

## Verfahren zur

## LÖSUNGEN VON EXPERTEN

- **Berührungslosen Temperaturmessung**
- **Schichtdickenmessung**
- **Profilvermessung und Tomografie**
- **Oberflächencharakterisierung**
- **Haftungsprüfung**
- **Materialanalyse**
- **3D-Vermessung von Objekten**

# Schichtdickenmessung und Charakterisierung von Oberflächen



Die Messung der Schichtdicke, die Charakterisierung von Oberflächen oder die Prüfung des Verbundes von zwei Bauteilen sind in modernen Produktionsprozessen von elementarem Interesse.

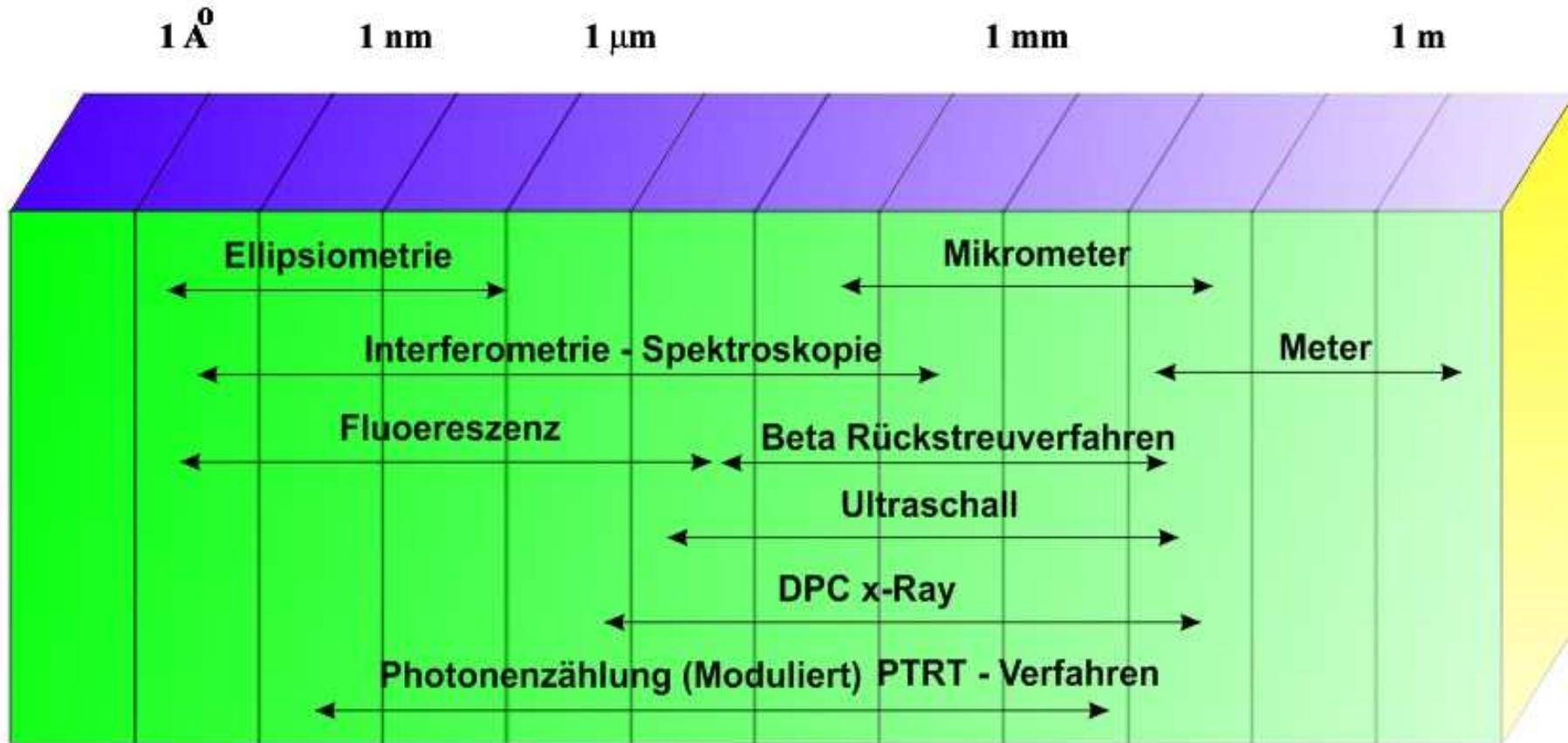
Fehler wirken sich nicht nur unmittelbar aus, sondern beeinflussen auch die Weiterverarbeitung bis zum Endprodukt. In der Praxis werden zudem immer dünnere Schichten und edlere Materialien verarbeitet, was neue Verfahren notwendig macht.

In der nebenstehenden Grafik sind einige moderne Verfahren aufgeführt, welche bereits heute in der Praxis angewendet werden.

Photometrische Verfahren liefern im laufenden Prozess Informationen zu Kriterien, die qualitätsrelevant sind, wie zum Beispiel:

- ⇒ Wie gut haftet die Schicht auf dem Untergrund?
- ⇒ Wie dick ist die Schicht?
- ⇒ Ist die Verteilung der Schichtdicke vollflächig und gleichmässig?
- ⇒ Ist die Beschichtung schon ausgehärtet?
- ⇒ Ist die Funktionsschicht vorhanden?
- ⇒ Ist unter der Beschichtung eine Reparaturlackierung?

Moderne Messverfahren arbeiten berührungslos, zerstörungsfrei und schnell.



- Optische Verfahren sind schnell, arbeiten berührungslos und sind unübertroffen zuverlässig.
- Sie erschliessen neue Märkte.

# Verfügbare Technologien und Verfahren

---

- |                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>1 PTRT Verfahren</b>            | <b>12 Streifenprojektion</b>          |
| <b>2 Photo-Akustik</b>             | <b>13 Ultraschall</b>                 |
| <b>3 Photo-Lumineszenz</b>         | <b>14 Mikrowellen</b>                 |
| <b>4 Spektrometrie</b>             | <b>15 Wirbelstrom</b>                 |
| <b>5 Weisslicht-Interferometer</b> | <b>16 Kapazitiv</b>                   |
| <b>6 Ellipsometrie</b>             | <b>17 Induktiv</b>                    |
| <b>7 FFT-Spektrometrie</b>         | <b>18 Mechanisch</b>                  |
| <b>8 Triangulation</b>             | <b>19 Messkeil</b>                    |
| <b>9 Beta Rückstreu-Verfahren</b>  | <b>20 Fluoreszenz, Phosphoreszenz</b> |
| <b>10 Polarimetrie</b>             | <b>21 Radiologische Verfahren</b>     |
| <b>11 Deflektometrie</b>           | <b>22 Reflektometrie</b>              |

**Normen, Empfehlungen und Vorschriften sind immer zu beachten**

## Konventionelle Verfahren

Mechanisch  
Elektrisch  
Magnetisch  
Ultraschall  
Betarückstreuverfahren  
Wirbelstromverfahren

## Photometrische Verfahren

Photothermisch  
Photoakustisch  
Interferometrisch  
Photonenrückstreuung  
Fluoreszenz

## Andere Photonenverfahren

Laserfluoreszenz  
Laufzeitmessung von Photonen  
Spektroskopie  
Licht-Absorption  
Ellipsometrie  
Scherografie

# Schichtdickenmessung und Charakterisierung von Oberflächen



**Vorschriften, Korrosivitätskategorien, geeignete Schutzsysteme für  
den Stahlbau, Planung, Ausführung**

**Zum Beispiel:**

Norm SIA 263 "Stahlbau"

Norm SIA 263/1 "Stahlbau - Ergänzende Festlegungen"

Norm SN EN ISO 12944 "Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von  
Stahlbauten durch Beschichtungssysteme"

Norm SN EN ISO 12944/AS1 "Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz  
von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme" – „Nationale  
Empfehlungen und Hinweise zur Norm SN EN ISO 12944-1 bis -8“

Norm SN EN ISO 1461 "Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebraute  
Zinküberzüge (Stückverzinken)"

# Konventionelle Verfahren Zerstörende Verfahren

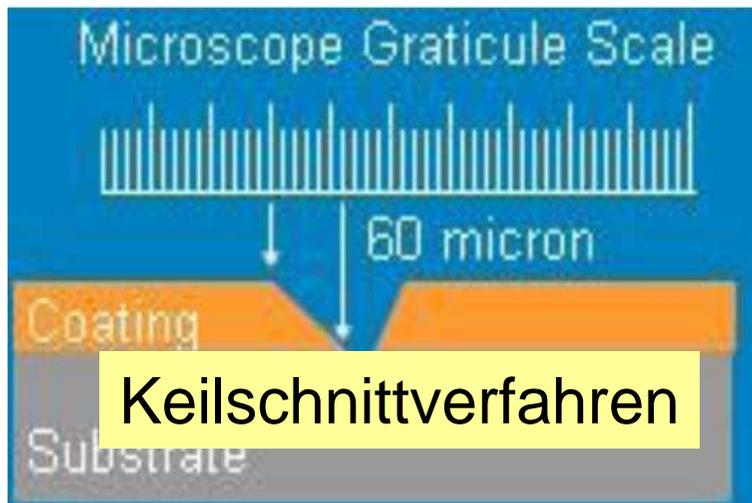
Gitterschnittverfahren



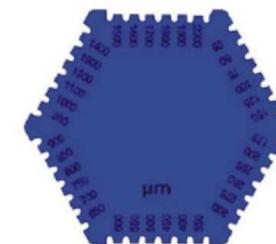
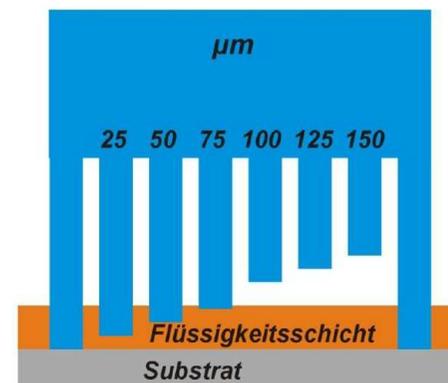
Das war einmal



Messwerkzeuge



Keilschnittverfahren



Nassfilmkamm

# Konventionelle Verfahren

## Ultraschallverfahren

---



### Ultraschall-Verfahren

Die klassischen Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung sind das Impuls-Laufzeit-Verfahren, die Impuls-Echo-Methode und die „Phased Array“ Technik.

Zu allen direkten Ultraschallverfahren gibt es eine fast unüberschaubare Anzahl an Literaturstellen, die beispielsweise von Theodoru (1989) oder im Nondestructive Testing Handbook (McIntire 1991) zusammengetragen wurden.

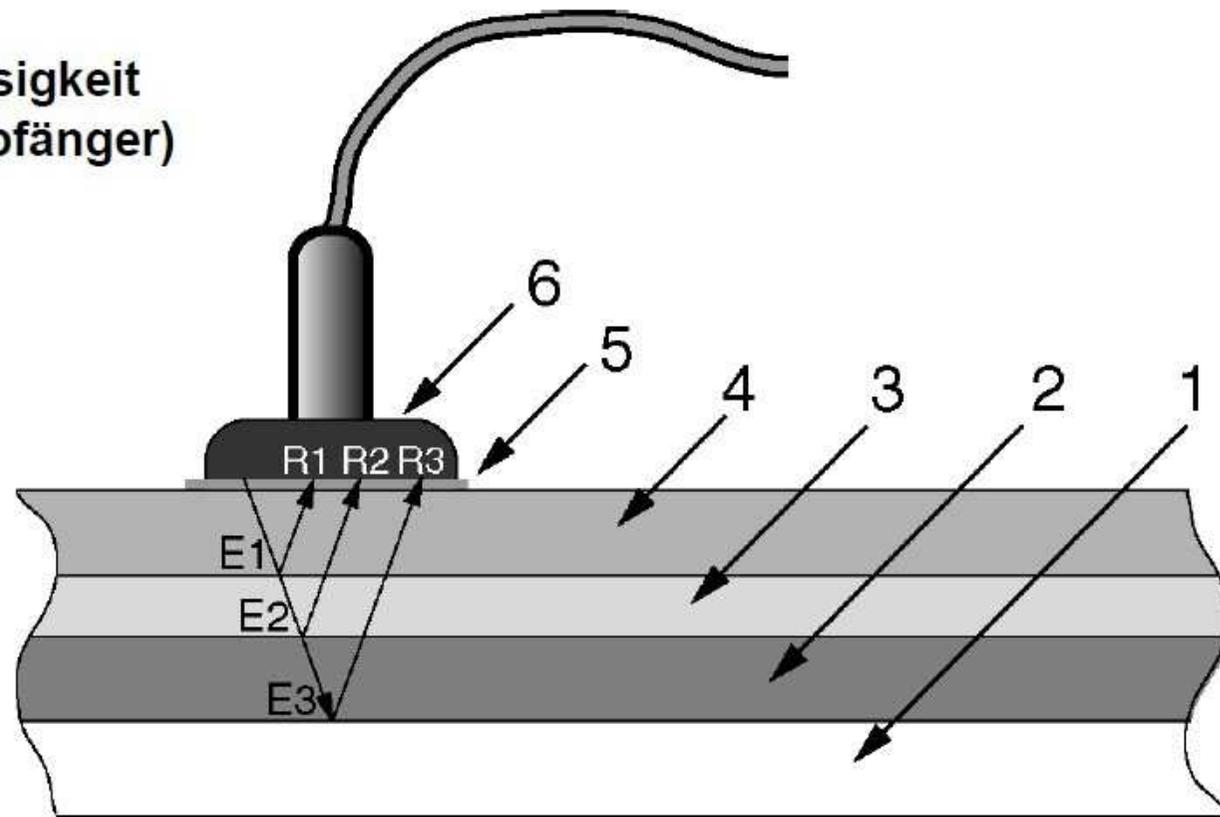
Das Impuls-Laufzeit-Verfahren oder auch Durchschallungsverfahren ist so alt wie die Ultraschalltechnik selbst und die Vorgehensweise vergleichsweise einfach.

Die Messung erfolgt auf der Grundlage des Zusammenhangs zwischen Entfernung, Zeit und Geschwindigkeit.

# Konventionelle Verfahren Ultraschallverfahren

- 1 Substrat
- 2 Schicht 1
- 3 Schicht 2
- 4 Schicht 3
- 5 Kontaktimmersionsflüssigkeit
- 6 Sonde (Sender und Empfänger)
- E eindringender Impuls
- R reflektierter Impuls

Normentwurf in Arbeit DIN 55661



# Konventionelle Verfahren

## Magnetische Verfahren

---



### Magnetische Verfahren

An Werkstücken mit metallischen Schichten misst man zur Qualitätskontrolle die Schichtdicken. Die dazu verwendeten Messgeräte müssen handlich, kostengünstig und einfach zu bedienen sein.

Deshalb misst man bisher nahezu ausschließlich mit Hand-Messgeräten, die „induktiv“ arbeiten.

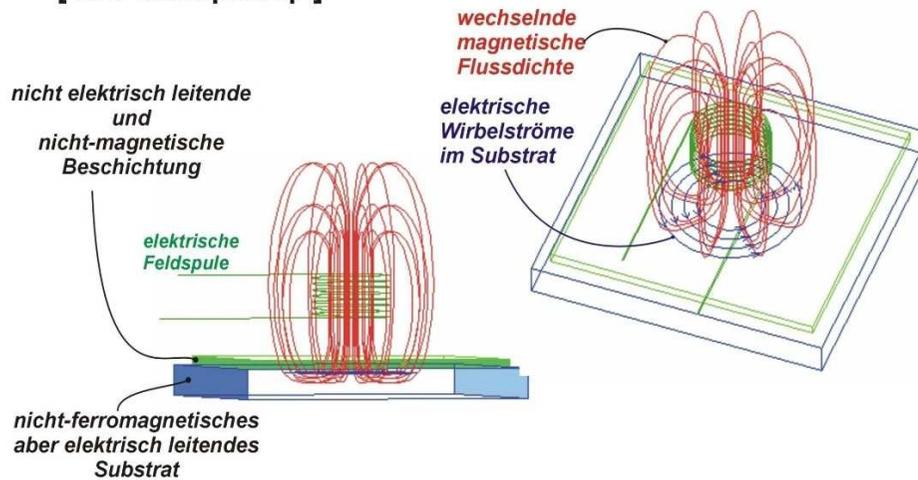
Das hat allerdings den Nachteil, dass man nicht direkt die Dicke der Schicht, sondern den Abstand zwischen dem Grundwerkstoff und dem Sensor misst. Die Geometrie, z. B. stark gekrümmte Oberflächen, Radien und Kanten, rauhe Oberflächen, beeinflusst das Messergebnis.

