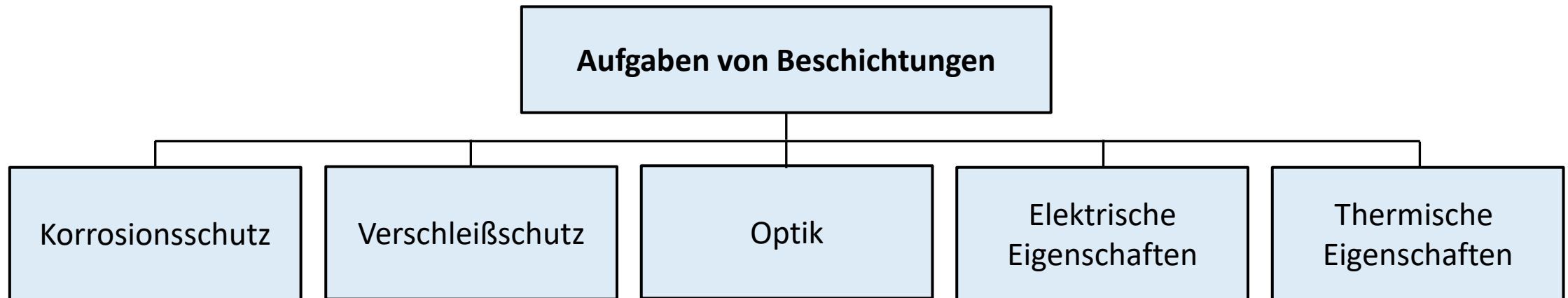
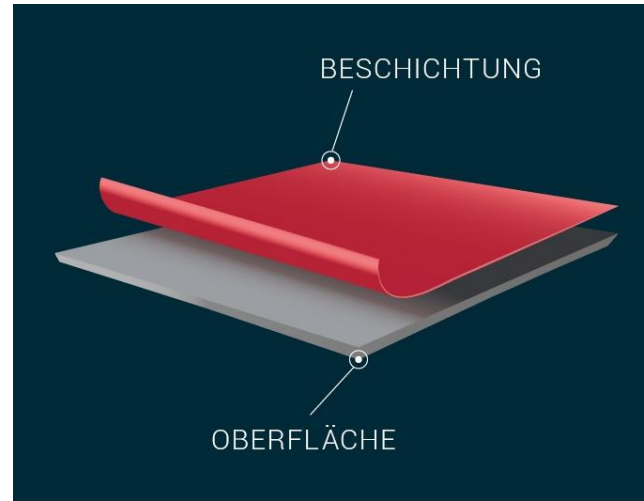
Steinbeis-Transferzentrum

Tribologie, Oberflächenanalyse und Materialprüfung



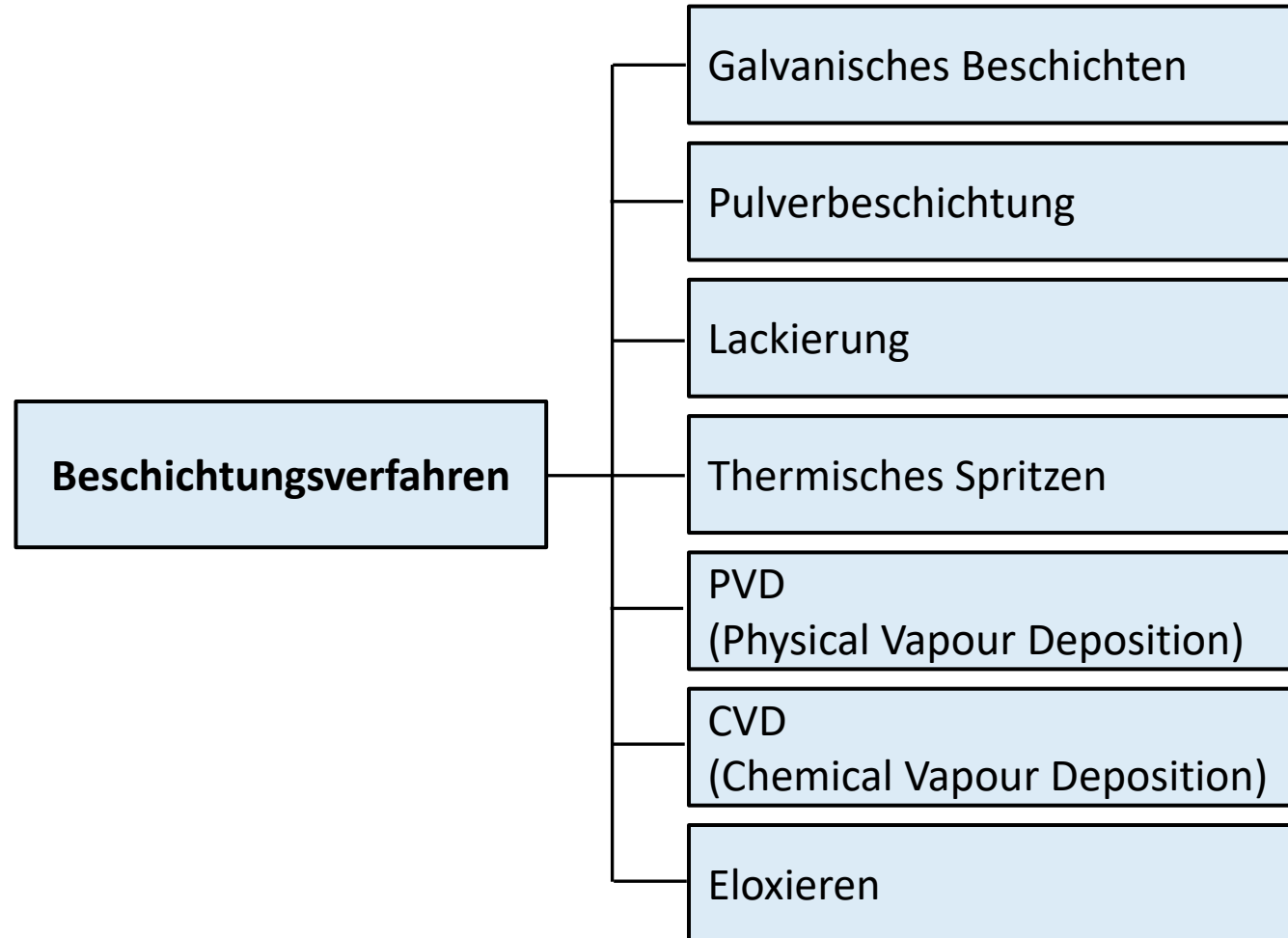
Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Aufgaben einer Beschichtung



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Beschichtungsverfahren



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichteigenschaften

Schichteigenschaften

Schichtdicke

Reibeigenschaften

Eindringmodul
(E-Modul)

Oberflächenqualität
(Rauheit, Homogenität)

Haftfestigkeit

Verschleißfestigkeit

Eigenspannungen

Härte

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichteigenschaften

Schichteigenschaften

Schichtdicke

Reibeigenschaften

Eindringmodul
(E-Modul)

Oberflächenqualität
(Rauheit, Homogenität)

Haftfestigkeit

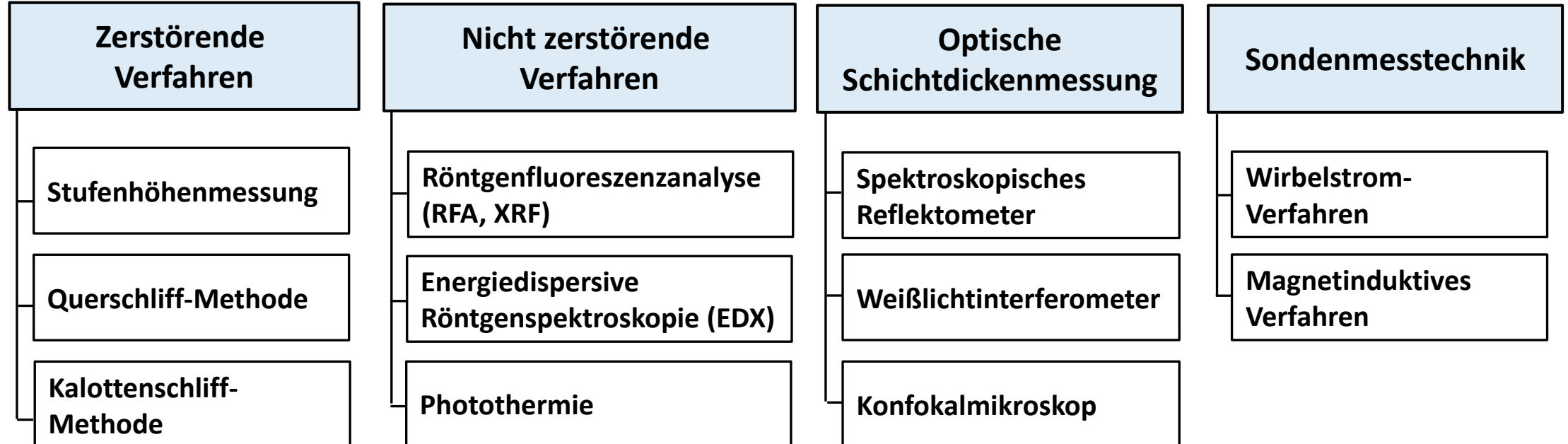
Verschleißfestigkeit

Eigenspannungen

Härte

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

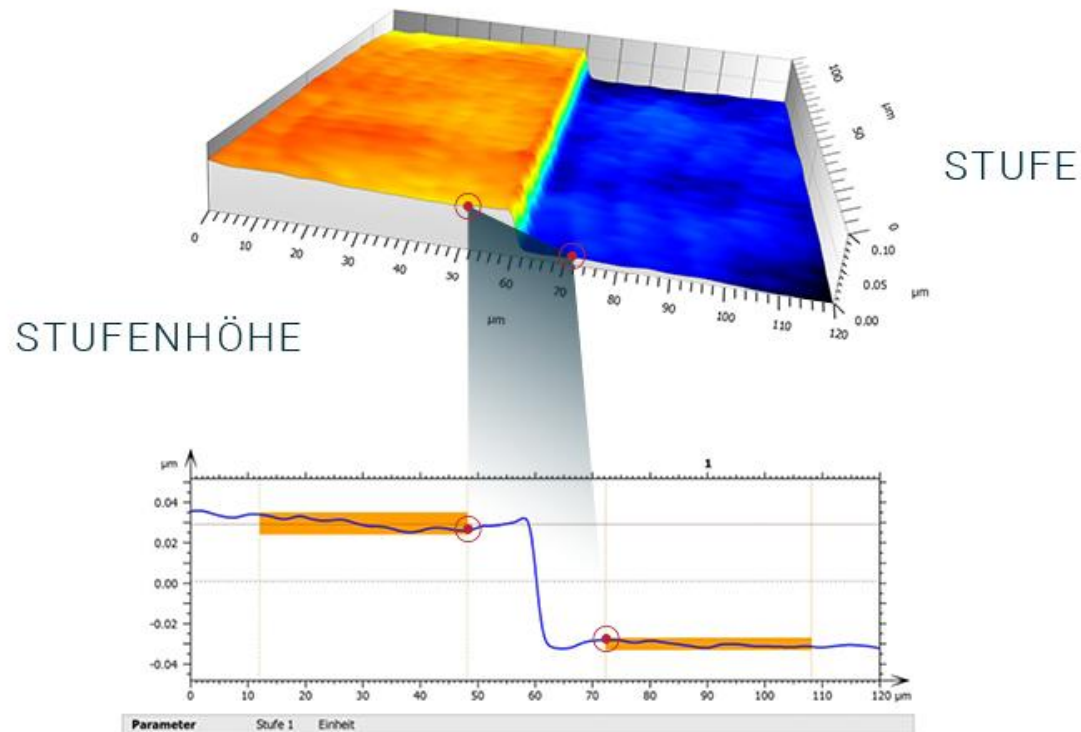
Schichtdickenmessung



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

Stufenhöhenmessung



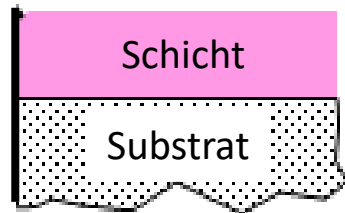
Messgeräte

- Taktils Profilometer
- Optische Messgeräte
 - Konfokalmikroskop
 - Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop
 - Weißlichtinterferometer (WLI)
 - Rasterkraftmikroskop (AFM)