Zudem muss die Messsonde jeweils auf den Grundwerkstoff kalibriert werden. Für die Messung ist ein Kontakt mit der Oberfläche notwendig.

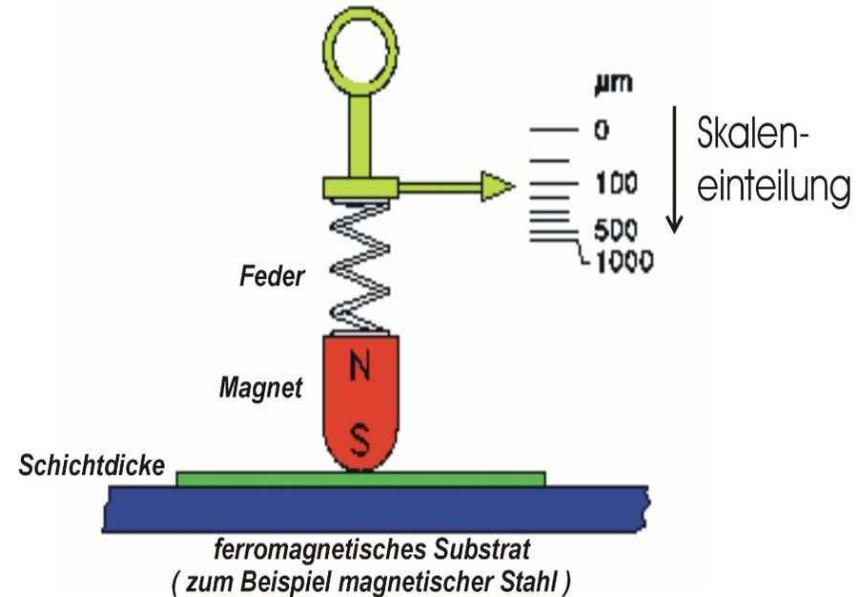
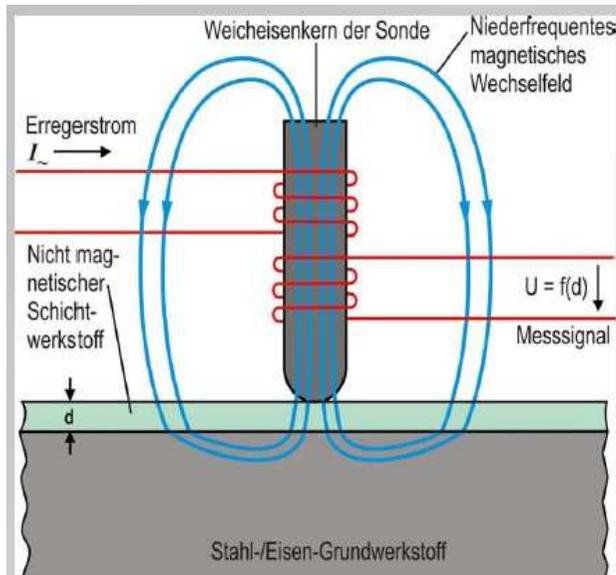
# Konventionelle Verfahren

## Magnetische Verfahren

[ NFe-Messprinzip ]



- Abzug
- Hall-Effekt
- Induktive Verfahren
- Wirbelstrom



# Konventionelle Verfahren

## Beta Rückstreuverfahren

---



### Beta Rückstreuverfahren

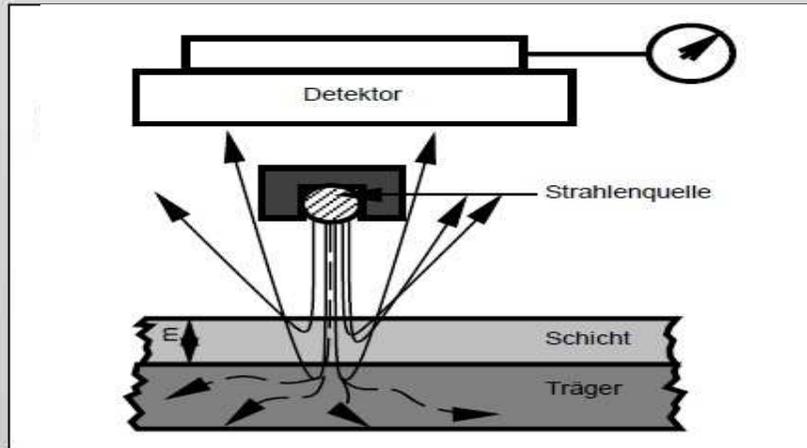
Ausgehend von einer Beta-Strahlenquelle treffen Beta-Teilchen auf die zu messende Schicht (z.B. Lackschicht auf Metall) auf. Die Beta-Teilchen werden aufgrund ihrer geringen Masse an den Atomen des Schichtmaterials gestreut. Die Bewegung der Beta-Teilchen in der Schicht und dem Substratmaterial unterliegt Richtungsänderungen bis hin zur Rückstreuung. Zur Schichtdickenmessung wird die Zahl der vom Messobjekt zurückgestreuten Elektronen pro Zeiteinheit gemessen.

Die Dicke einer Schicht auf einem Grundwerkstoff lässt sich dann bestimmen, wenn sich die Zahl der zurückgestreuten Elektronen der Beschichtung deutlich gegenüber der vom unbeschichteten Grundwerkstoff zurückgestreuten Anzahl Elektronen unterscheidet.

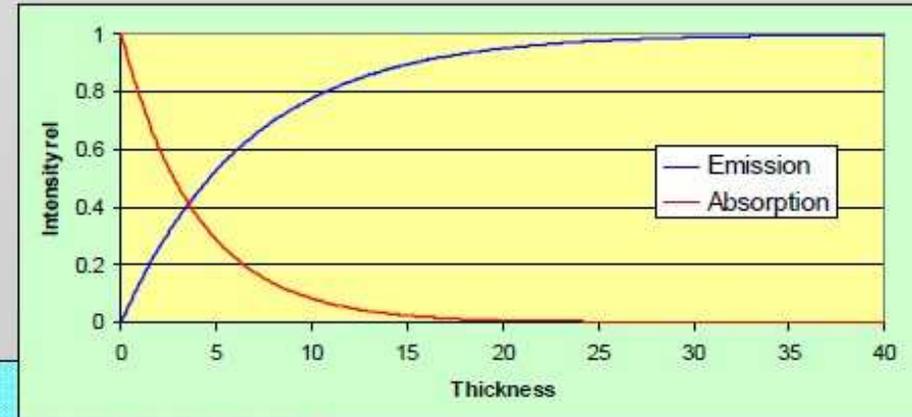
Da das Beta-Rückstreuverfahren auf einer Flächendichtebestimmung beruht, muss sich die Dichte des Beschichtungsmaterials auch deutlich von der Dichte des Grundwerkstoffes unterscheiden.

# Konventionelle Verfahren Beta Rückstreuverfahren

## Gerät

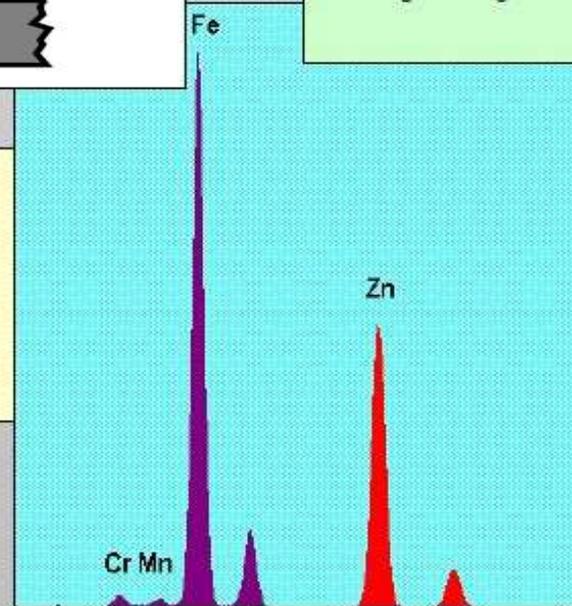


## Intensität = f(Dicke)



Anregung von Schicht und Basis mit dem einfallenden Strahl. Das ergibt Intensitäten von Schicht und Substrat

## Spektrum



Die Intensitäten ändern sich mit der Dicke

Die Schichtintensität nimmt mit zunehmender Dicke zu – die Intensität der Basis nimmt ab

# Konventionelle Verfahren



Werkstoffoberflächen sind auf die gewünschte Funktion des Bauteils abgestimmt und für den späteren Einsatz optimiert.

Ob hervorragende Antihafteigenschaften, gute Gleiteigenschaften oder hohe Verschleissfestigkeit gefordert sind, Beschichtungssysteme haben immer komplexere und anspruchsvollere Anforderungen zu erfüllen.

Abgestimmt auf die Anwendung und auf die Anforderungen des Endverbrauchers müssen auch die Mess-Systeme für moderne Beschichtungen der gestellten Aufgabe angepasst sein.

Wenn Sie beliebige Oberflächen mit Metall, Keramik, Teflon und PTFE, PFA oder anderen Polymeren beschichten oder verbinden, ist es entscheidend, dass die Beschichtung auch bei extremster Beanspruchung ihre Eigenschaften behält – das ist ein Zeichen von höchster Fertigungsqualität.

**„We invent to prevent“**

**Nutzen Sie diese Möglichkeit zur Effizienz-Steigerung**

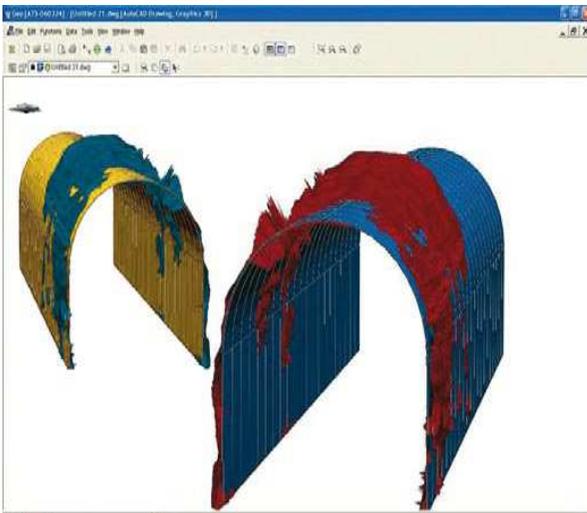
- Viele Materialien müssen vor Zerstörung (Korrosion, chemische oder mechanische Einflüsse) geschützt werden.
- Konventionelle Verfahren arbeiten zum Teil nicht zerstörungsfrei. Sie erfordern relativ lange Messzeiten.
- Es gelten grundlegende Normen für die Schichtdickenmessung.
- Zur Qualifizierung der Verbindung zwischen Substrat und Schichtmaterial eignen sich konventionelle Verfahren oft nicht.
- Konventionelle Verfahren sind aber kostengünstig und relativ einfach zu bedienen.

# Moderne Messverfahren „Messen mit Photonen“



- Einfachste Handhabung
  - kleiner
  - leichter
  - schneller
  - komplexer
  - kostengünstiger

- Digitalkameras sind verfügbar. (Zur Ausmessung werden die Wellenlängen des Lichtes verwendet.)



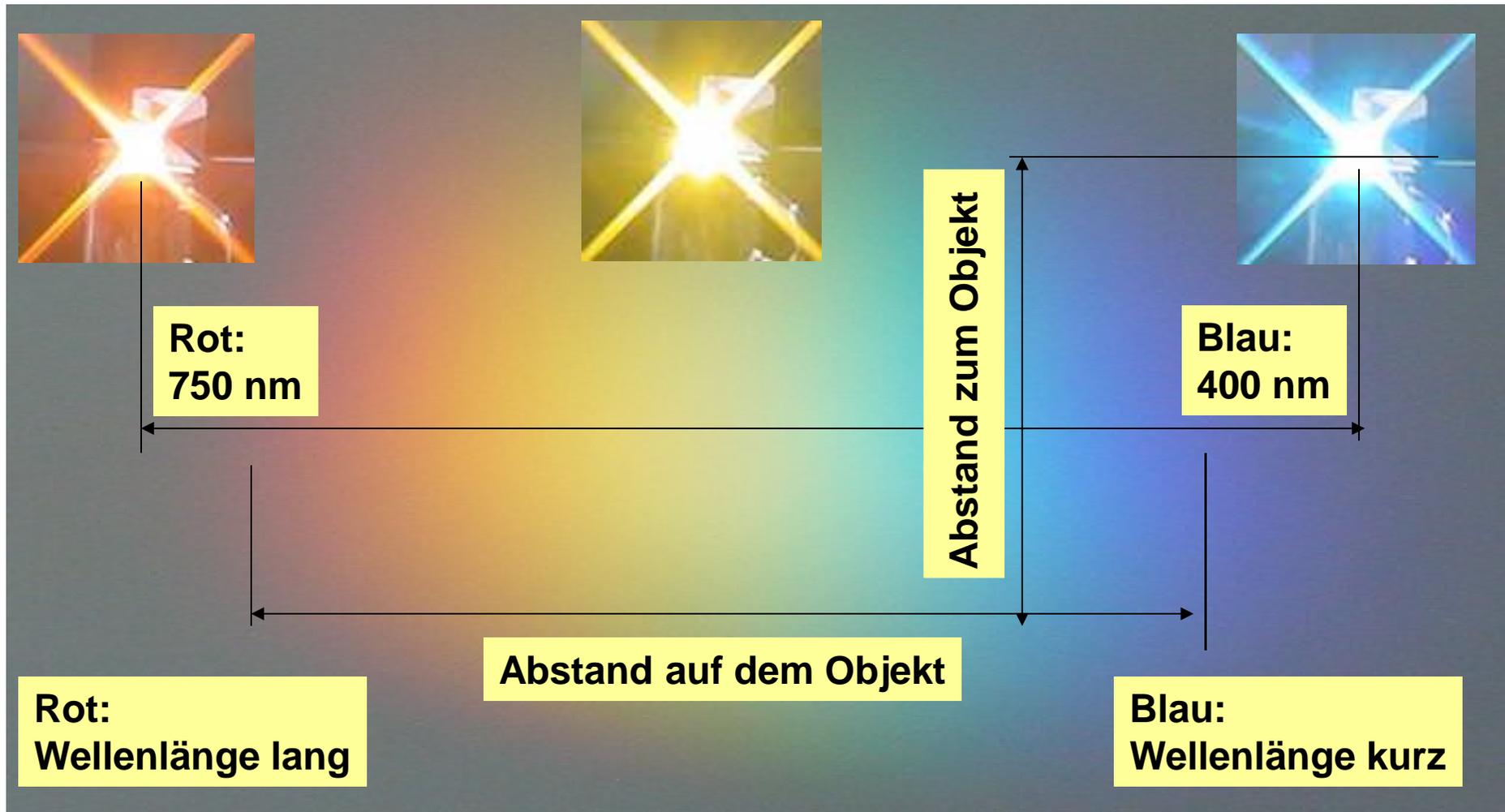
- Komplexe Scanner (auch CAD-fähig) sind verfügbar.

- Datenspeicher und die Anbindung an moderne Rechner sind standardmässig vorhanden.

# Moderne Messverfahren

## Messen mit Photonen

**Berührungslos, zerstörungsfrei, mit Lichtgeschwindigkeit**



# Moderne Messverfahren

## Messen mit Photonen

---



### Messen mit Photonen

Mit Messlatten und Schnüren mussten die Ägypter vor 4500 Jahren auskommen, um die Geometrie beim Bau ihrer Pyramiden festzulegen.

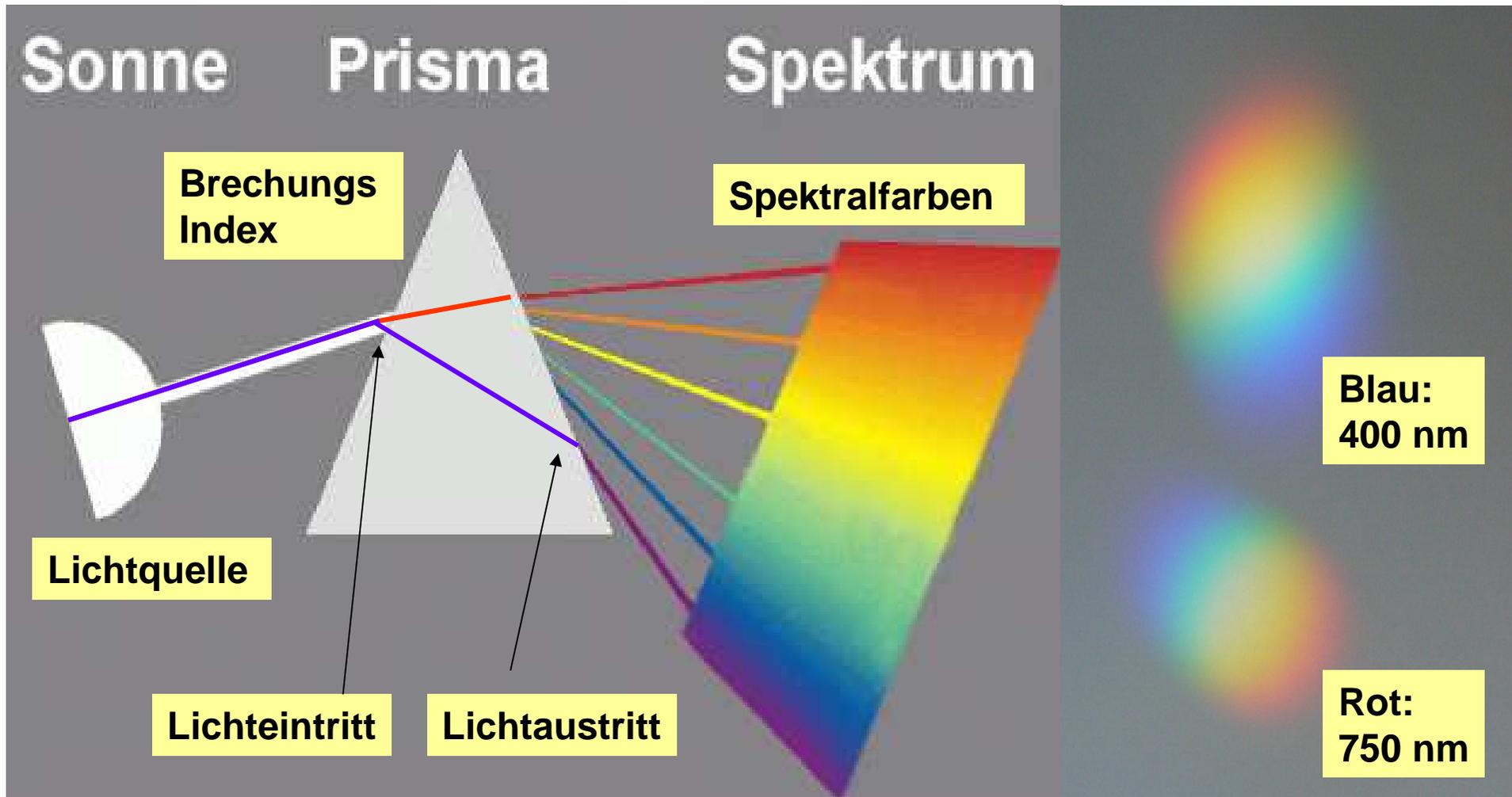
Sollte in ferner Zukunft einmal die Zeitmaschine erfunden werden, würde der Zeitreisende mit einer Photonenkanone (zum Beispiel einem Laser) im Gepäck im alten Ägypten wohl begeistert empfangen.

Ein Laser wäre nicht nur zur exakten Ausrichtung der Steinblöcke von Nutzen, er würde auch wunderbar die nächtlichen Zeremonien am Ort und in der Ferne durch phänomenale Effekte bereichern.

Das Jahrhundert des Elektrons scheint abgelaufen - das Jahrhundert des Photons ist gestartet worden.

# Moderne Messverfahren

## Messen mit Photonen



# Polymerisationsgrad mit Licht berührungslos ermitteln

---



Fasern, die „Licht leiten“, sind optische Bauelemente, die Photonen auf beliebig gekrümmten Wegen transportieren.

Eine einzelne Faser besteht aus einem hoch brechenden Kernglas und einem niedrig brechenden Mantelglas.

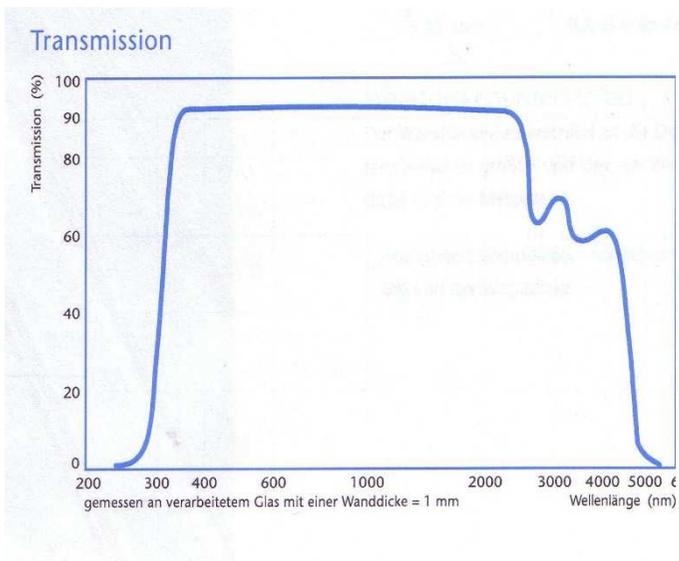
Die innerhalb des Grenzwinkels ins Kernglas eintretenden Photonen „schiessen“ mit Lichtgeschwindigkeit durch Reflektion an den Berührungsflächen zwischen dem Kern und dem Mantel durch die Faser.

Hochflexible Lichtleiter bestehen aus gebündelten Einzel-Glasfasern. Die Enden sind jeweils in einem Tastkopf und einem Stecker verklebt.

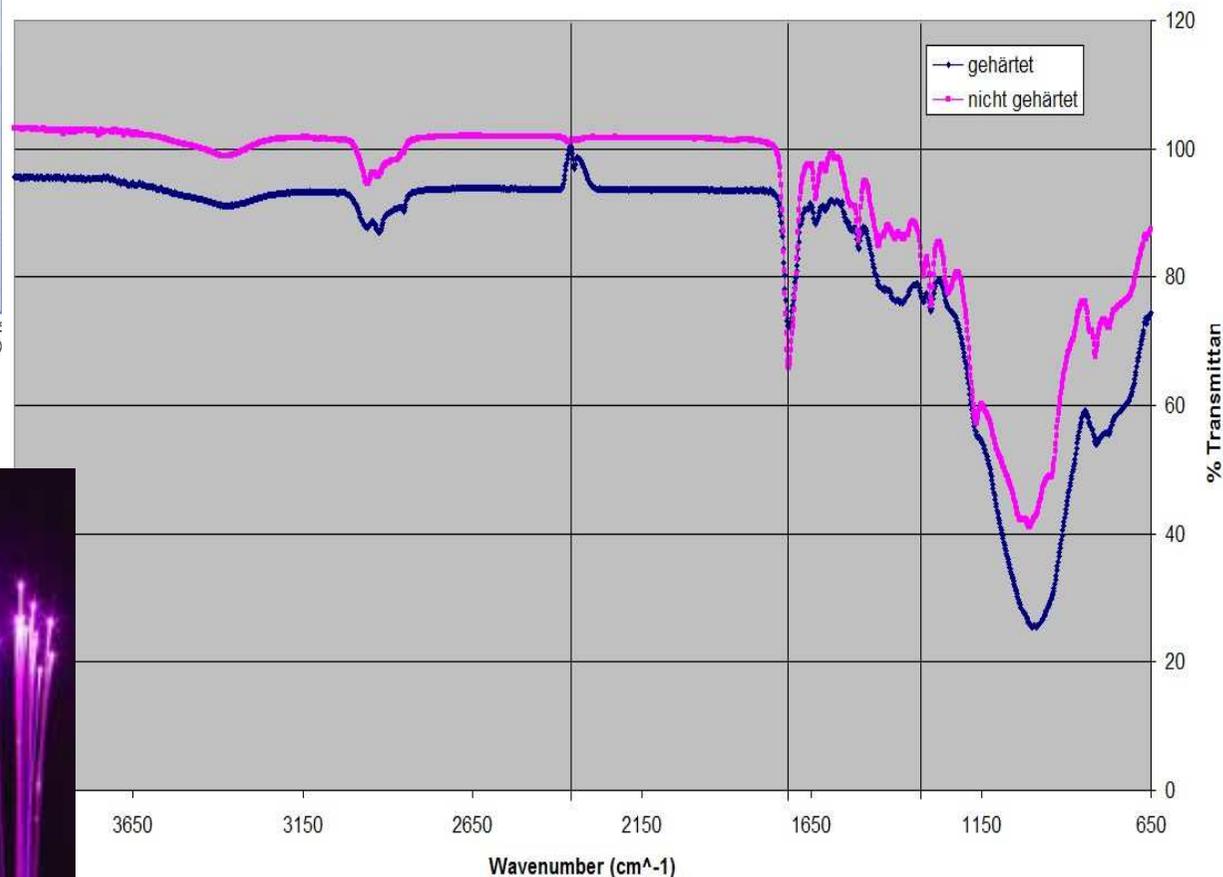
Die Stirnflächen sind optisch poliert.

Zum Schutz gegen mechanische, chemische und thermische Zerstörungen sind die Lichtleiter auch mit einem entsprechenden Schutzmantel konfektioniert

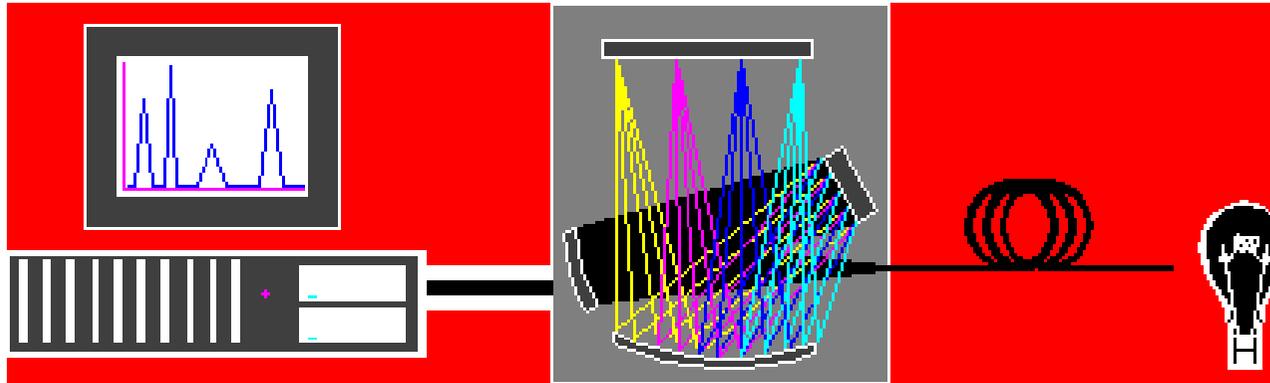
# Polymerisationsgrad mit Licht berührungslos ermitteln



Vergleich nicht gehärtet mit gehärtet



# Mehrschichtige Folien und Folienverbindungen charakterisieren



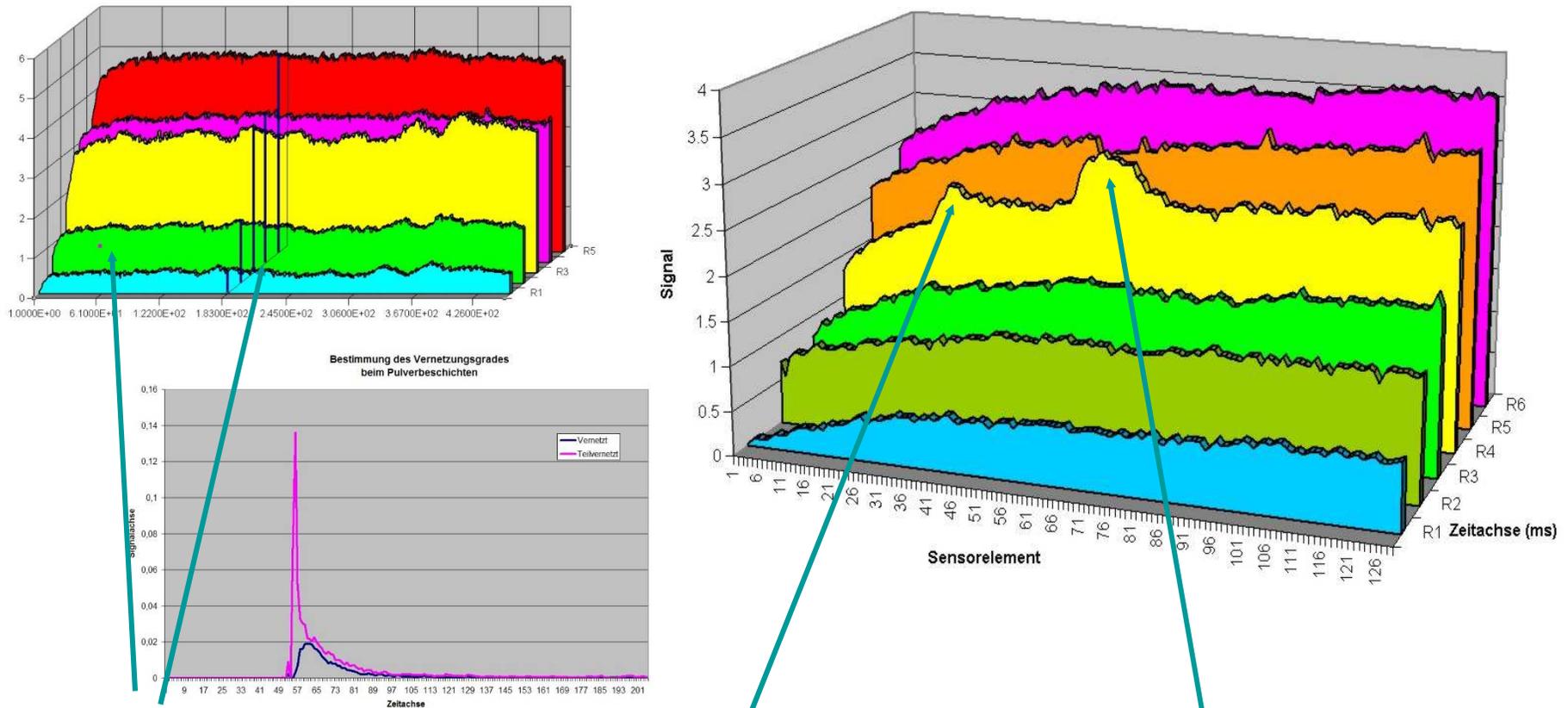
## Folienverbindungen charakterisieren

Geräte zur schnellen und zerstörungsfreien Messung der spektralen Lichtabsorption dienen zur Erfassung von Daten über den Gehalt an Pigmenten (Chlorophyll, Anthozyane, Carotinoide), an Wasser oder an Kohlenwasserstoffen, etc.

Die selektive Lichtabsorption bei charakteristischen Wellenlängen, z.B. des sichtbaren Lichts oder im NIR- Spektrum, dient der Qualitätskontrolle in der laufenden Produktion.

Die Lichtquelle sendet Photonen in einem breiten Wellenlängenbereich aus. Licht dringt in die zu prüfende Folie oder die Grenzschicht ein und verteilt sich in alle Richtungen. Ein Teil des eingedrungenen Lichts gelangt wieder an die Oberfläche zurück, wo die spektrale Lichtintensität gemessen wird.