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

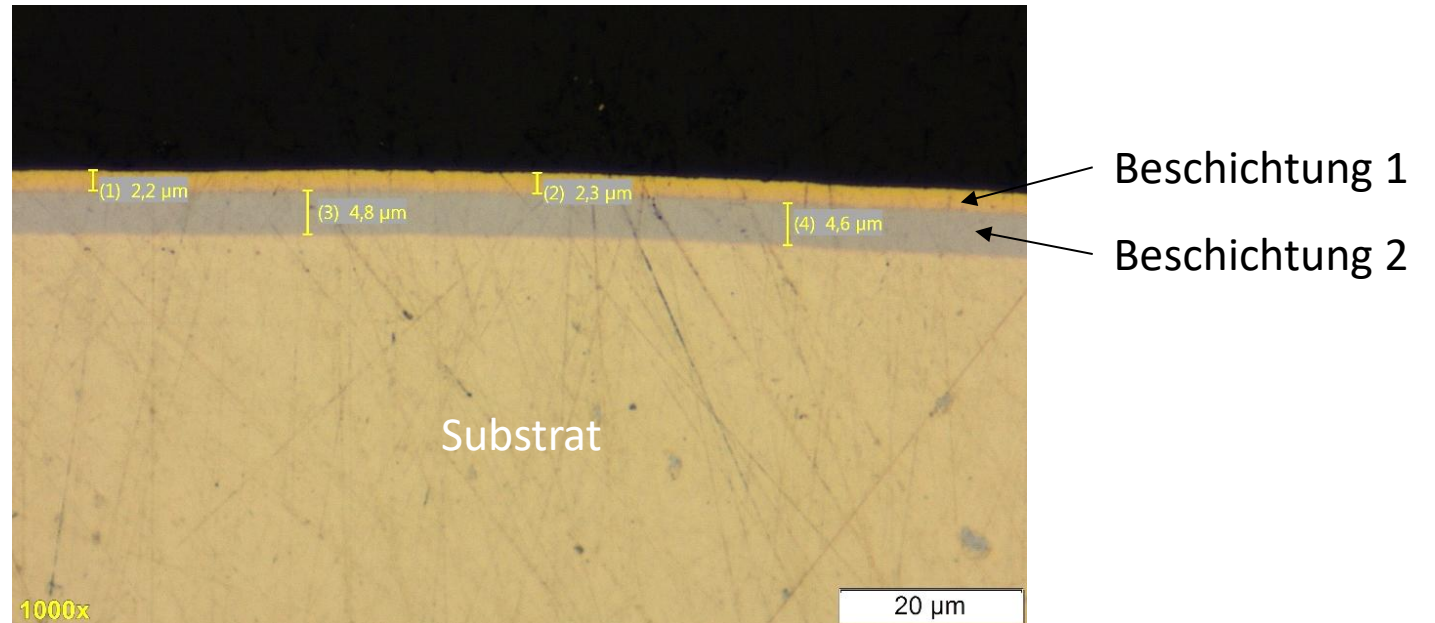
Schichtdickenmessung

Querschliff-Methode



Schichtdicken

- ab 1,5 μm (LiMi)



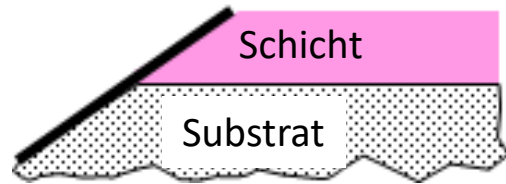
Messgeräte

- Lichtmikroskop (LiMi)
- Rasterelektronenmikroskop (REM)

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

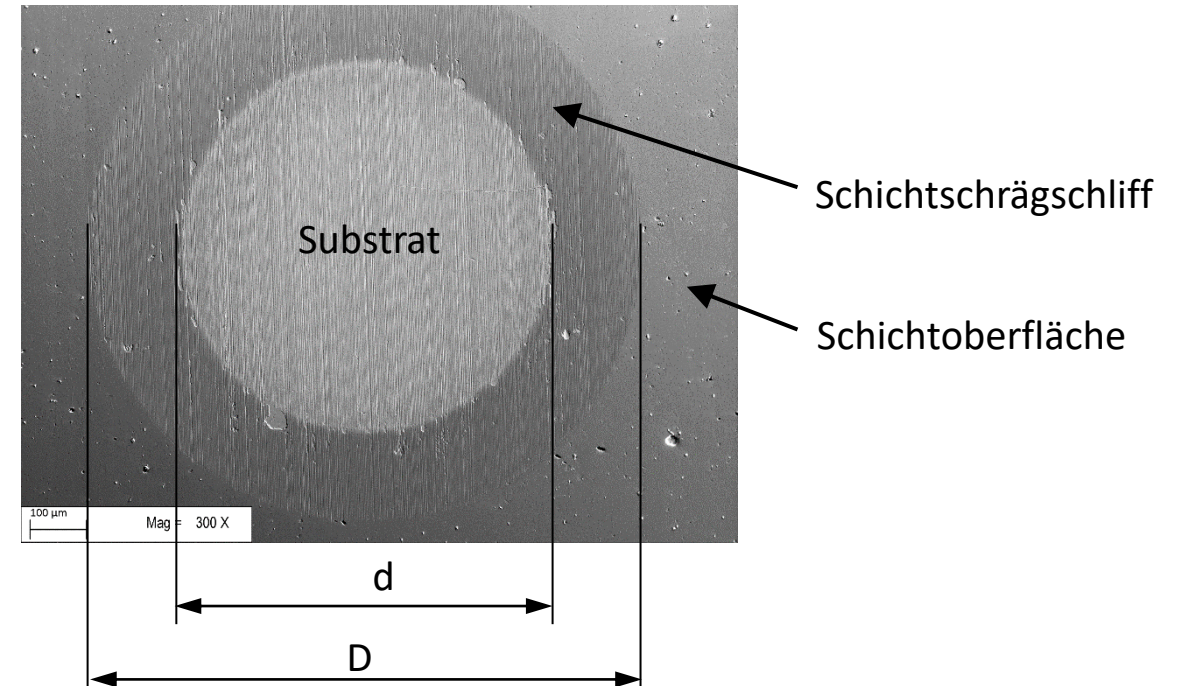
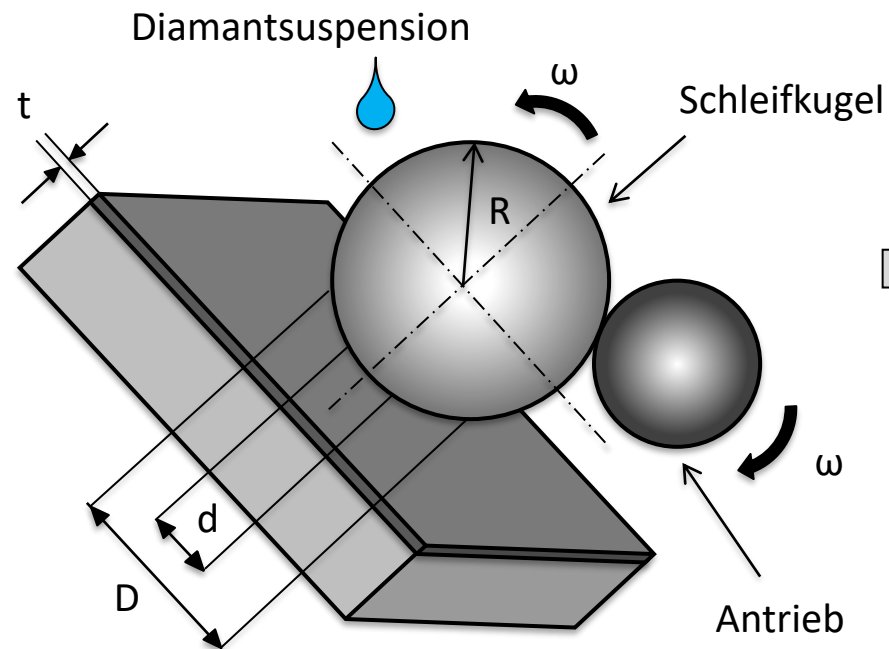
Schichtdickenmessung

Kalottenschliff-Methode (Schrägschliff-Methode)