# Mehrschichtige Folien und Folienverbindungen charakterisieren.



## Prüfwellenlänge

## Ellipsometrie

Die Ellipsometrie als zerstörungsfreies optisches Meßverfahren beruht auf der Messung der Änderung des Polarisationszustandes der an einer Probe reflektierten elektromagnetischen Welle, vorrangig im sichtbaren Spektralbereich.

Die Reflexionseigenschaften einer Probe werden (makroskopisch) durch komplexe Reflexionskoeffizienten als Zusammenhang zwischen einfallendem und reflektiertem Feldvektor beschrieben.

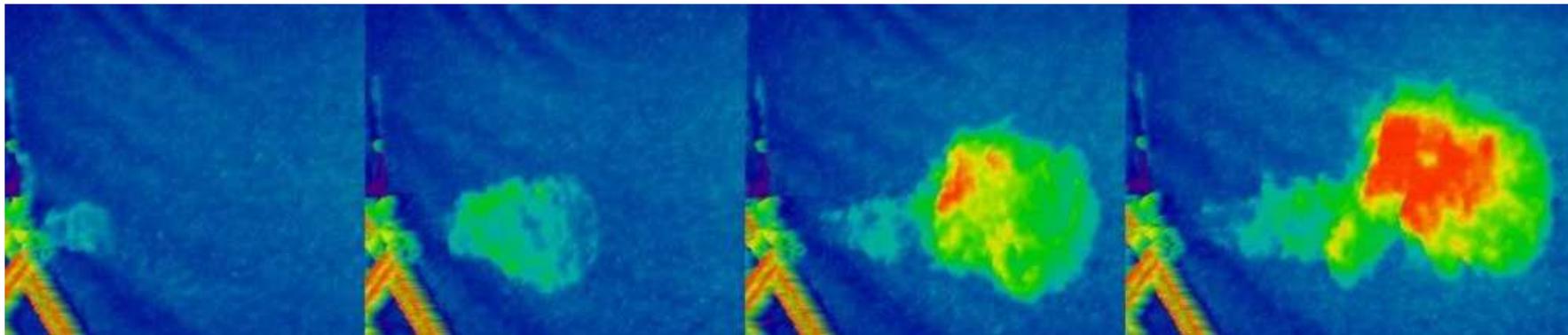
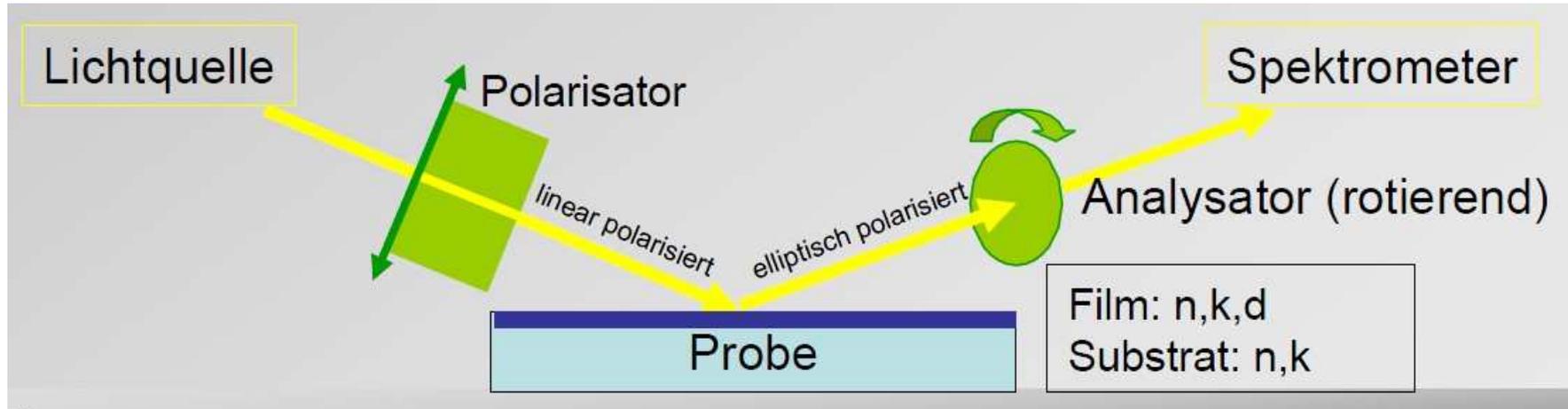
Die Änderung des Polarisationszustandes bei Reflexion an der Probe wird durch den Quotienten der komplexen Reflexionskoeffizienten, d.h. durch den ellipsometrischen Winkel ausgedrückt.

## Spektroskopie

Die Messung von Formaldehyd aus Abgasen von Motoren ist heute Stand der Technik.

Simultan werden Gase wie NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> gemessen.

# Spektroskopie zur Gasanalytik und Ellipsometrie zur Dickenmessung



- Messen mit Photonen in Gasen und Flüssigkeiten sowie auf Feststoffen aller Art, berührungslos und zuverlässig.

## Interferometrie

Das Verfahren basiert darauf, dass der Pulsstrahl und der spektral reflektierte Strahl miteinander interferieren.

Die sich überlagernden Lichtwellen liefern als Resultat helle und dunkle Zonen, d.h. die Lichtwellen interferieren miteinander.

Aus dem Interferenzmuster kann die Dicke der gemessenen Schicht abgeleitet werden.

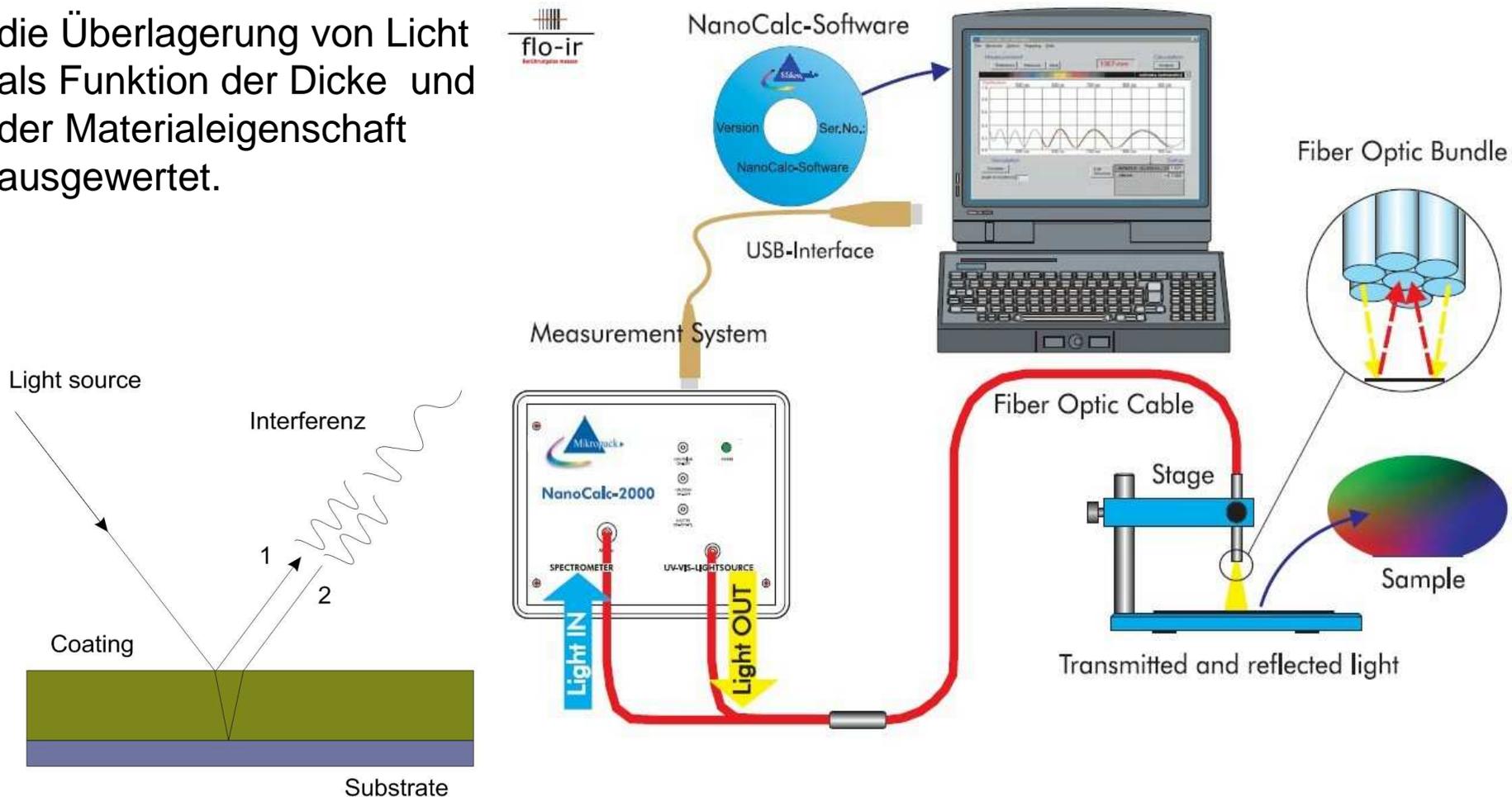
Wird das Verfahren mit dem PTRT<sup>®</sup> oder mit dem Moiré Verfahren gekoppelt, so sind kaum Grenzen gesetzt.

Es können transparente, nicht transparente, klebrige, kalte oder heisse Schichten berührungslos vermessen werden.

Schichtdicken in Bereich von Mikrometern können exakt vermessen werden.

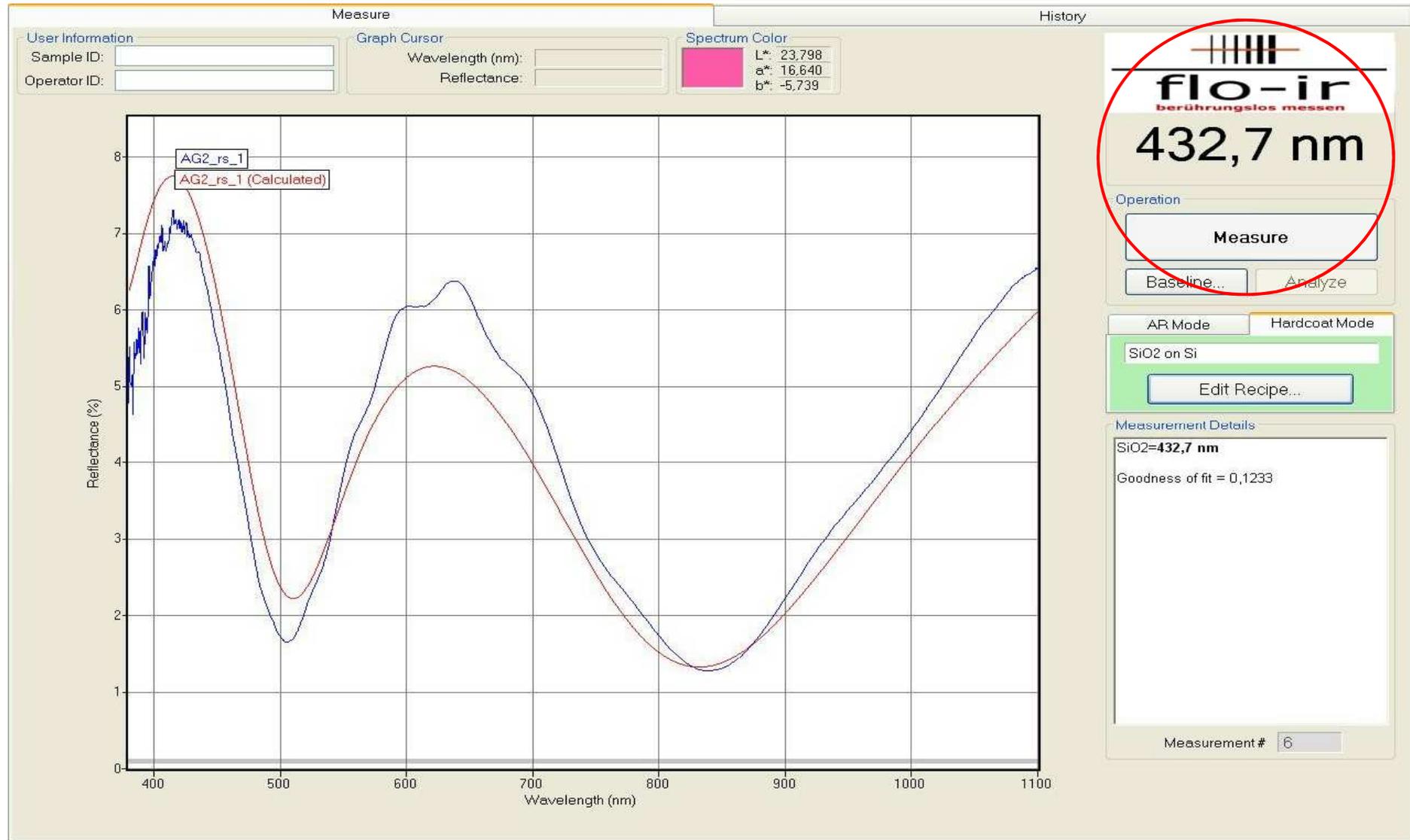
# Interferometrie

Bei der Interferometrie wird die Überlagerung von Licht als Funktion der Dicke und der Materialeigenschaft ausgewertet.

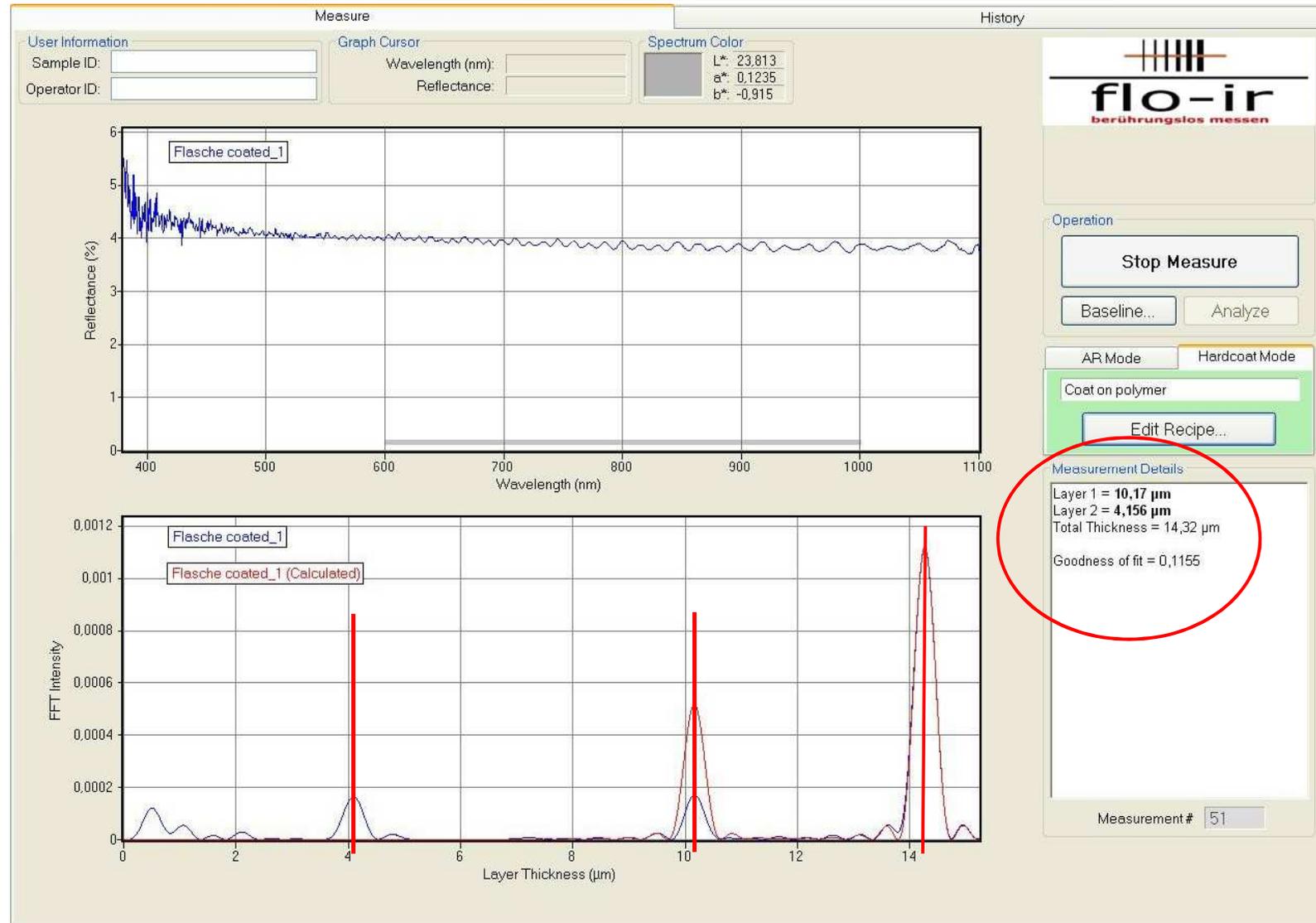


# Interferometrie

## Silberbeschichtung im nm Bereich

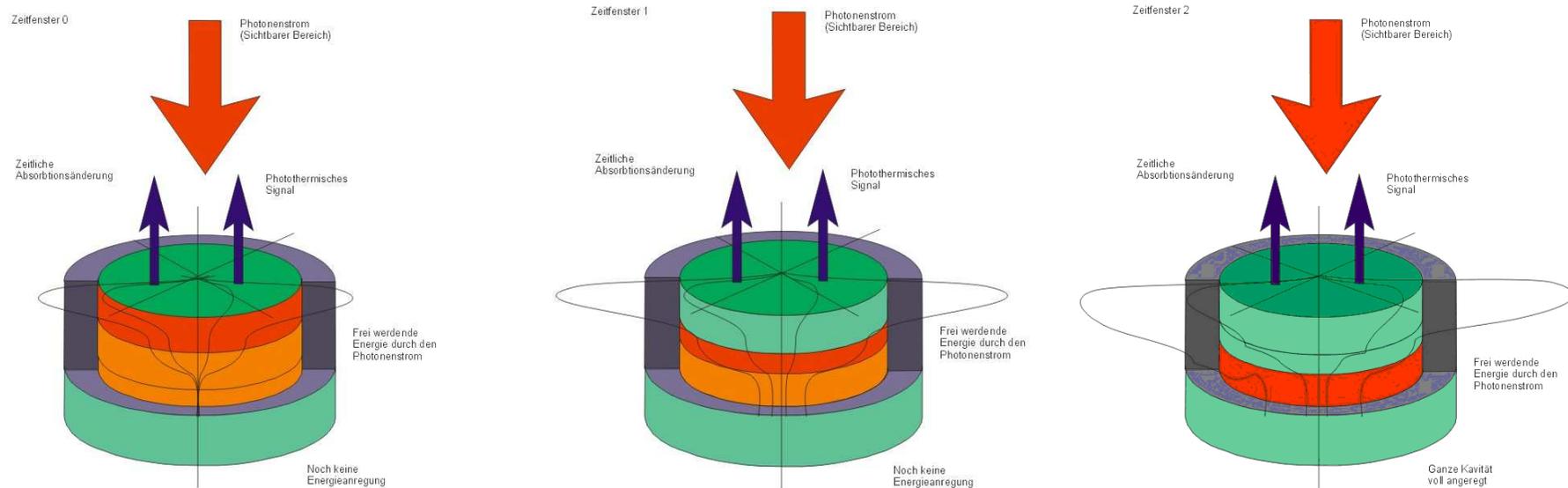


# PET-Flasche



# Spektrale Anregung und berührungslose Messung des photothermischen Signals

Bei Polymerisationsbeginn (Skizze links) wird mit einer zeitlichen Verzögerung in der ganzen Kavität thermische Energie freigesetzt. Die Masse in der Kavität erwärmt sich als Funktion des Polymerisationszustandes und als Funktion der Zeit.



**Anfang der Polymerisation**

**Laufende Polymerisation**

**Letzte Phase der Polymerisation**

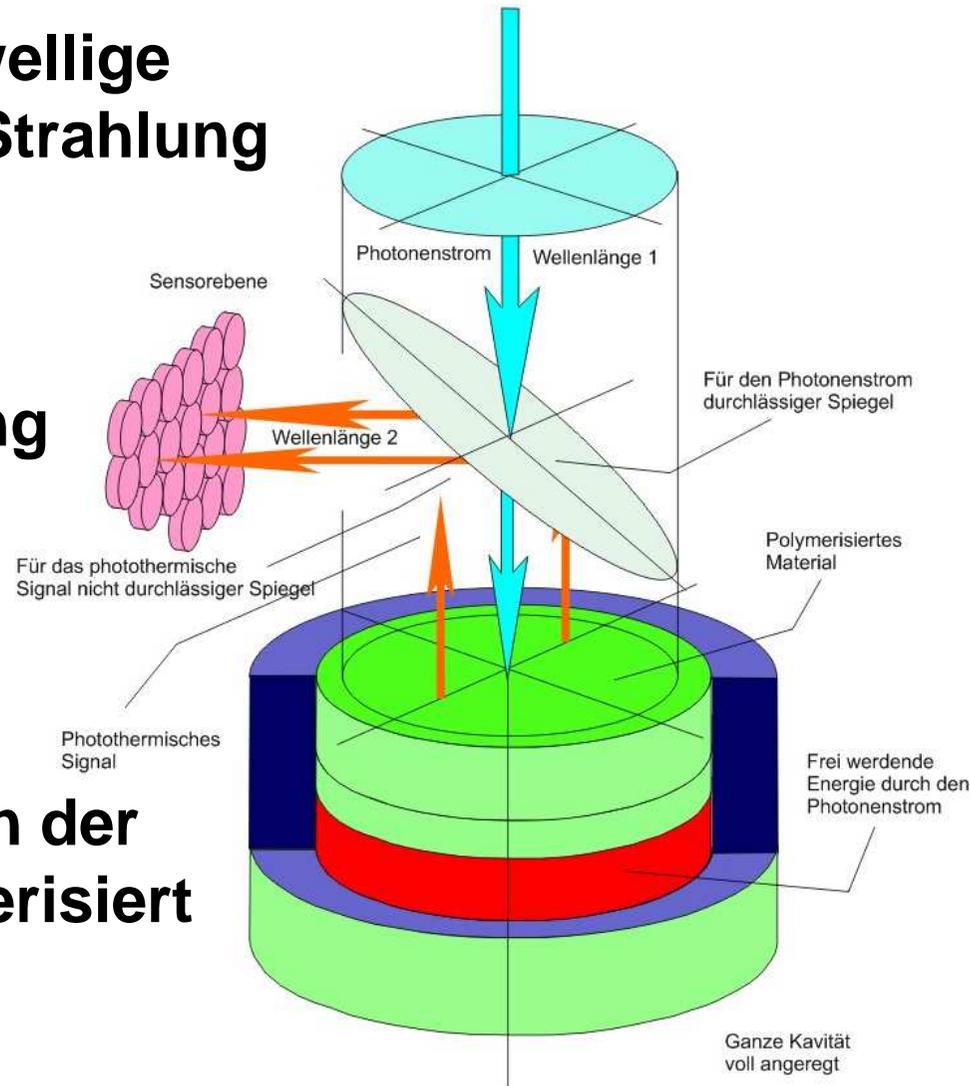
Die photothermische Energie entsteht aus der Polymerisation. Die Zone der heftigsten thermischen Reaktion liegt im obersten Teil der Kavität (Bild links) und sinkt gegen den Boden hin ab (Bilder Mitte und rechts). Es ergibt sich eine sinkende Erwärmung mit der Einwirkzeit der Photonen, welche die Polymerisation anregen. Nach abgeschlossener Polymerisation fehlt die freigesetzte Energie.

# Spektrale Anregung und spektrale berührungslose Messung der Signale

**Kurzwellige  
Puls-Strahlung**

**Langwellige  
Signalstrahlung**

**Produkt, das in der  
Kavität polymerisiert  
wird.**



# PTRT<sup>®</sup> Verfahren

## Funktionsprinzip

---

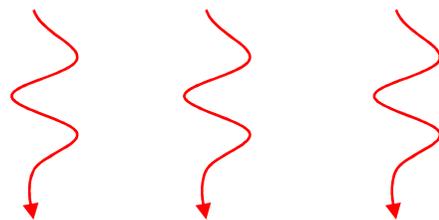
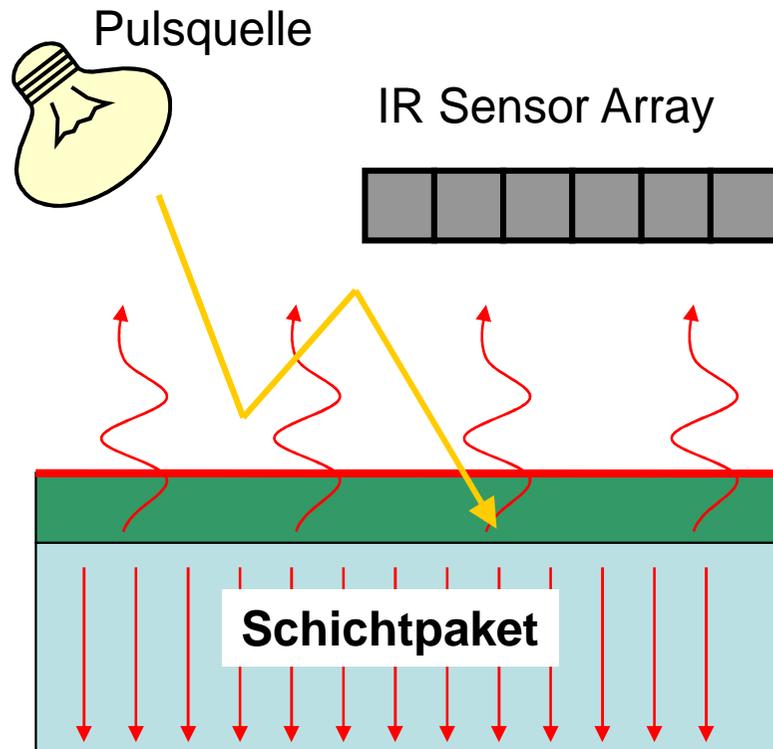


### Das PTRT<sup>®</sup> Verfahren

PTRT<sup>®</sup> (**P**ower forced **T**hermal **R**esponse-**T**echnology) nutzt thermophysikalische Stoffdaten ( $\lambda$ ,  $c_p$ ,  $\rho$ ) um gesuchte Resultate aus den Messdaten abzuleiten.

Mit einer Pulsquelle wird Energie auf einen Prüfkörper übertragen, um auf dem Objekt ein zeitlich veränderliches Temperaturfeld zu erzeugen. Der zeitlich veränderliche Verlauf wird mit einem Infrarot-Sensor gemessen. Die gemessenen Signale werden in der Folge so verarbeitet, dass die gesuchte Information (Dicke einer Schicht, Porosität, Wärmeleitung) daraus abgeleitet werden kann. Die Abhängigkeit zwischen Pulsquelle und Sensor wird über eine Elektronik gesteuert. Im Gegensatz zum NIRVISIR<sup>®</sup> Verfahren liefert das PTRT<sup>®</sup> Verfahren die Information zur Schichtdicke über die thermophysikalischen Stoffdaten. Die Grafik rechts zeigt den Messvorgang um die Schichtdicke oder auch Informationen über Stoffdaten aus den Signalen abzuleiten. (Materialeigenschaft).

# PTRT<sup>®</sup> Verfahren Funktionsprinzip



- **Lichtblitz**
- **Absorption in der Probe**
- **Wärmeleitung in der Probe**
- **Konvektion und Strahlung an der Probe**
- **Oberflächentemperaturmessung mit IR Sensor**

# Ableitung der Temperaturkurven



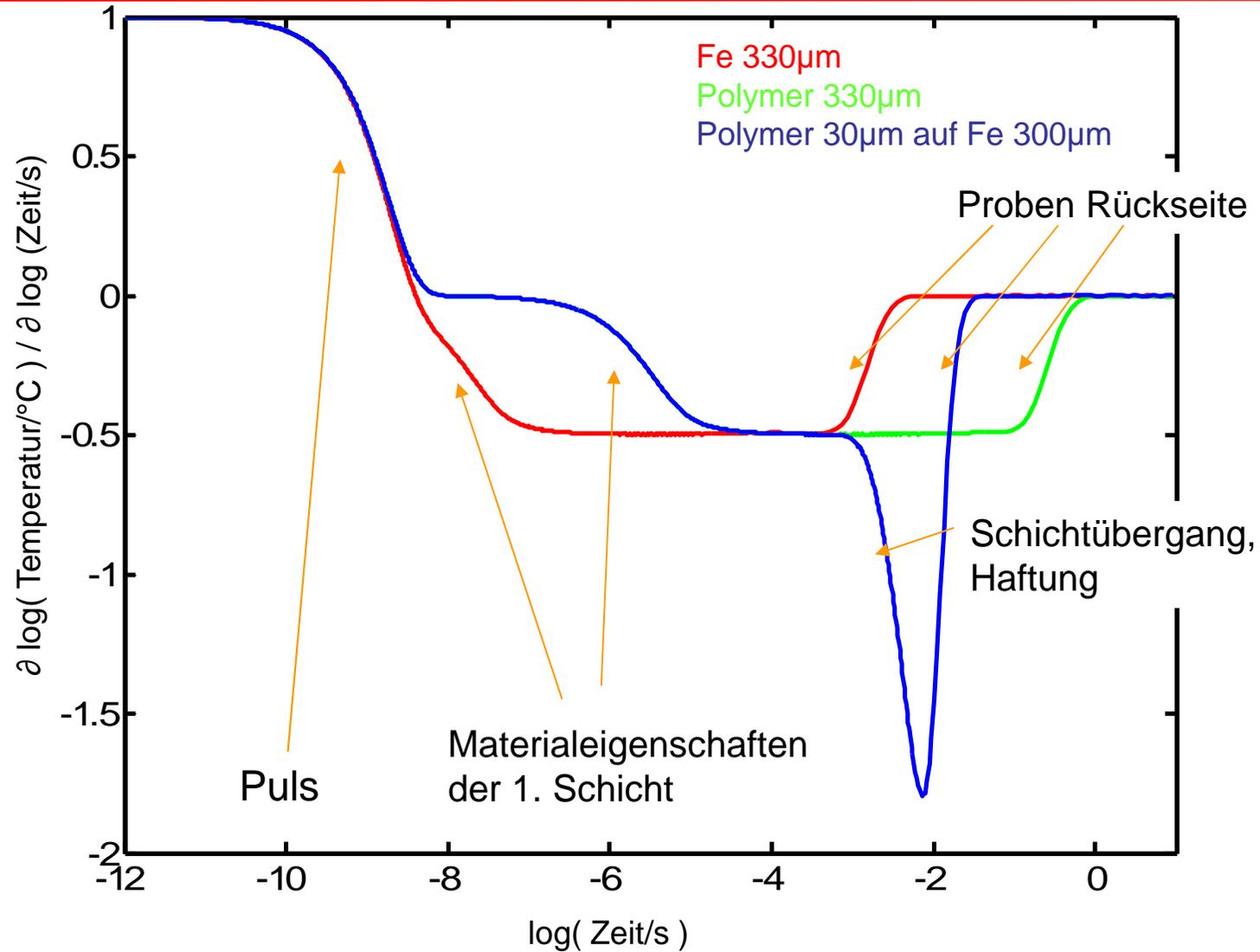
## Ableitung der Temperaturkurven

Die Ableitung aus den Temperaturkurven liefert Informationen über die Materialeigenschaften (Dichte, Wärmeleitung, Feuchte, Wärmeinhalt, Porosität, ...)

Die PTRT<sup>®</sup> Methoden sind für praktisch alle thermisch beständigen Substanzen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von >0.1% geeignet.

Thermogravimetrische Analysen liefern Informationen zu Masseveränderungen als Funktion der Temperatur.