Schichtdicken

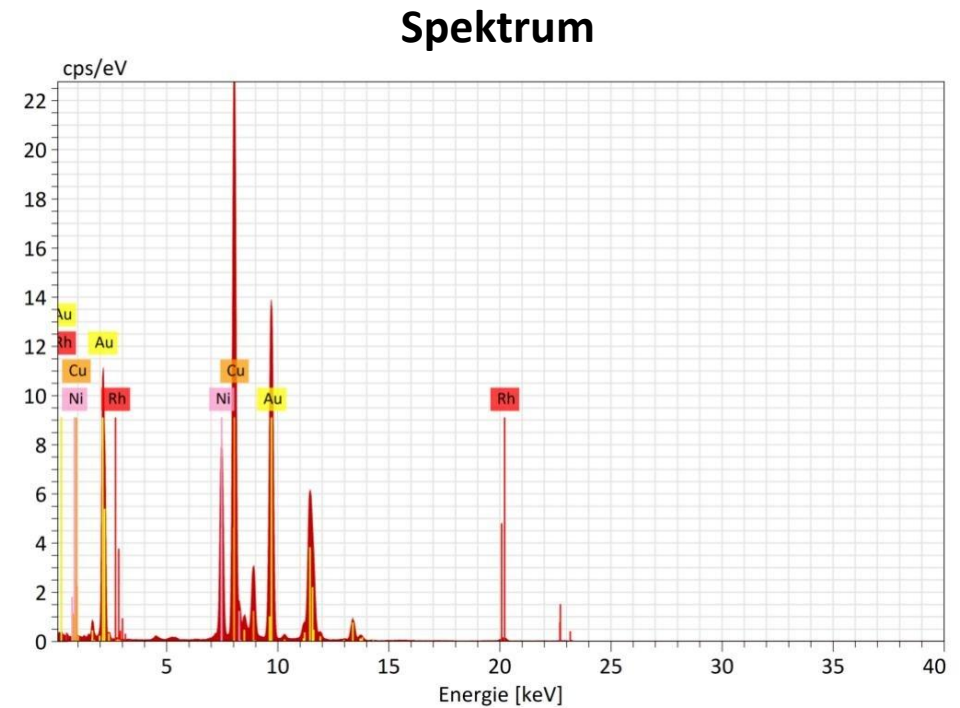
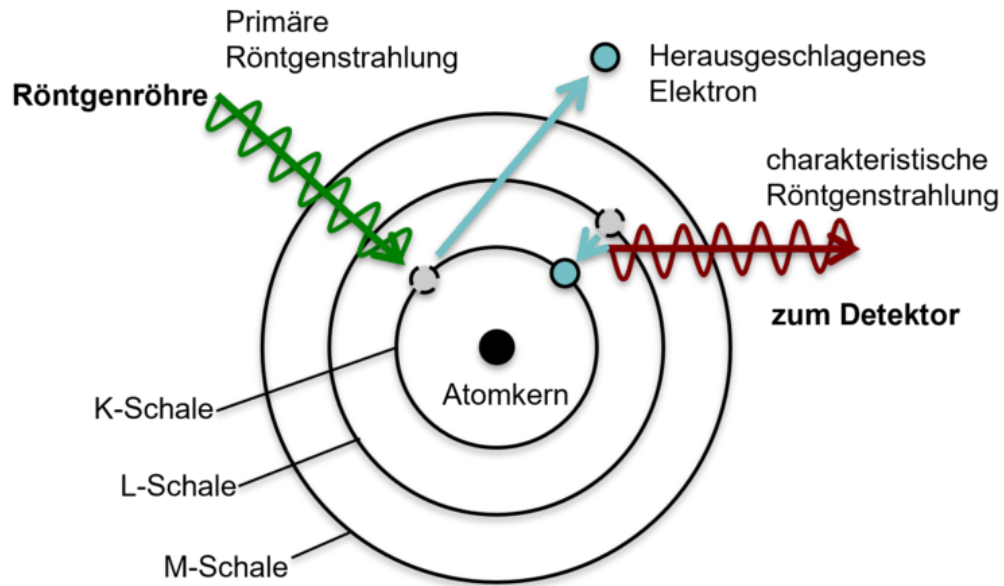
- ab $0,5\ \mu\text{m}$



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

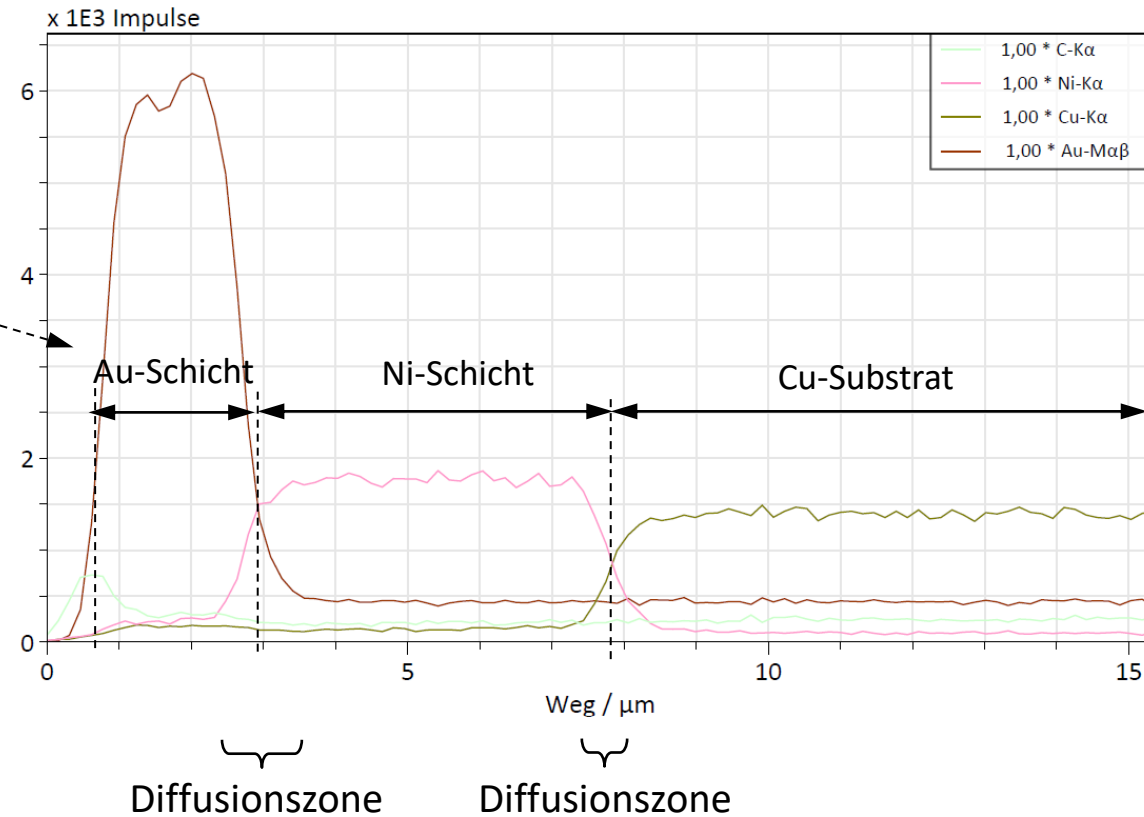
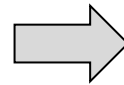
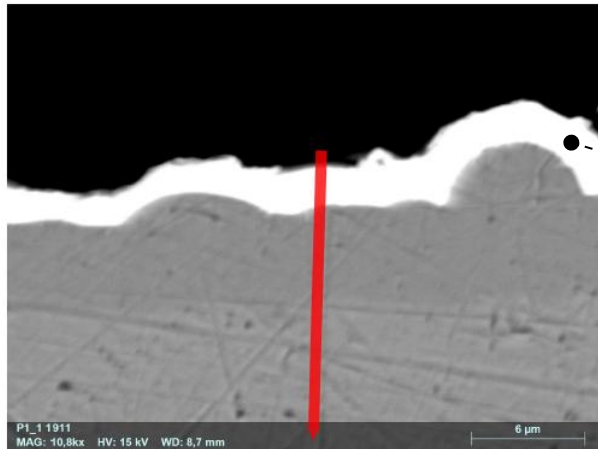
Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

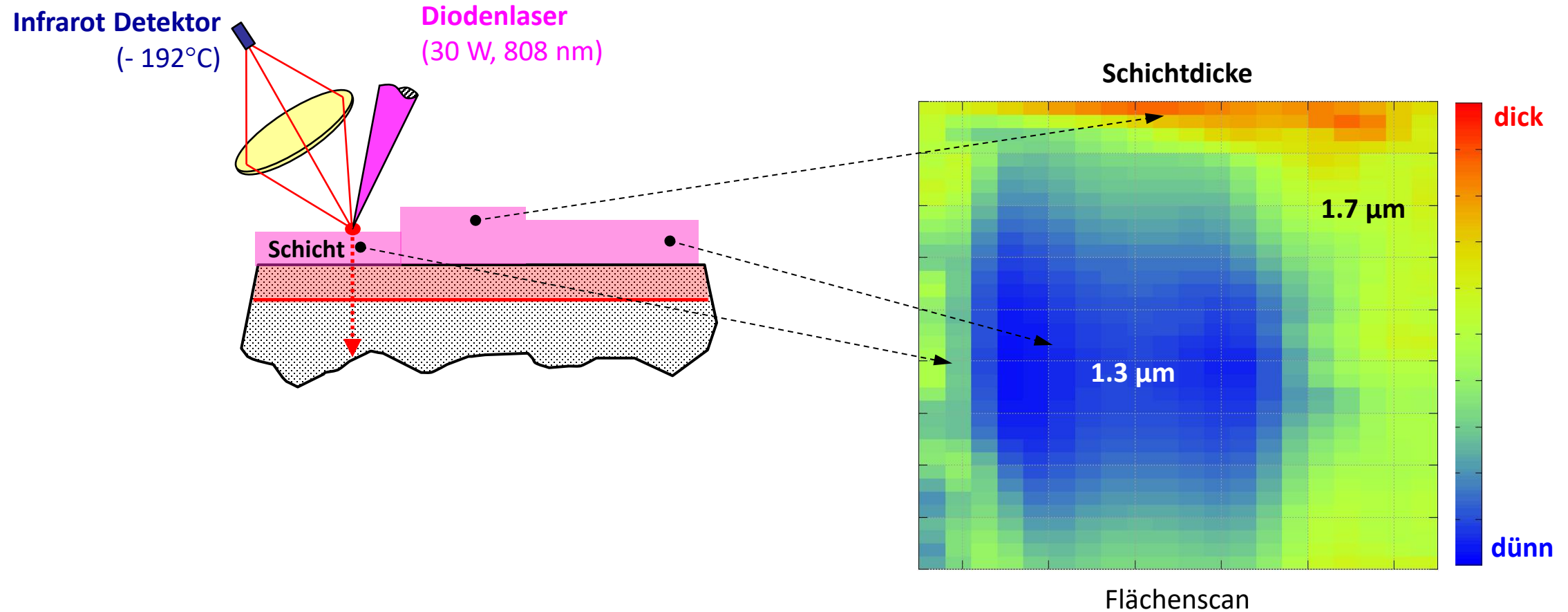
Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) am REM



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

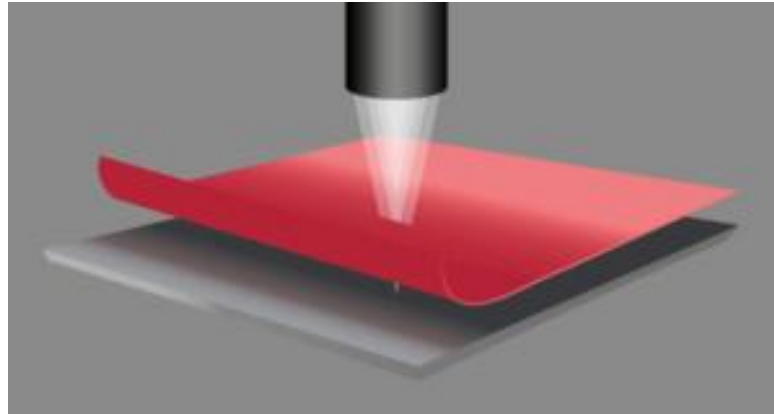
Photothermie



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

Optische Messverfahren



Beschichtungen

- Dünnschichten
- Oxidschichten
- Transparente Schutzlacke
- Ölfilmschichtdicken
- Folienstärken

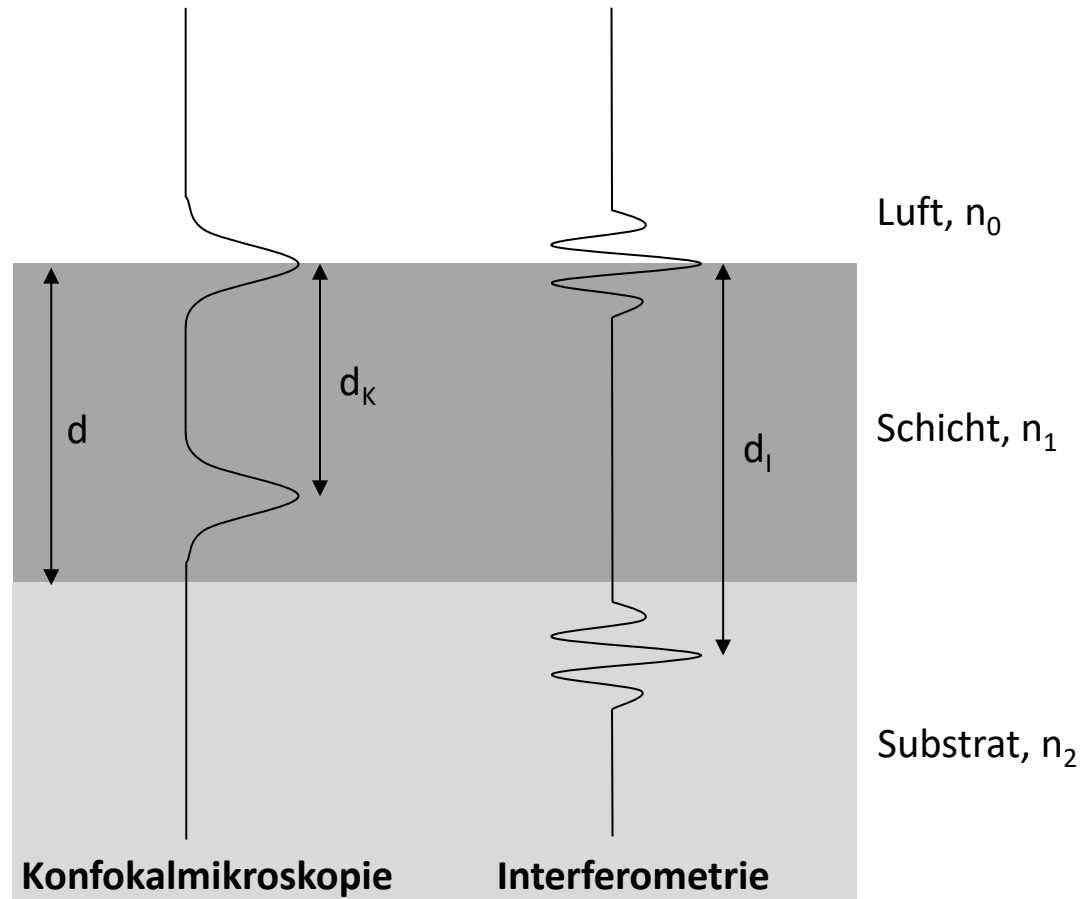
Verfahren

- Spektroskopische Reflektometrie
- Konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie
- Weißlichtinterferometrie

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

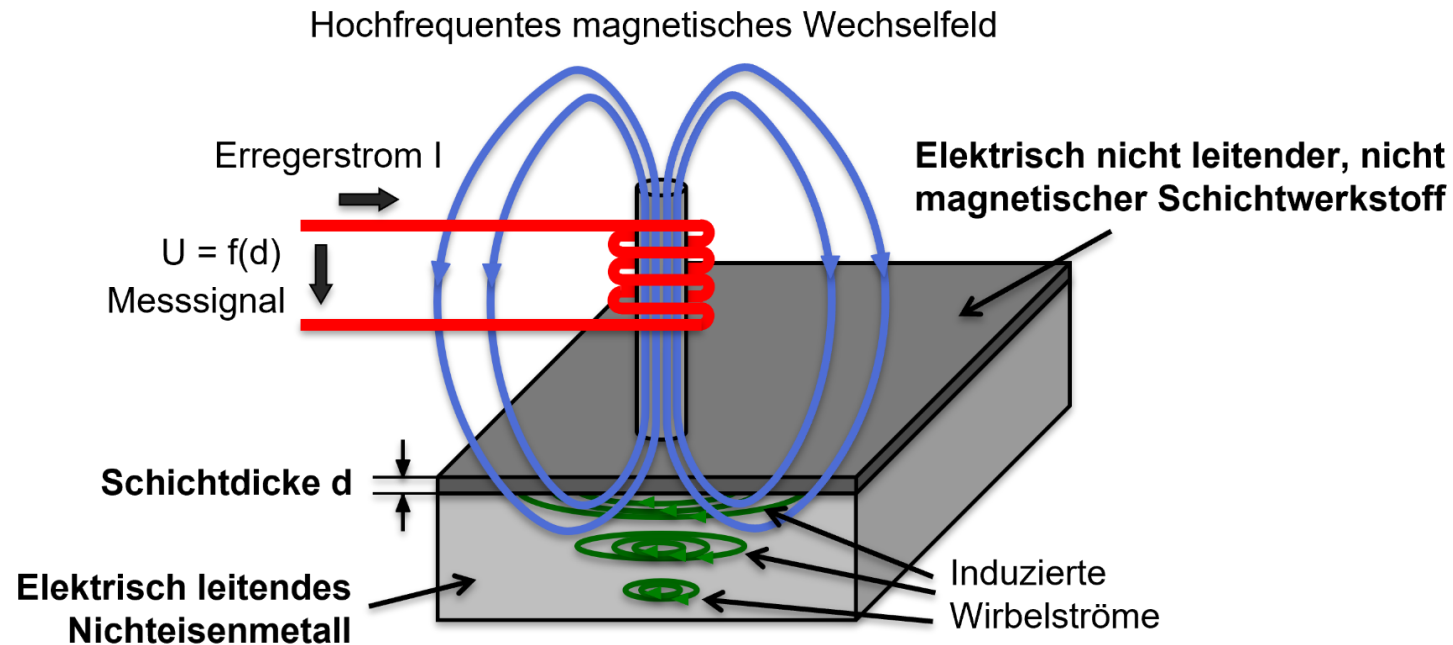
Optische Messverfahren



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

Wirbelstromverfahren

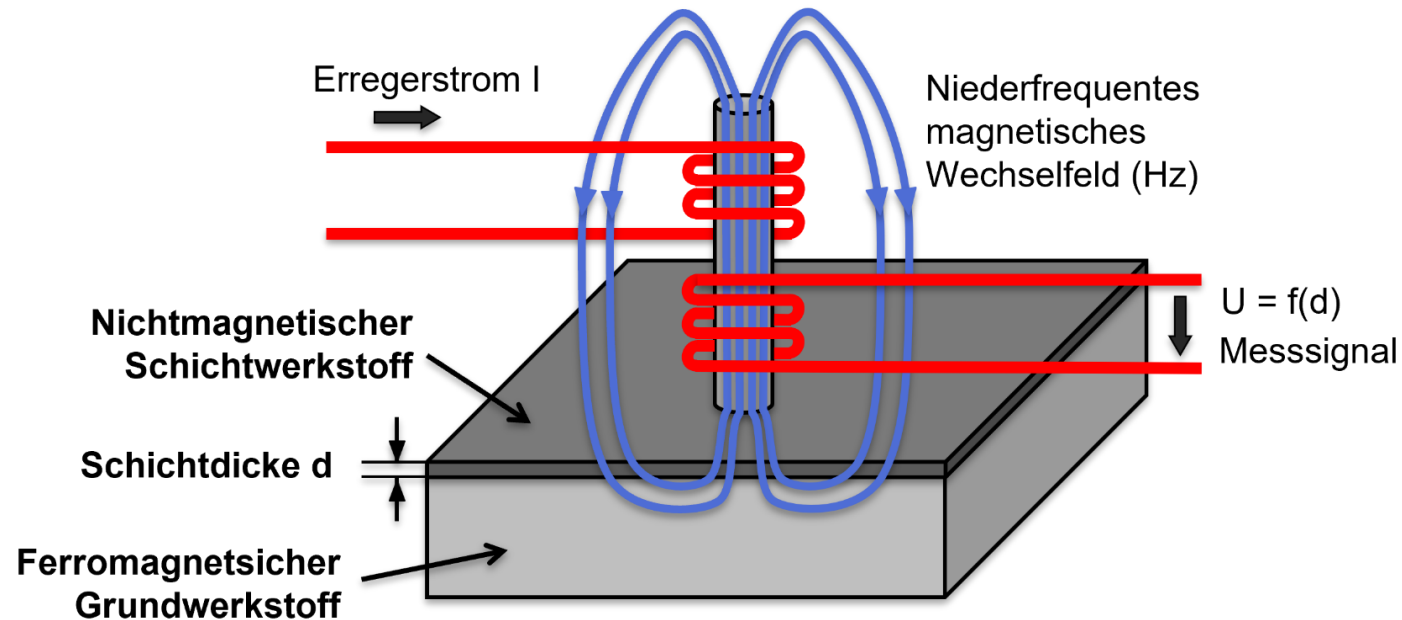


- Messung von anodischen Schichten (z.B. Eloxalschichten) auf Aluminium
- Farb-, Email-, Lack- oder Kunststoff-Schichten auf Alu, Messing, Bronze, Kupfer, Blei, Titan, Zink, nicht magnetischer Stahl
- Schichtdicke: 5 – 2000 μm