# Ableitung der Temperaturkurven



# Messen der Dicke einer Schicht

---



Die Schichtdickenmessung nach der PTRT<sup>®</sup> Methode arbeitet berührungslos und lässt sich überall dort einsetzen, wo konventionelle Verfahren versagen.

**Auf Pulverschichten, metallischen Schichten, Lacken**

**Auf transparenten und nicht transparenten Schichten**

**Auf nassen Schichten oder auf Flüssigkeitsfilmen (Druckfarbe)**

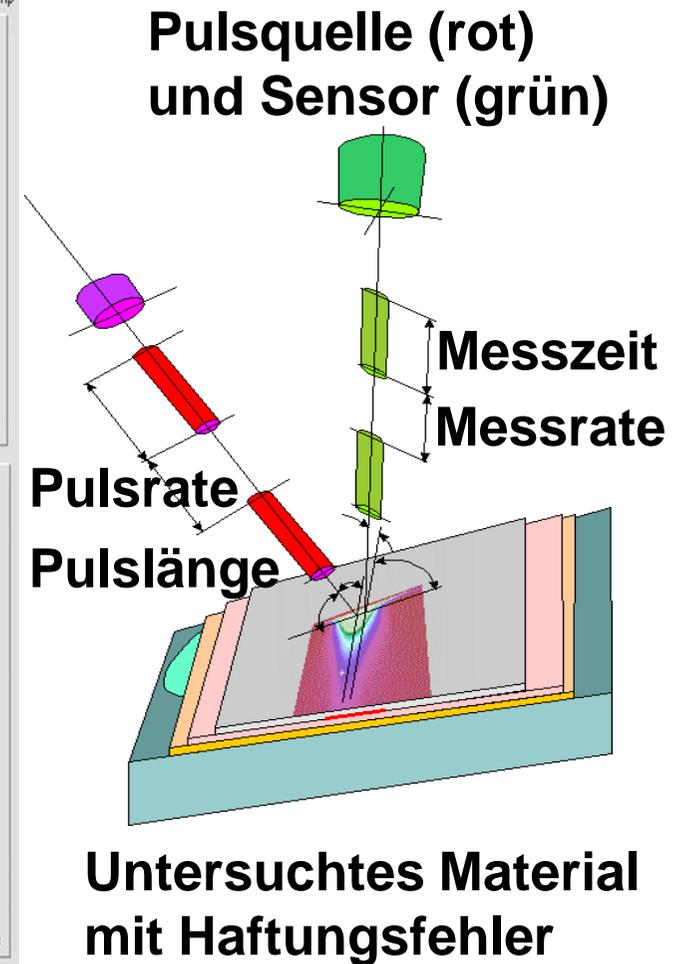
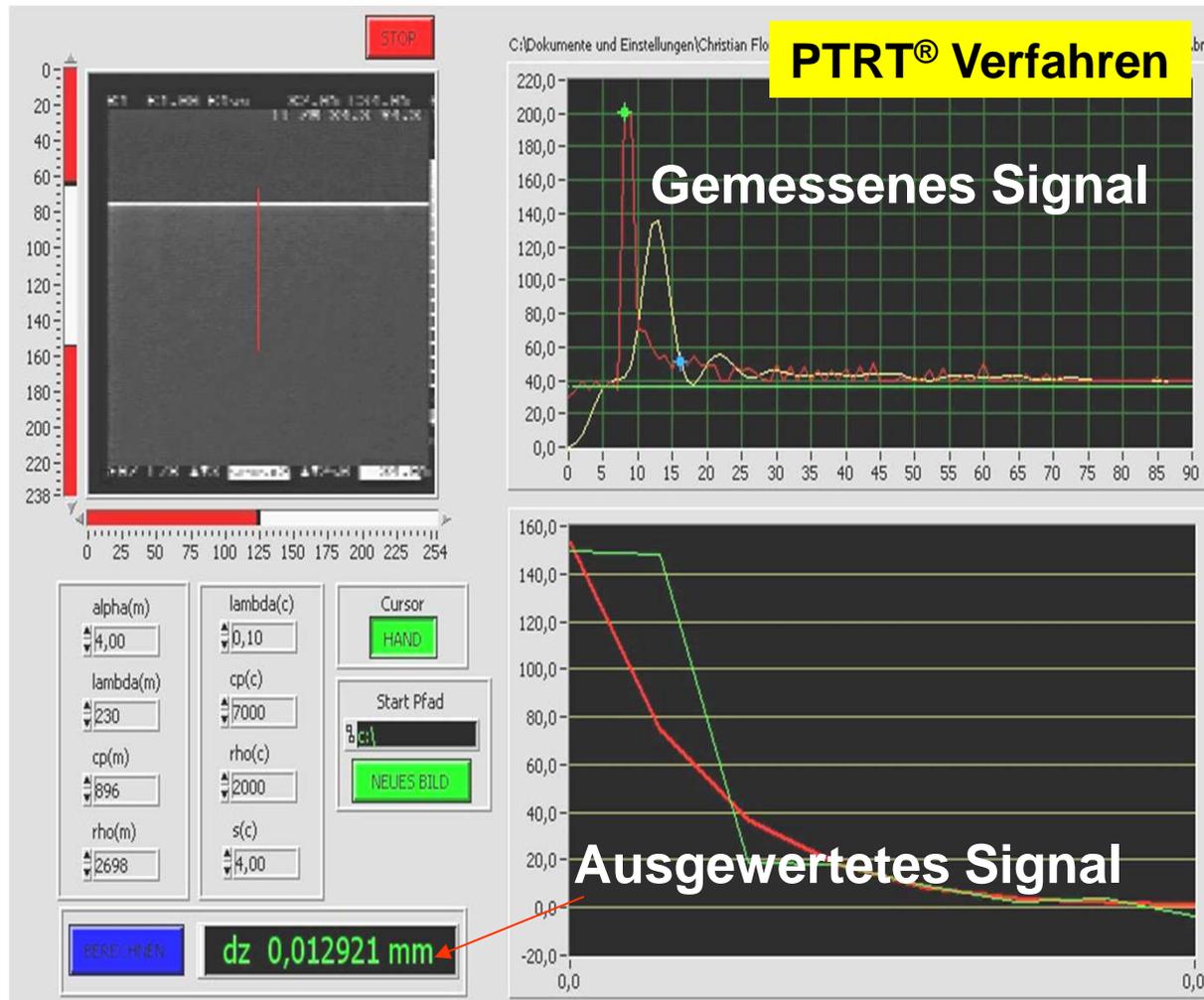
**Auf noch nicht ausgehärteten, klebrigen oder porösen Schichten**

**Auf heißen oder kalten Schichten**

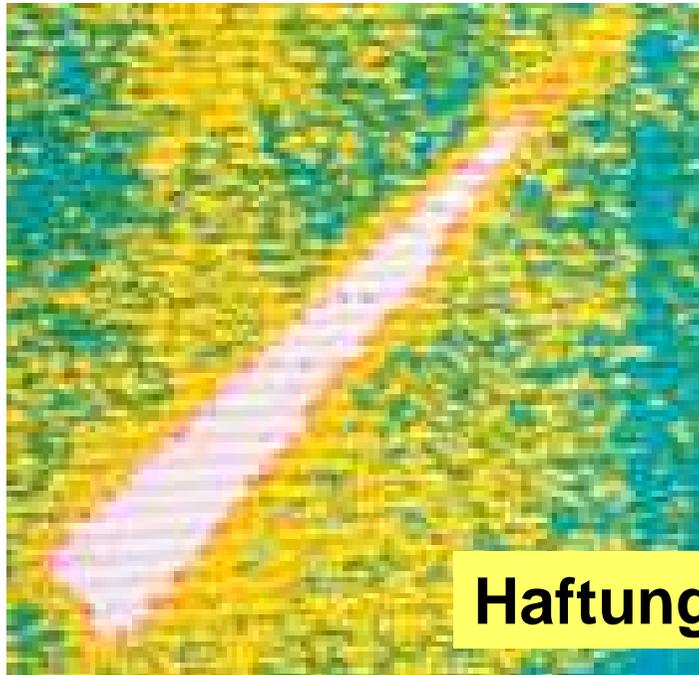
**Auf elektrisch leitenden oder nicht leitenden Schichten**

**Auf Holz, Kunststoff, Aluminium, Glas, Keramik oder Stahl**

# Messen der Dicke einer Schicht

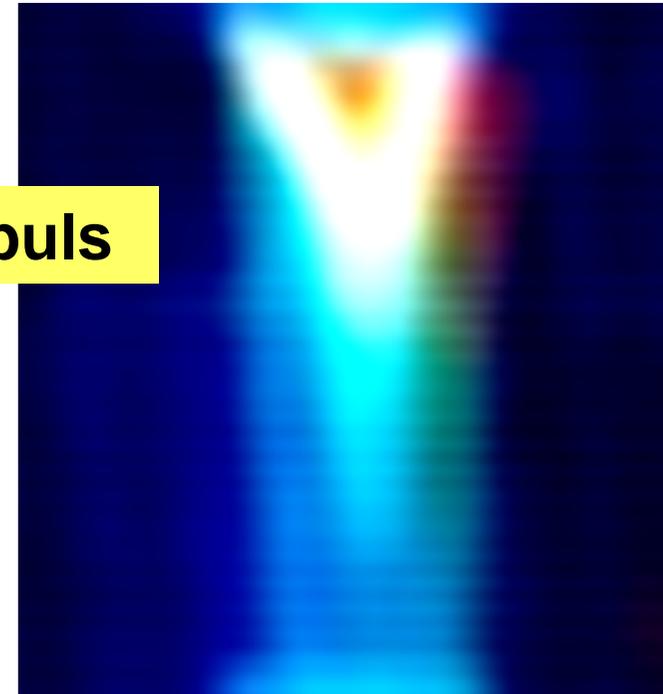


# Feststellen der Loslösung einer Schicht mit der bewährten PTRT<sup>®</sup> Methode



**Haftungsfehler**

**Laserpuls**

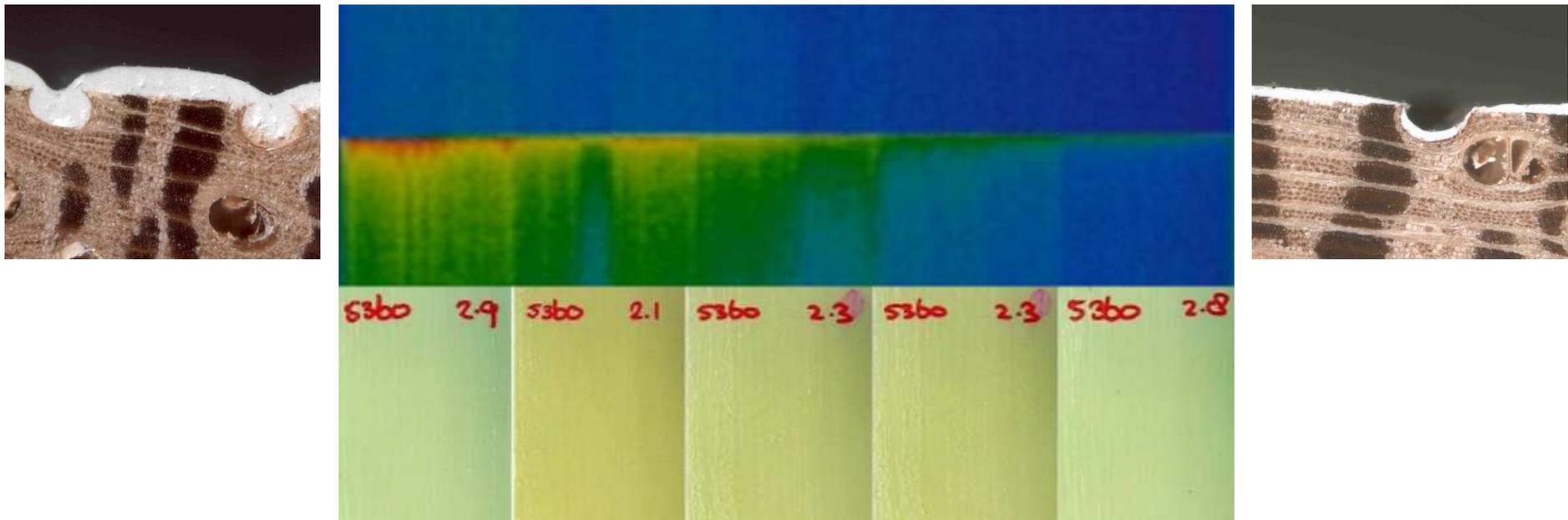


**Delamination, Scheinhaftung, Haftungsfehler oder der Grad der Polymerisation werden mit photometrischen Verfahren zuverlässig und sicher erkannt.**

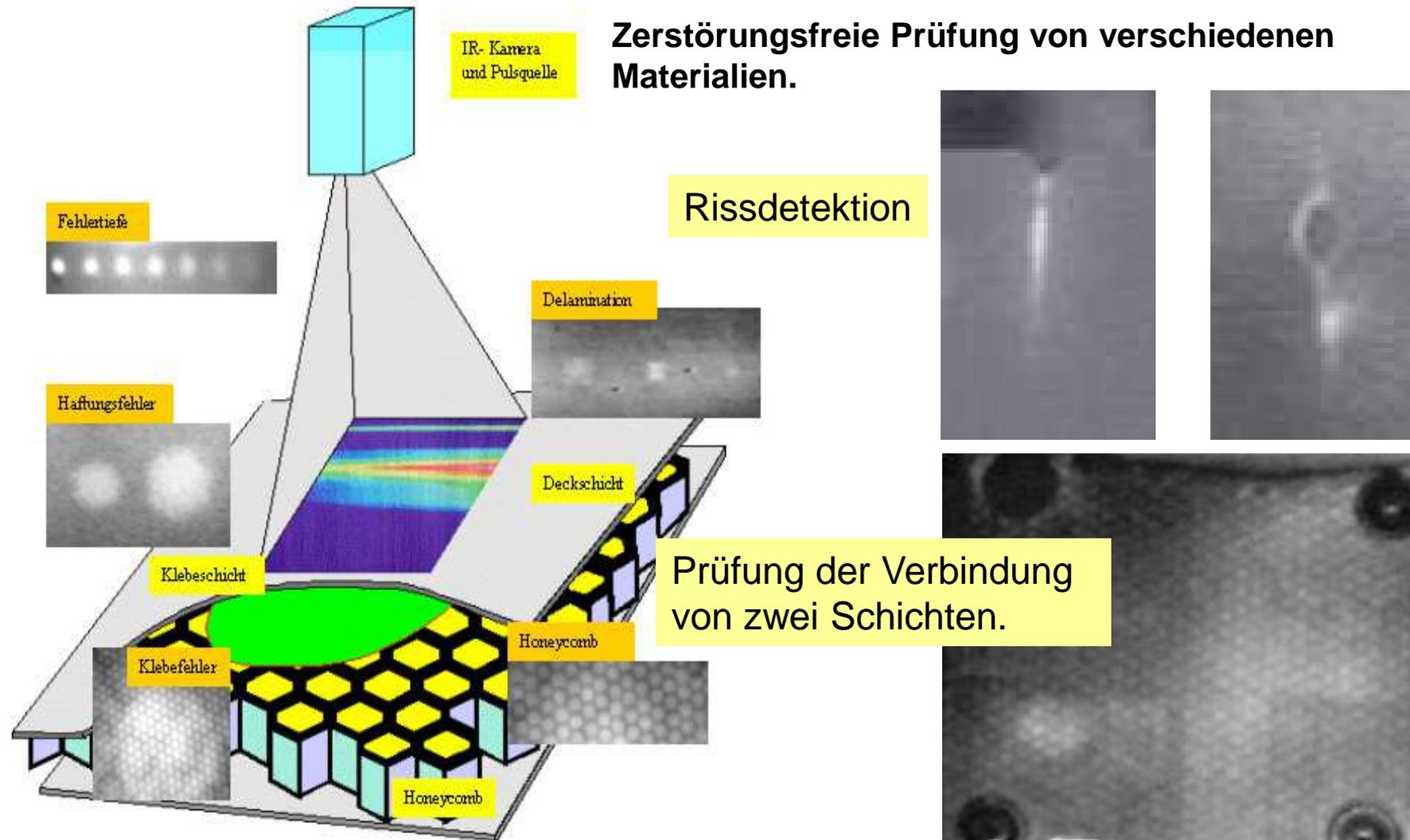
# Feststellen der Dicke einer Schicht mit der PTRT<sup>®</sup> Methode

Um die Anforderungen in der Beschichtung zu erfüllen, sind die Produktionsanlagen zu optimieren. Durch die Messung der Dicke oder der Haftung einer Beschichtung werden wirtschaftliche Vorteile erschlossen, die bedeutende Wettbewerbsvorteile ergeben. Für Beschichter von Holz oder von Kunststoffen liefert das PTRT<sup>®</sup> Verfahren mehrere Messwerte über die Dicke einer Schicht in Mikrometer-Genauigkeit. Eine zu dicke oder eine zu dünne Beschichtung auf dem Substrat sowie Haftungsfehler werden in der laufenden Produktion festgestellt.