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

Magnetinduktives Verfahren

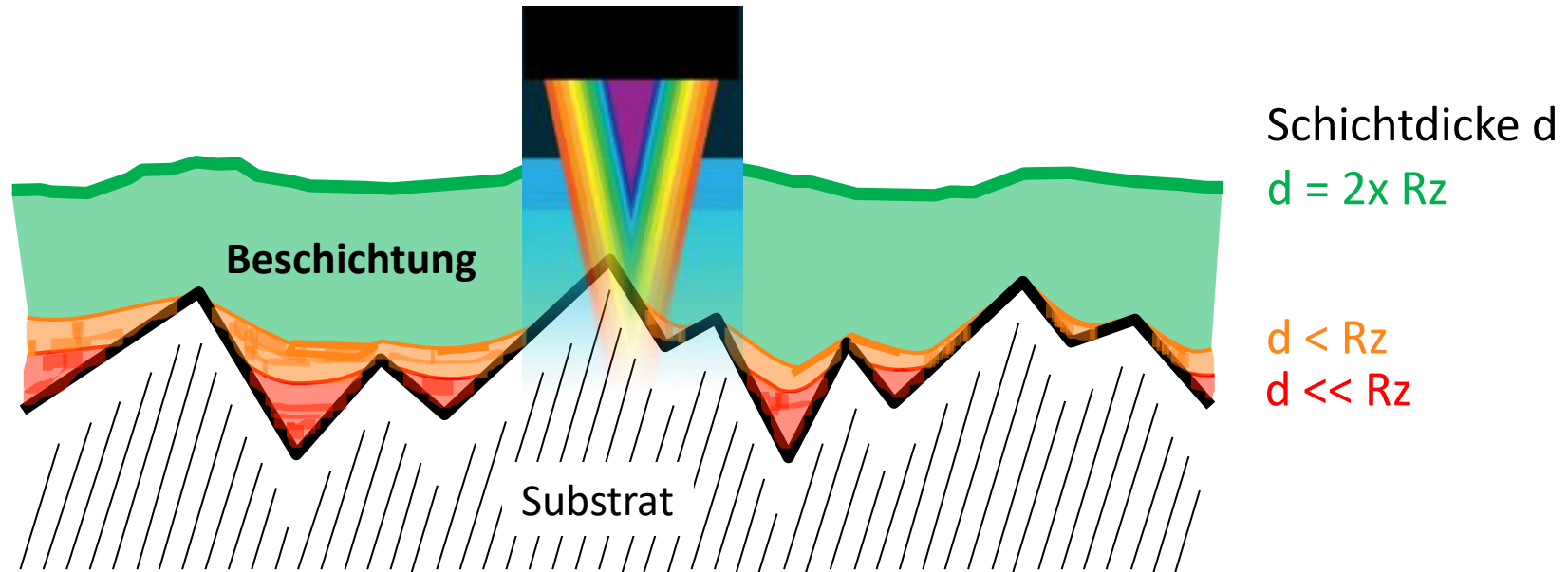


- Galvanische Schichten aus Aluminium, Chrom, Kupfer, Messing, Zinn, Zink auf Stahl und Eisen
- Farb-, Email-, Lack- oder Kunststoff-Schichten auf Stahl und Eisen
- Schichtdicke: 5 – 2000 μm

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichtdickenmessung

Schichtdicke und Rauheit



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichteigenschaften

Schichteigenschaften

Schichtdicke

Reibeigenschaften

Eindringmodul
(E-Modul)

Oberflächenqualität
(Rauheit, Homogenität)

Haftfestigkeit

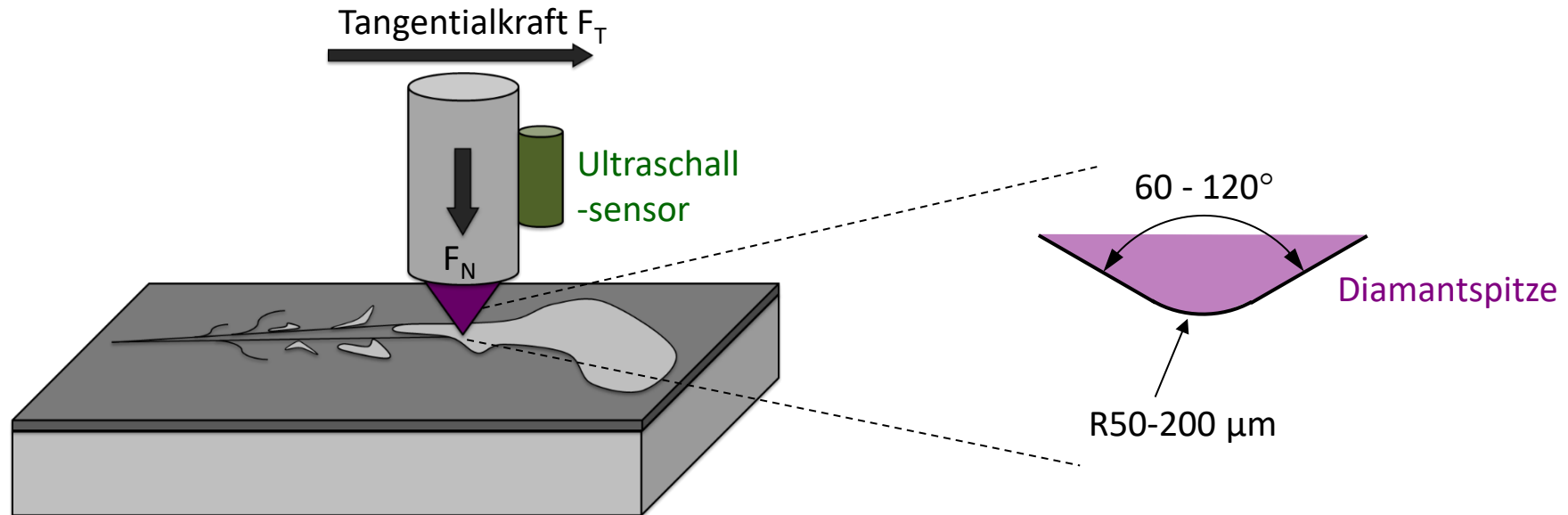
Verschleißfestigkeit

Eigenspannungen

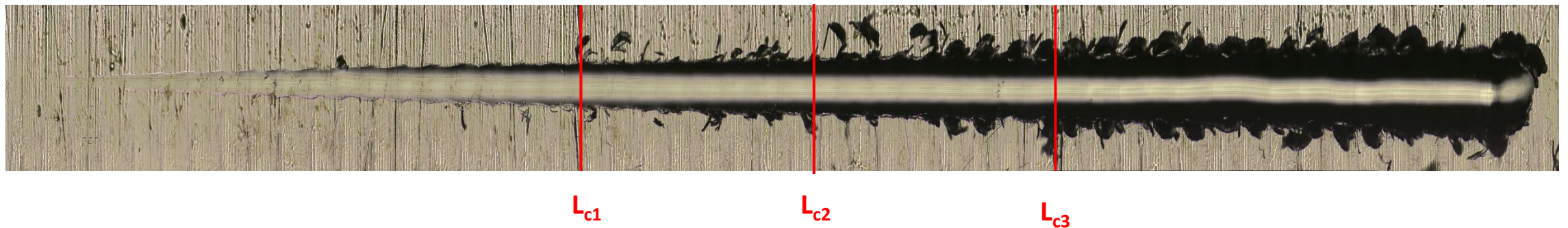
Härte

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Haftfestigkeitsprüfung



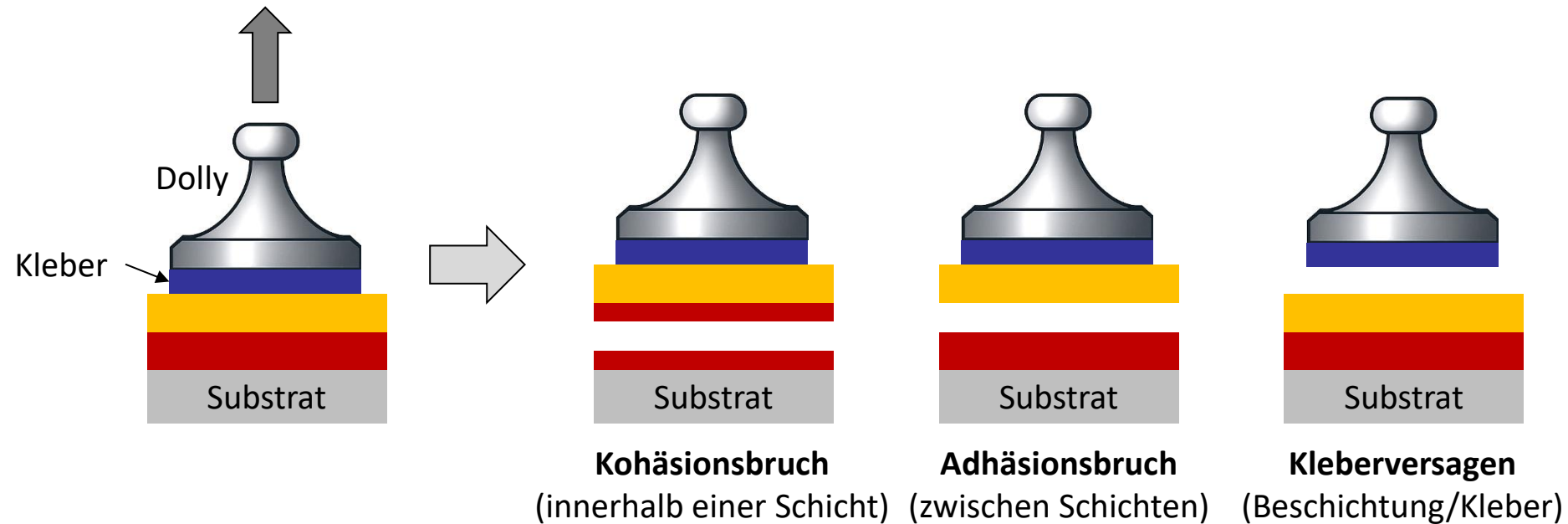
Panoramabild



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Haftfestigkeitsprüfung

Abreißtest (Pull-Off-Test)



Beschichtungen

- Haftfestigkeitsprüfung von Lacken

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichteigenschaften

Schichteigenschaften

Schichtdicke

Reibeigenschaften

Eindringmodul
(E-Modul)

Oberflächenqualität
(Rauheit, Homogenität)