## Zum Beispiel Holzwerkstoffe



# Zerstörungsfreie Prüfung mit der PTRT<sup>®</sup> Methode



# Märkte und Anwendungen

---



## Märkte

- Autoindustrie
- Flugzeugindustrie und Raumfahrt
- Eisenbahn
- Chemie
- Medizin
- Maschinenindustrie
- Beschichtungsindustrie
- .....

## Anwendungen

- Oberflächenvermessung (Topografie).
- Geometrievermessung
- Charakterisieren von Oberflächen.
- Qualitätskontrolle
- Zerstörungsfreie Prüfungen
- Steigerung der Effizienz
- .....

# Laserinduzierte Fluoreszenzspektroskopie

## Wechselwirkung zwischen Licht und Materie

---



### Laserinduzierte Fluoreszenzspektroskopie

Die laserinduzierte Fluoreszenzspektroskopie LIF(t) beruht auf der Wechselwirkung gepulster Laserstrahlung mit Fluorophoren, die in Form von Verunreinigungen oder Beschichtungen auf einer Oberfläche vorhanden sind.

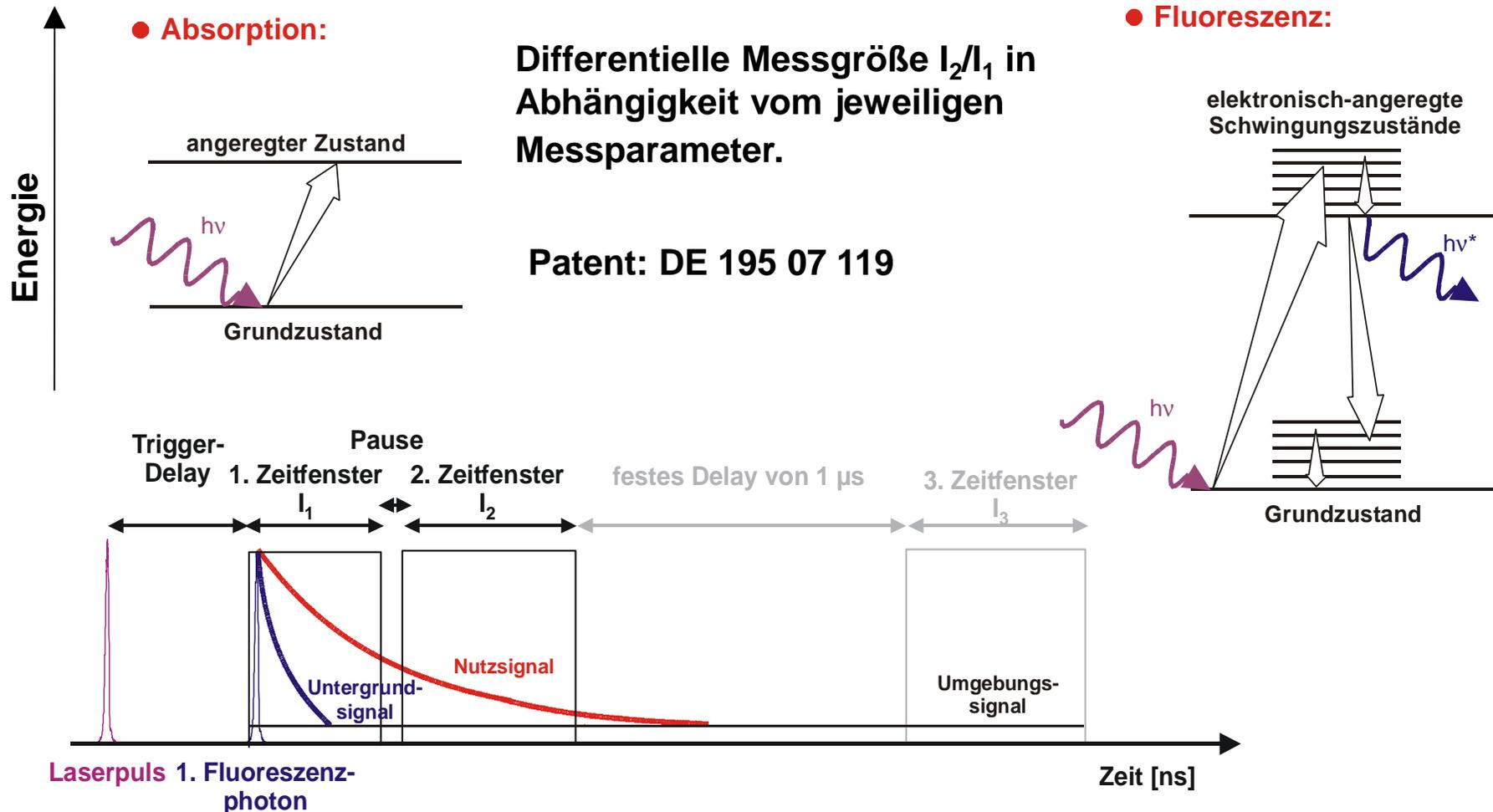
Die Anregung der nachzuweisenden Substanzen erfolgt dabei überwiegend mit ultravioletter Laserstrahlung über Quarzlichtleiter direkt im Prozess bzw. auf der zu untersuchenden Oberfläche, so dass keinerlei Probenaufbereitung erforderlich ist.

Auf der Basis eines Zählverfahrens mit einem sensiblen Einzelphotonennachweis werden die Messwerte als Ergebnis von bis zu 10.000 Einzelmessungen ermittelt und im Sekundentakt angezeigt.

Mit der LIF(t) steht ein prozessanalytisches, berührungsloses Verfahren zur Verfügung, das eine unmittelbare, zerstörungsfreie, qualitative und quantitative Analyse von Beschichtungen direkt im Prozess erlaubt.

# Laserinduzierte Fluoreszenzspektroskopie

## Wechselwirkung zwischen Licht und Materie



**Effiziente Unterdrückung von Störeinflüssen.**

## **Sauberkeitsanalyse:**

Spurenanalyse von Produktionshilfsstoffen

## **Analyse funktioneller Beschichtungen:**

- Schichtdicke
- Homogenität
- Fehlstellen
- Stoffeigenschaften

## **Anwendungen**

- **Direkte Prozessoptimierung**
- **Dokumentationsfähige Messdaten**
- **Einsparungspotential erschliessen**

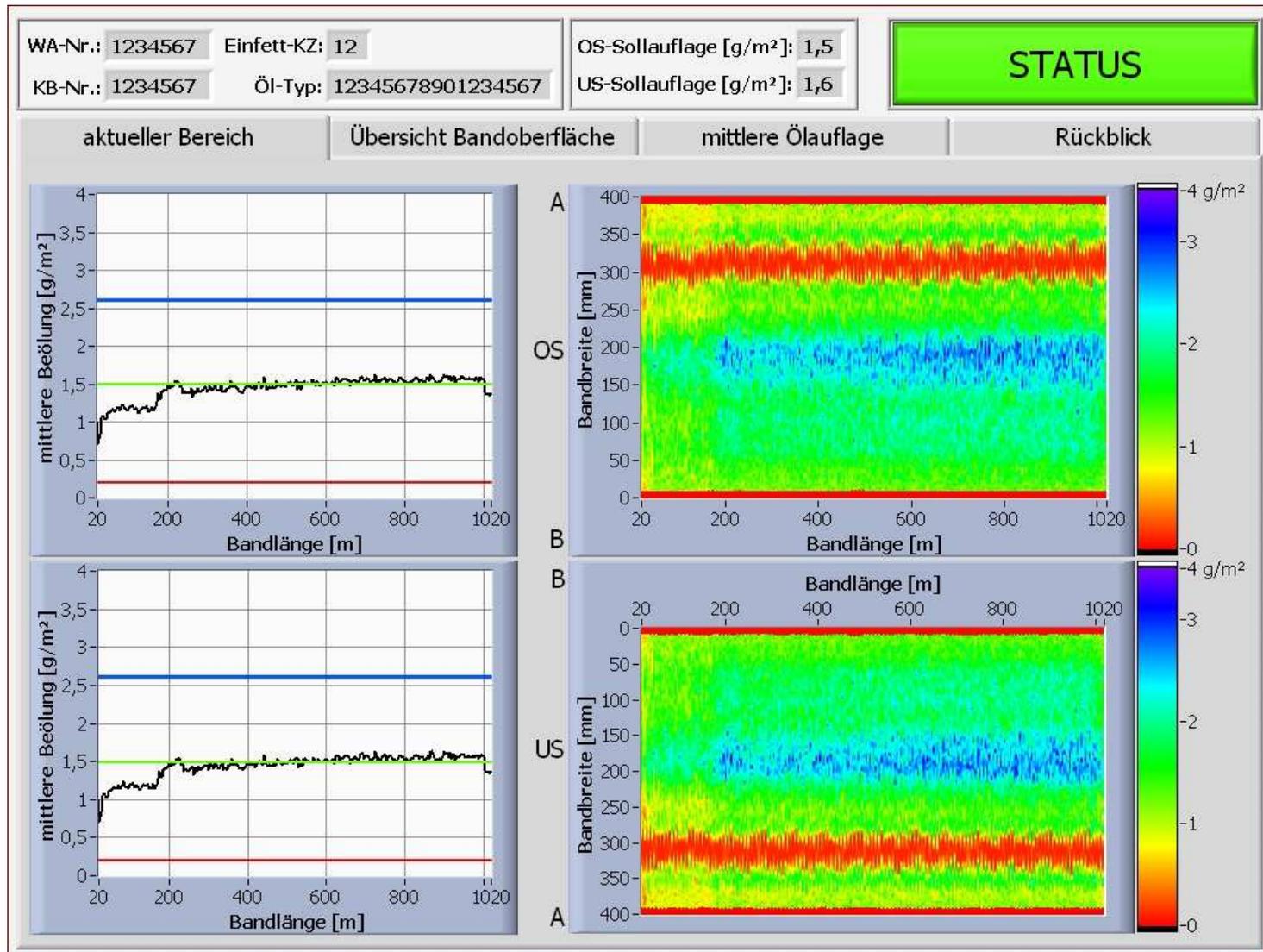
# Anwendungsbeispiel

## Analyse des Ölauftrages in Walzprozessen

Ergebnisse

Beölungsanlage

0 – 4 g/m<sup>2</sup> Ölfilm,  
gemessen  
bei 400 m/min



## Messen mit Licht

Werden definierte Spektren genutzt um eine Schichtdicke abzuleiten, sind Pulsquelle, Objekt und Signalempfänger aufeinander abgestimmt.

Die Pulsstrahlung, erzeugt durch ein LED-Element (oder SLED), gelangt auf das Messobjekt und durchdringt dieses.

An jeder Trennstelle wird ein Teil vom eingestrahlteten Licht wieder gestreut oder reflektiert und zur Oberfläche zurückgesendet.

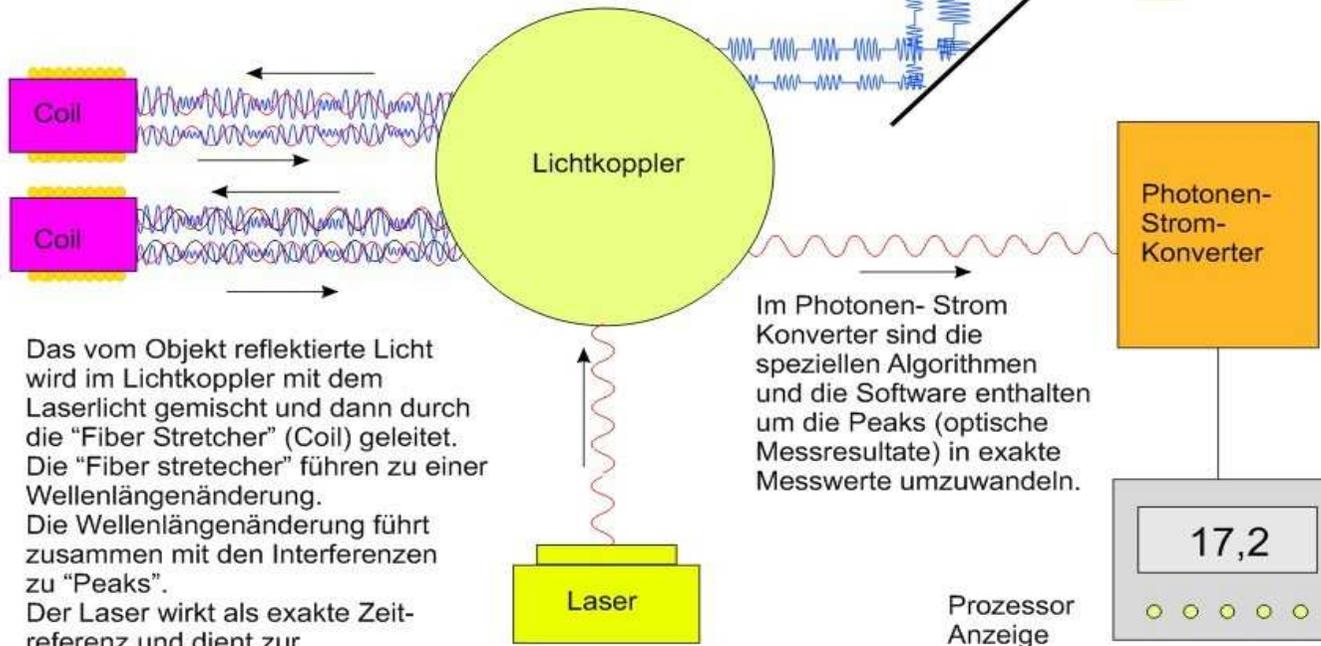
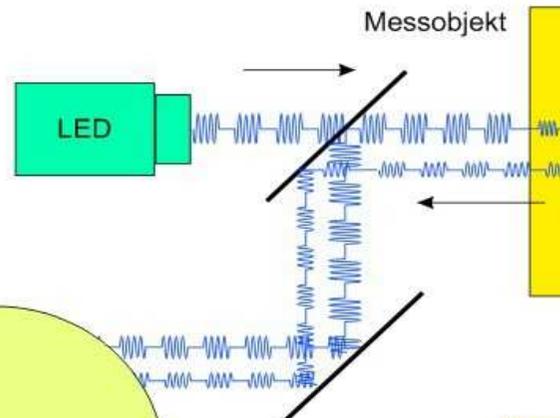
Dies heisst, dass die Lichtmenge, die vom Lichtkoppler gemessen wird, eine Funktion der Materialdicke und der Anzahl Trennstellen ist.

Die Variation der reflektierten Lichtteilchen wird so weiter verarbeitet, dass die Zonen, wo zusätzliches Licht gemessen wird (Peaks im Lichtstrom), lokalisiert und zeitlich identifiziert werden.

Aus der Laufzeit der Photonen werden Rückschlüsse auf die Dicke einer Schicht oder auf Störungen im Innern der Schicht abgeleitet.