Haftfestigkeit

Verschleißfestigkeit

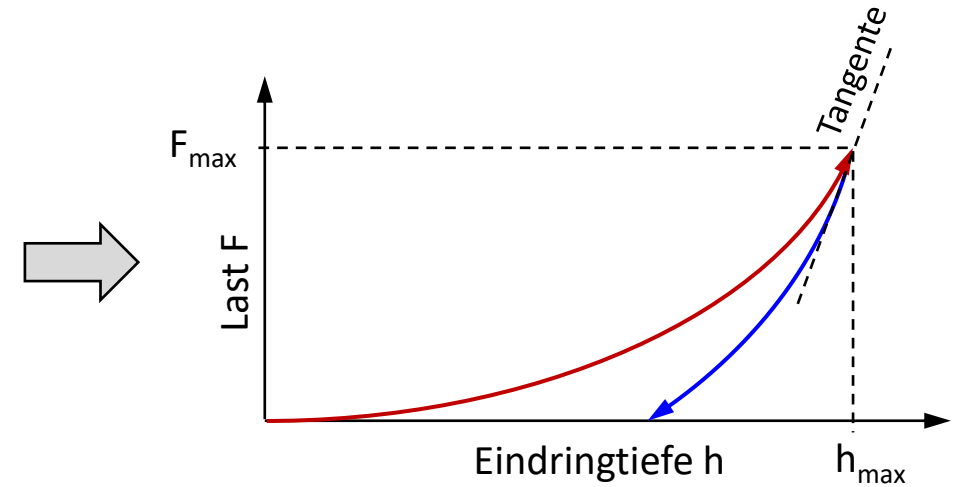
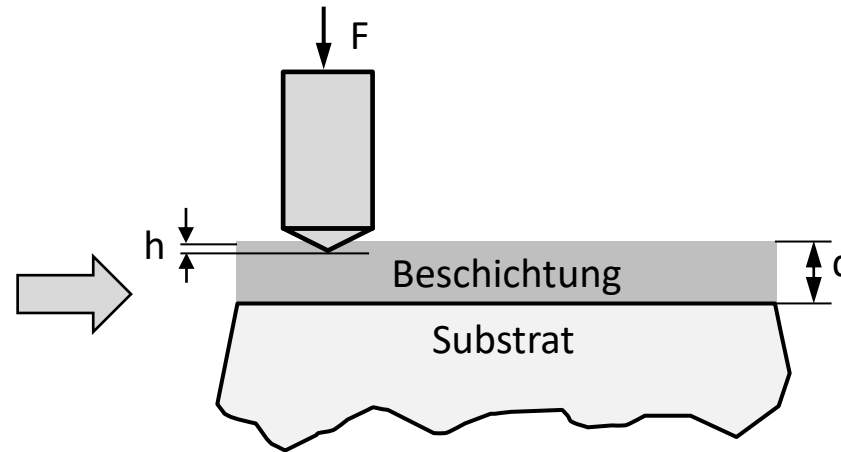
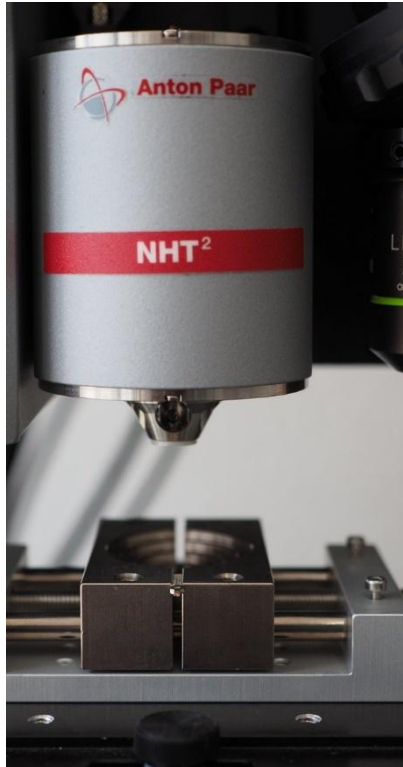
Eigenspannungen

Härte

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichthärte und E-Modul

Nanoindentation



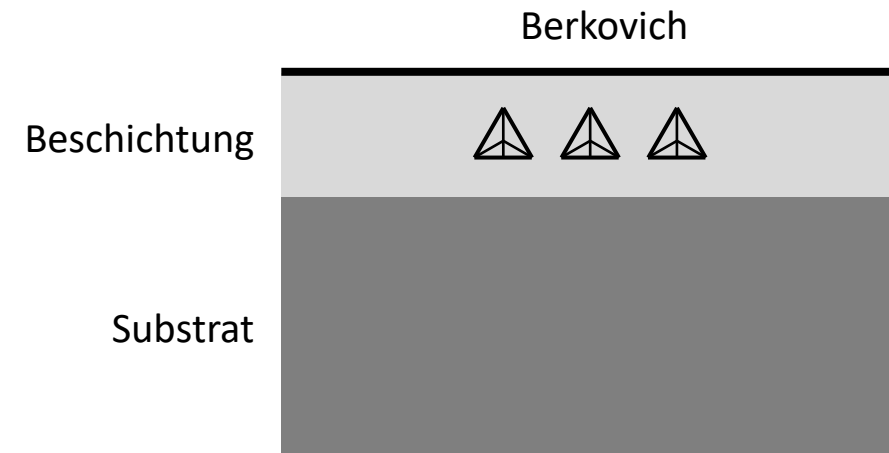
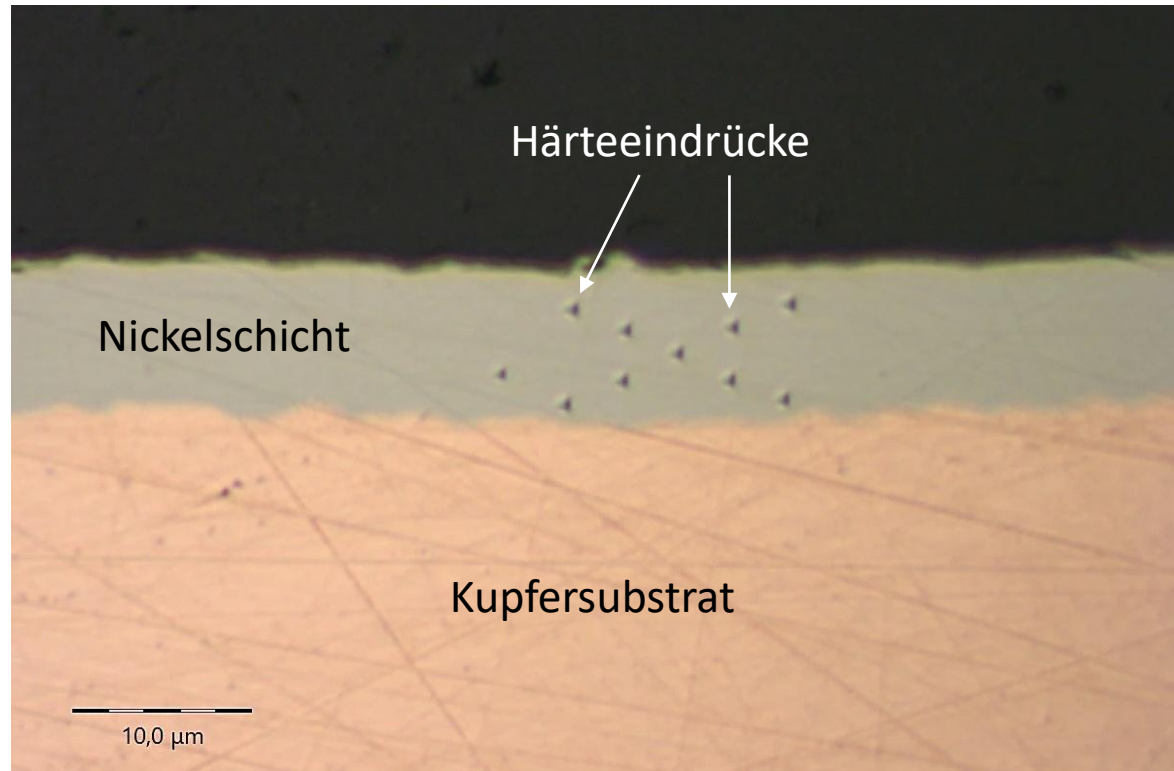
→ Härte H_{IT} , HV_{IT}

Tangente → Eindringmodul E_{IT}

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichthärte und E-Modul

Nanoindentation im Querschliff



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichteigenschaften

Schichteigenschaften

Schichtdicke

Reibeigenschaften

Eindringmodul
(E-Modul)

Oberflächenqualität
(Rauheit, Homogenität)

Haftfestigkeit

Verschleißfestigkeit

Eigenspannungen

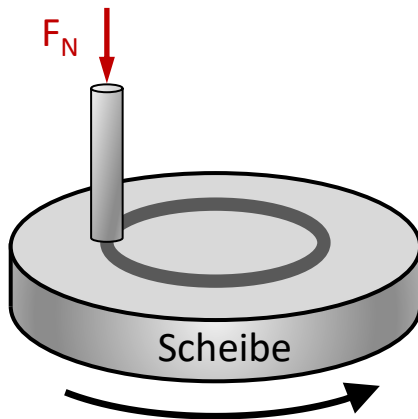
Härte

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

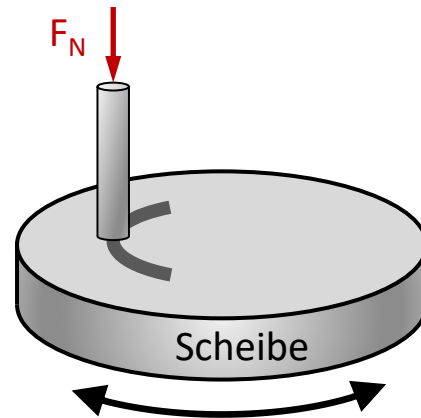
Reibeeigenschaften und Verschleißfestigkeit

Bewegungsformen

pin on disc

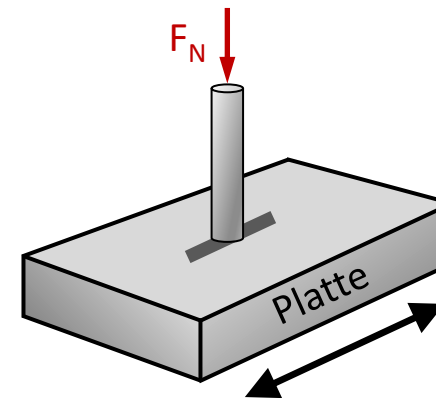


Probe rotierend kontinuierlich

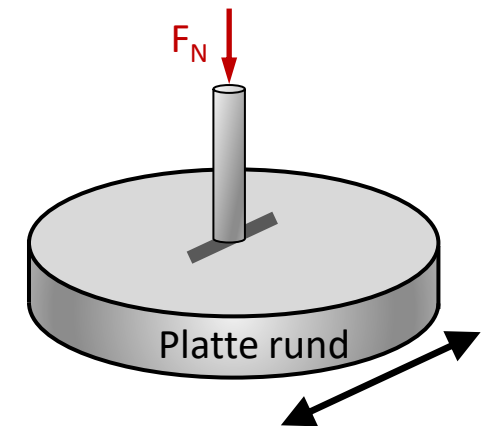


Probe rotierend oszillierend
(sinusförmige Bewegung)

pin on plate



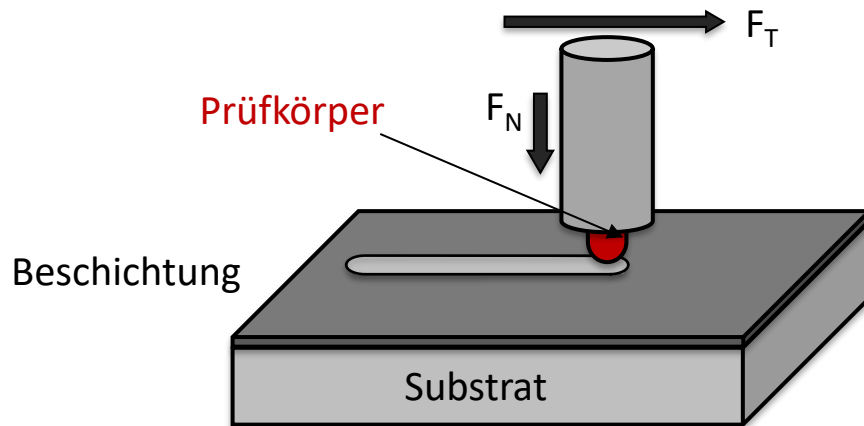
Probe translatorisch oszillierend
(sinusförmige Bewegung)



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

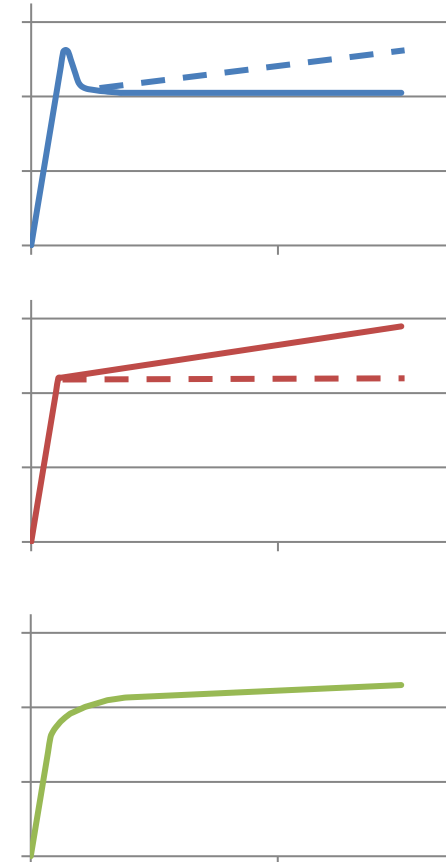
Reibeigenschaften und Verschleißfestigkeit

Reibwertmessung



$$\frac{F_T}{F_N} = \mu : \text{Reibwert}$$

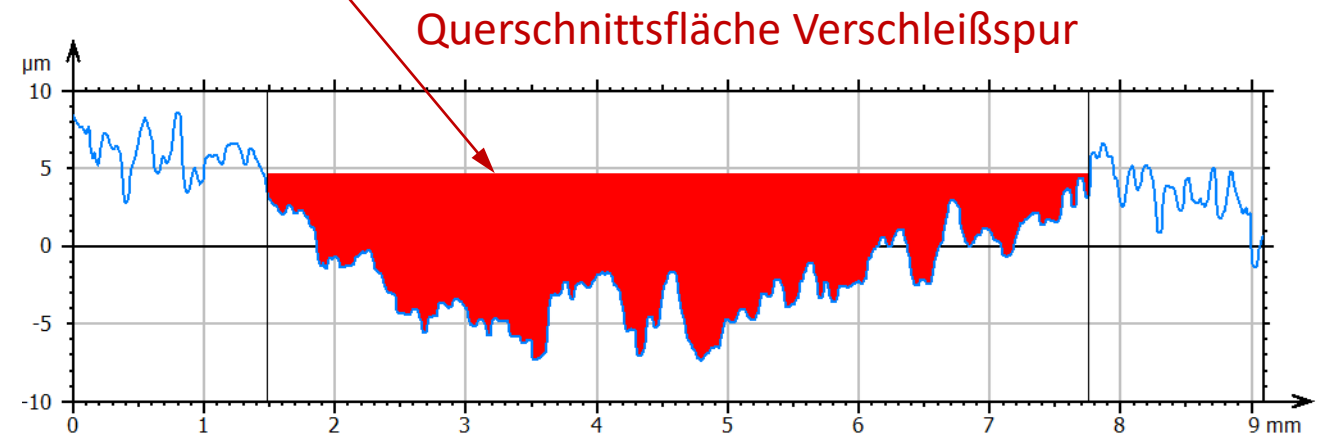
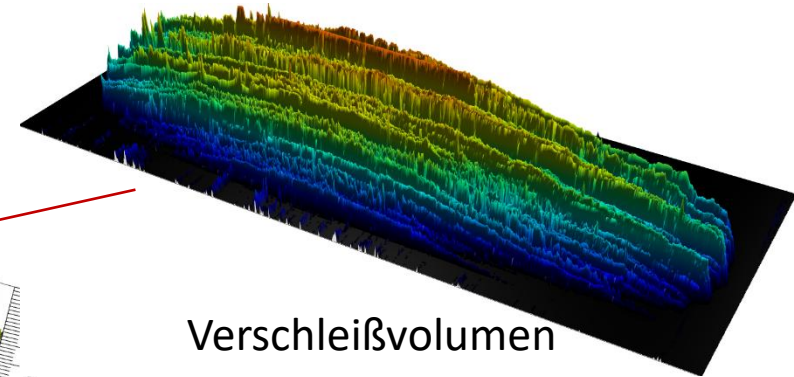
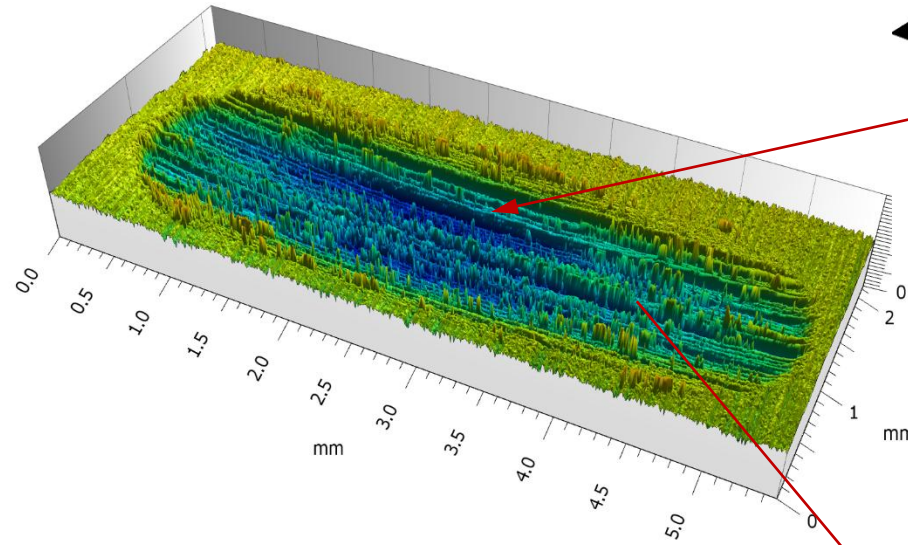
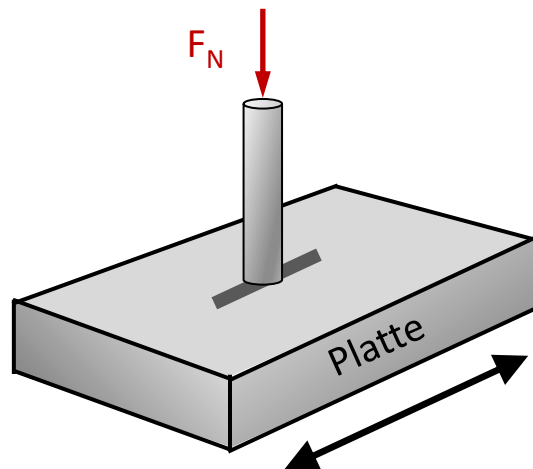
Reibwert über Zeit



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Reibeigenschaften und Verschleißfestigkeit

Verschleißprüfung



Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichteigenschaften

Schichteigenschaften

Schichtdicke

Reibeigenschaften

Eindringmodul
(E-Modul)

Oberflächenqualität
(Rauheit, Homogenität)

Haftfestigkeit

Verschleißfestigkeit

Eigenspannungen

Härte

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Schichteigenschaften

Rauheit

- Funktionale Eigenschaften
- Optisches Erscheinungsbild
- Interaktion mit anderen Bauteilen
- Identifikation und Kennzeichnung

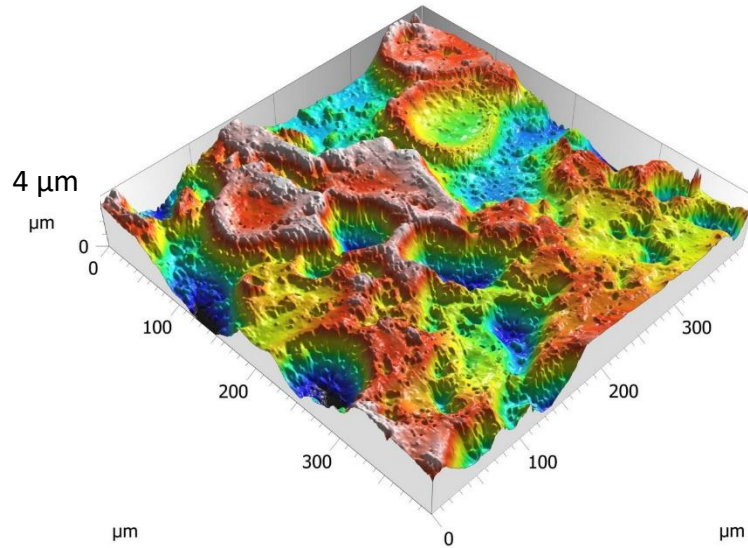


Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

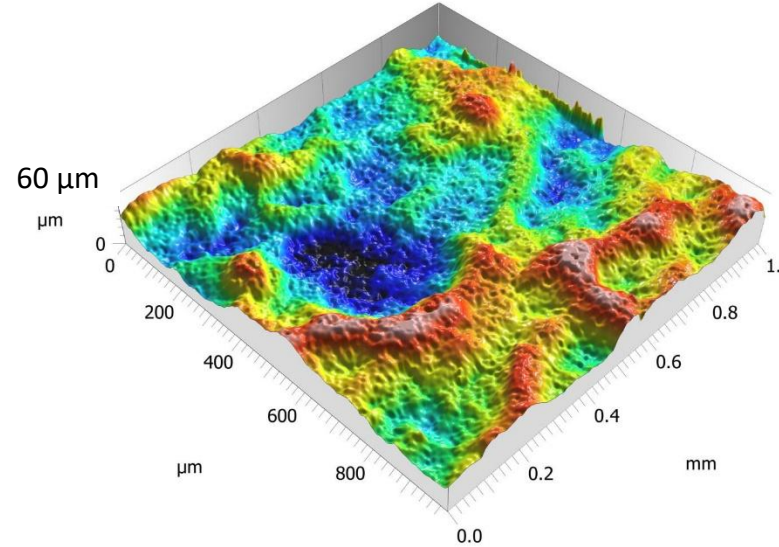
Oberflächenqualität

Rauheit

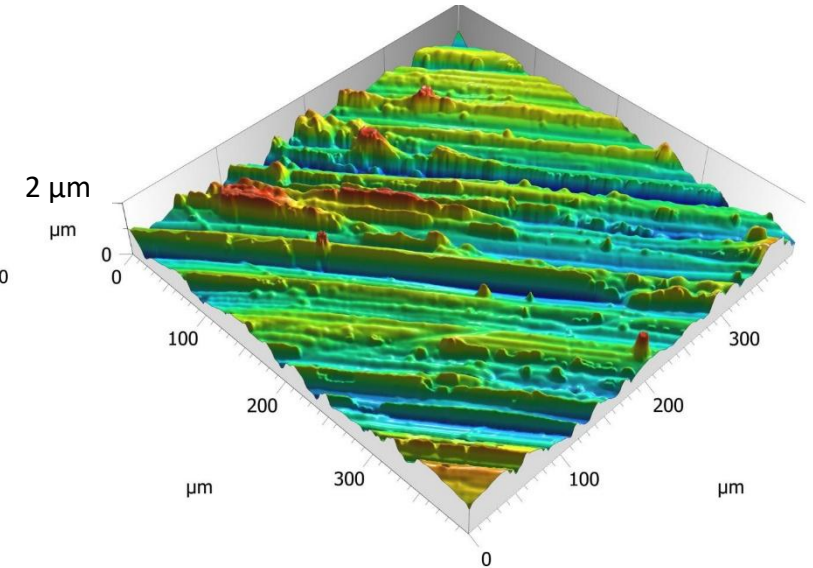
Pulverbeschichtung



Feuerverzinkt



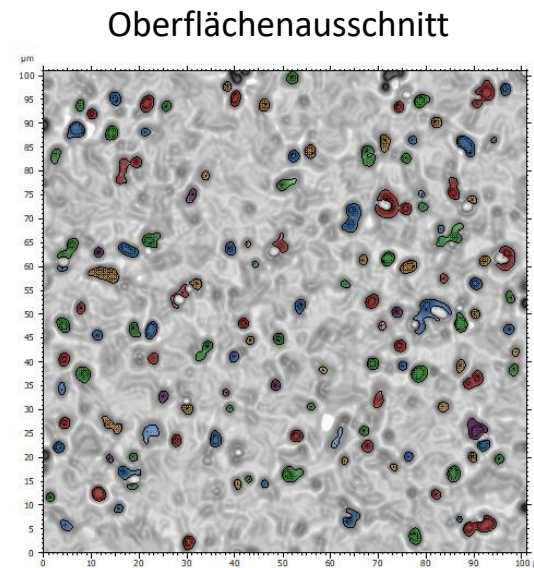
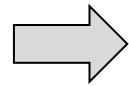
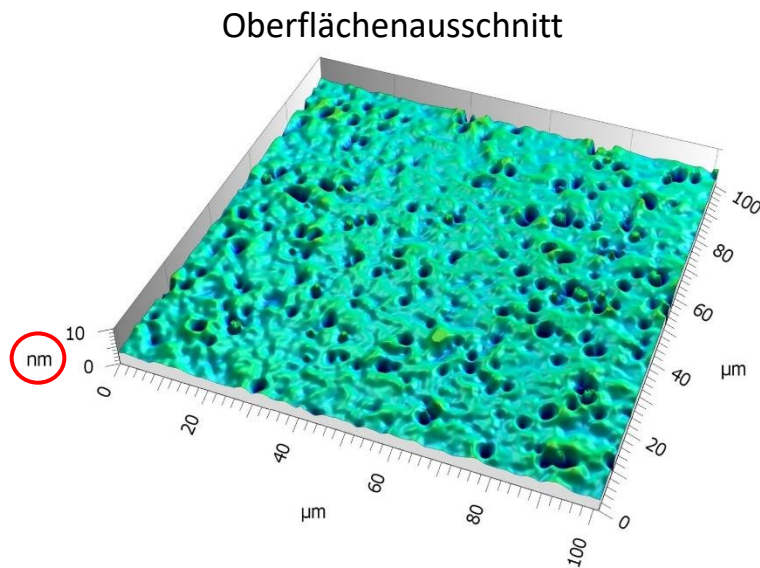
Chemisch Nickel



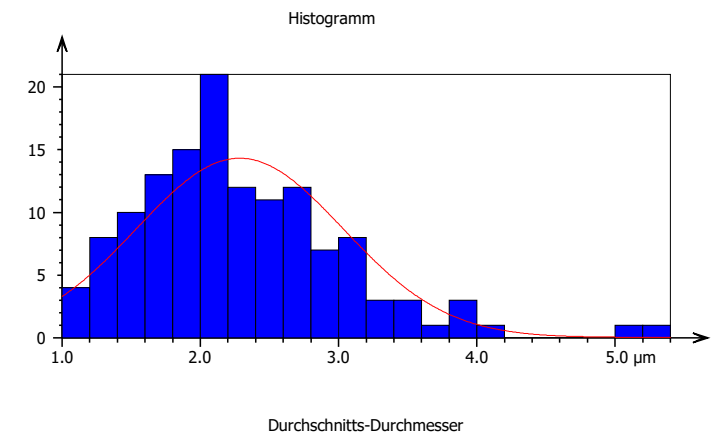
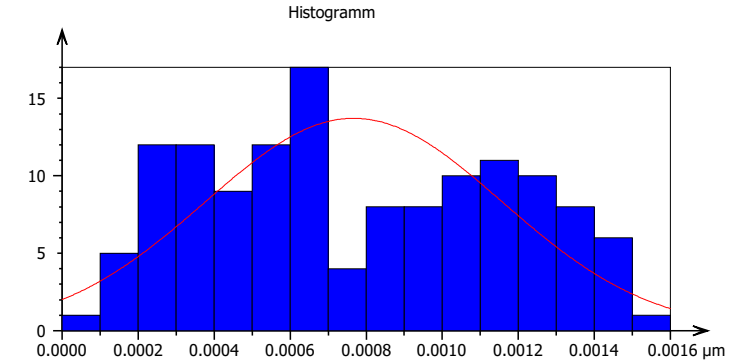
Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Oberflächenqualität

Rauheit



Anzahl der Partikel	80	
Deckung	14.62	%
Dichte	21.73	Partikel/mm ²

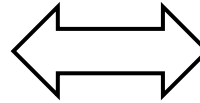


Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Laboranalytik vs. Schichtanalytik in der Serienfertigung

Laboranalytik

- + Sehr präzise
- + Breites Methodenspektrum
- Zeitaufwendig
- Teilw. zerstörend / nicht inline



Analytik in der Serienfertigung

- + Automatisierte Messung
- + Robuste Messungen
- + Schnelle Messungen
- + 100 % Kontrolle (Inline-Messung)
- nicht präzise

Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Laboranalytik vs. Schichtanalytik in der Serienfertigung

Schichtdickenmessung

Laboranalytik

- Mikroschliff & Lichtmikroskopie
- REM/EDX (Struktur + Elementanalyse)
- Ellipsometrie, AFM (Nanostrukturen)
- Nanoindentation (Härte)
- Röntgenfluoreszenz (RFA, XRF)

Analytik in der Serienfertigung

- Röntgenfluoreszenz (RFA, XRF) inline
- Optische Verfahren (Laser/Interferometrie)
- Photothermie
- Wirbelstrom-Verfahren
- Magnetinduktives Verfahren

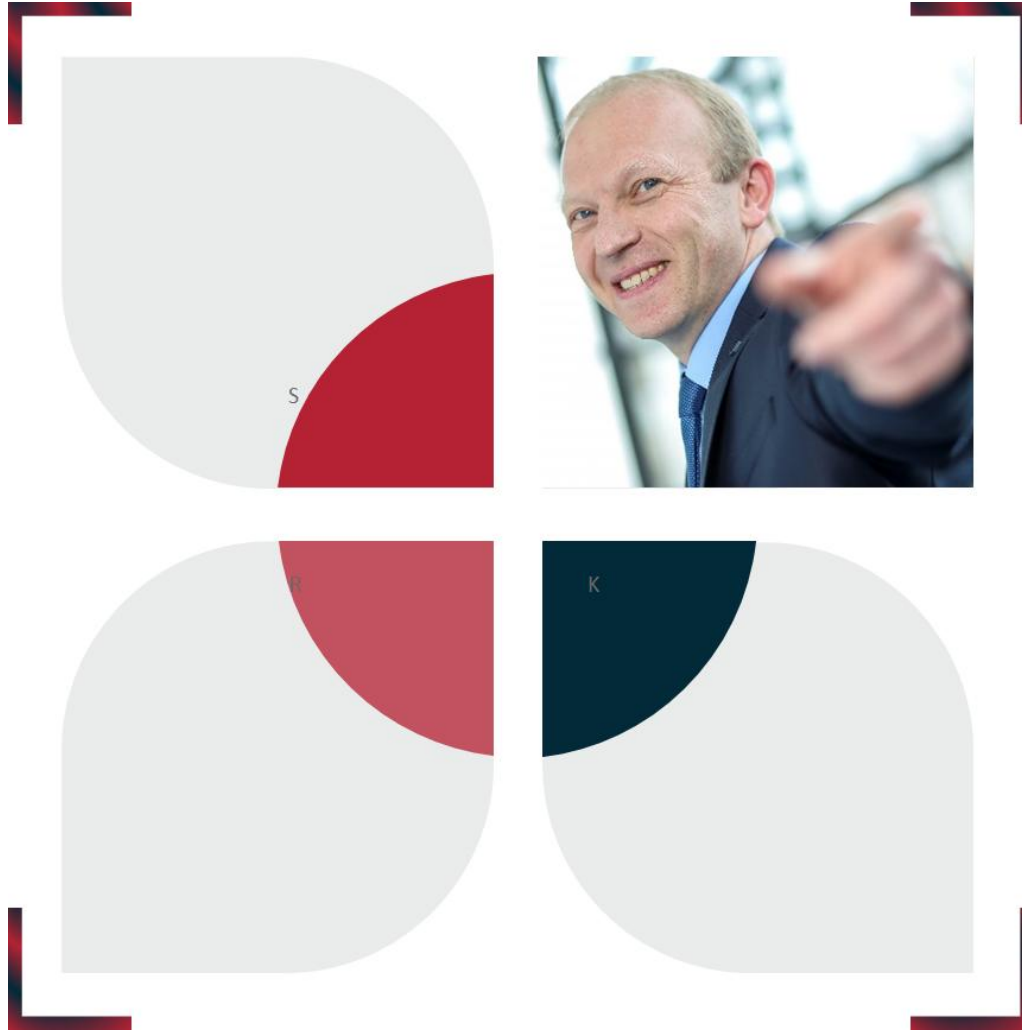
Schichtanalytik vom Labor bis zur Serienfertigung

Zusammenfassung

**Schichten bestimmen
Qualität und Funktion**

**Analytik macht den Unterschied –
von der Forschung bis zur Produktion**

**Zukunft:
Echtzeit, smarter (KI)**



Steinbeis Transferzentrum

Tribologie in Anwendung und Praxis

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Schorr

E-Mail: info@steinbeis-analysezentrum.com

Tel: +49 721 9735 831

Mobil: +49 172 9057349

Erzbergerstr. 121

D-76133 Karlsruhe

www.steinbeis-analysezentrum.com