# Messen mit Licht

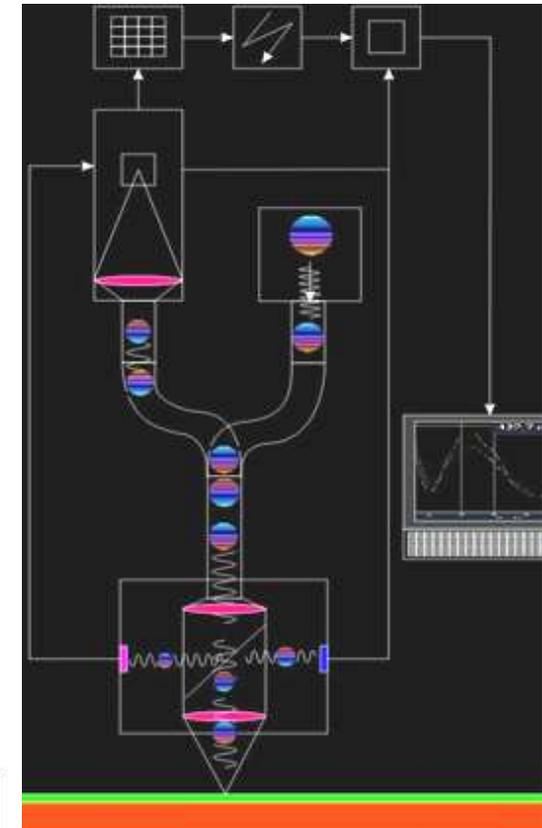
Photonen werden von einer LED auf die Oberfläche eines Messobjekts getrahlt. Auf der Oberfläche wird ein Teil der Strahlung reflektiert und ein Teil bis zur nächsten Trennschicht weitergeleitet. Bei jeder Trennschicht wird ein Teil der eingestrahlteten Photonen zurück reflektiert, sodass immer mehr Licht zum Lichtkoppler gelangt.



Das vom Objekt reflektierte Licht wird im Lichtkoppler mit dem Laserlicht gemischt und dann durch die "Fiber Stretcher" (Coil) geleitet. Die "Fiber stretcher" führen zu einer Wellenlängenänderung. Die Wellenlängenänderung führt zusammen mit den Interferenzen zu "Peaks". Der Laser wirkt als exakte Zeitreferenz und dient zur Bestimmung der optischen Abstände zwischen den Peaks. Daraus wird die Dicke des Messobjekts sehr genau ermittelt.

Im Photonen-Strom Konverter sind die speziellen Algorithmen und die Software enthalten um die Peaks (optische Messresultate) in exakte Messwerte umzuwandeln.

Der Messwert wird angezeigt und kann weiterverarbeitet werden.



## Messen mit Licht

Mit dem Photonen-Zählverfahren lassen sich sogar kleinste Unterschiede in der Schichtverbindung (Interface) und Unterschiede in der Dicke der Schicht im Bereich von wenigen Nanometern exakt und reproduzierbar feststellen.

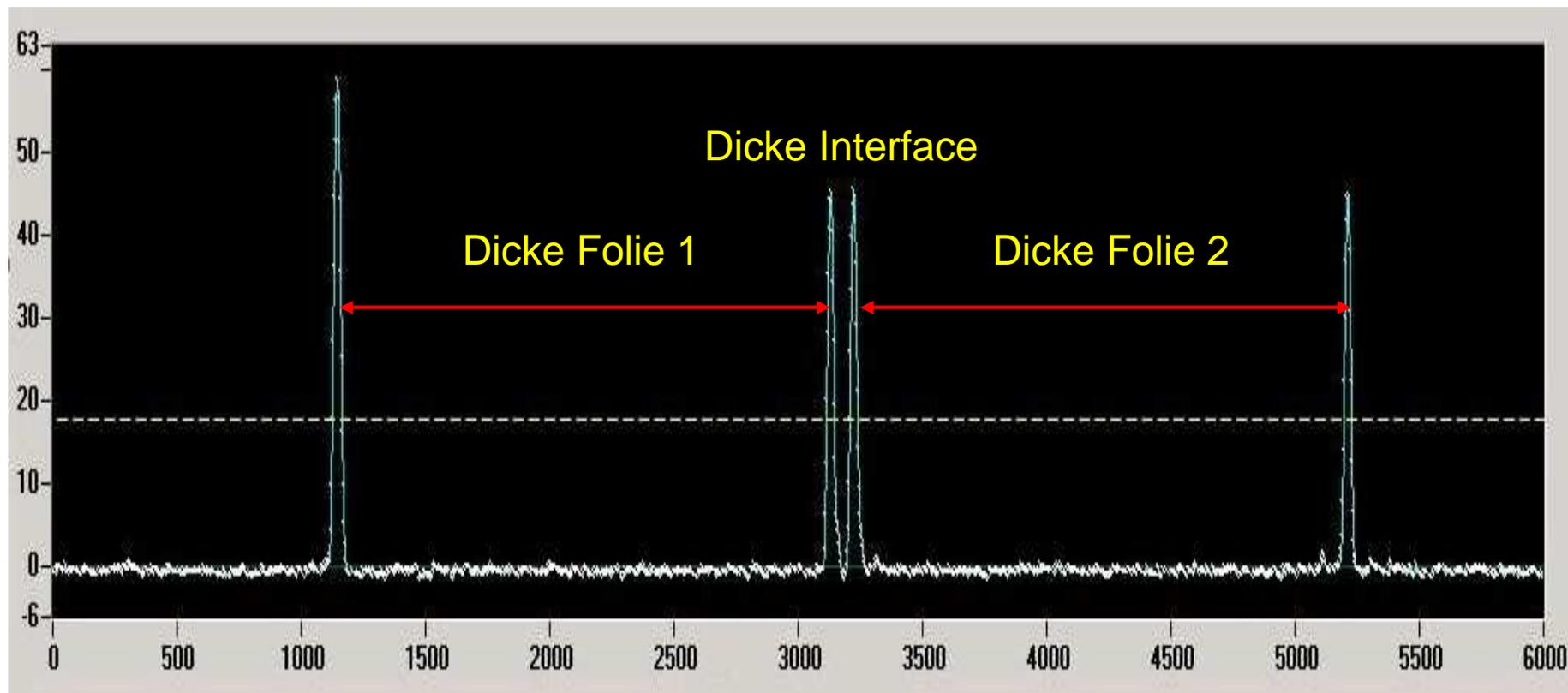
Die sich überlagernden Lichtwellen liefern in der Lichtstärke veränderliche Signale, die auch die Information über die Dicke der durchdrungenen Schicht beinhalten.

Das Verfahren ist sehr empfindlich. Zur Charakterisierung von Schichtübergängen ist es aber nur einsetzbar, wenn die zu vermessenden Schichten transparent oder halbtransparent sind.

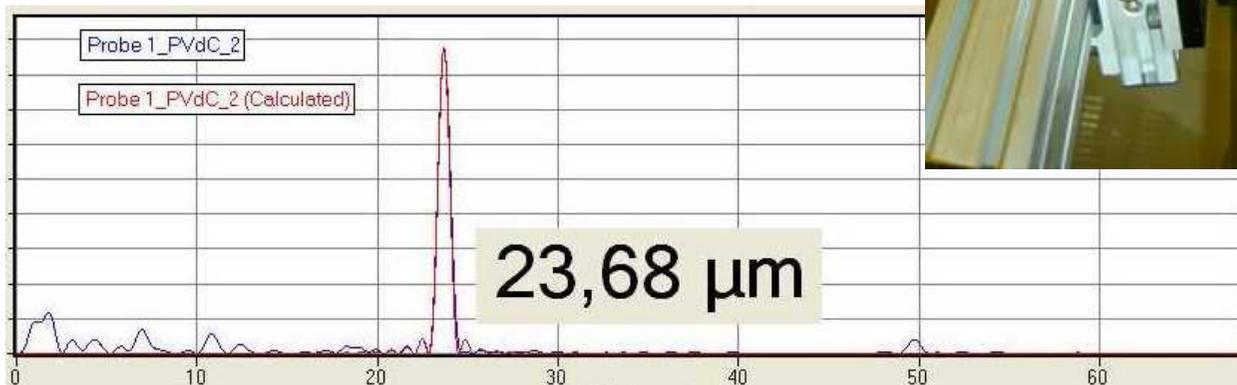
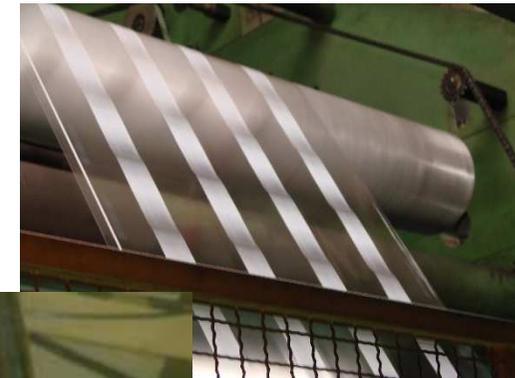
Bei opaken (nicht durchsichtigen) Schichten ist die Kombination mit der PTRT<sup>®</sup> Methode zu empfehlen.

# Auswerte-Software für die Photonendichtemessung

- Bedienerfreundlich
- Leicht zu implementieren
- Präzision im Submikrometer-Bereich



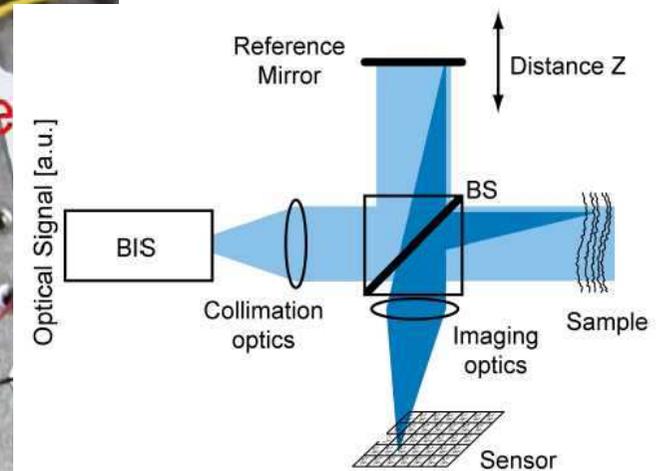
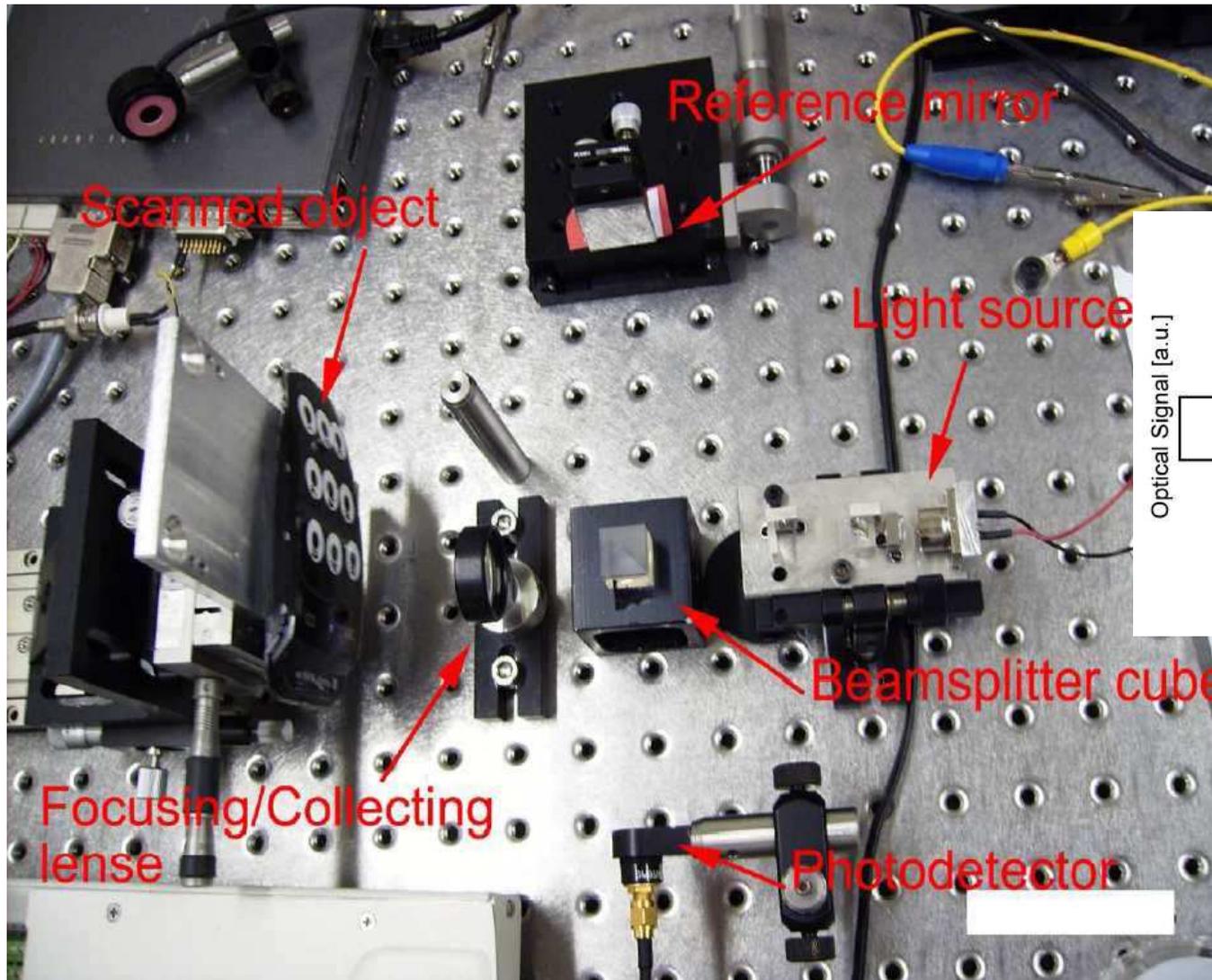
# Messgerät - Ausführungsformen



Kundenspezifisch angepasster Messkopf

- **Weitgehend unabhängig vom Werkstoff**  
(Metall, Kunststoff, Papier, Holz, Flüssigkeit).
- **Freie Werkstoffkombination**  
(Elektrisch leitend, magnetisch, kristallin, amorph, duktil).
- **Schnelle Verfahren**  
(Mit Lichtgeschwindigkeit)
- **Berührungslos**  
(Aus Abstand, keine Beeinflussung des Messbereichs, keimfrei)
- **Zerstörungsfrei**

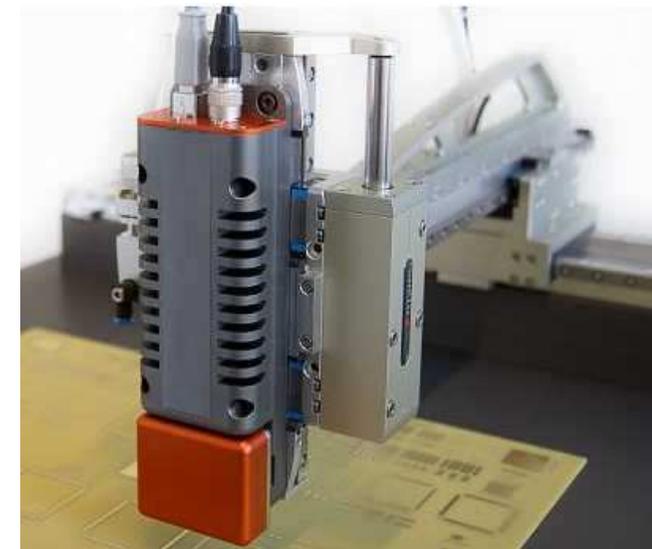
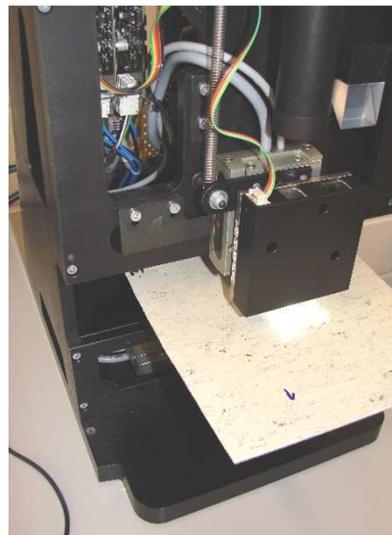
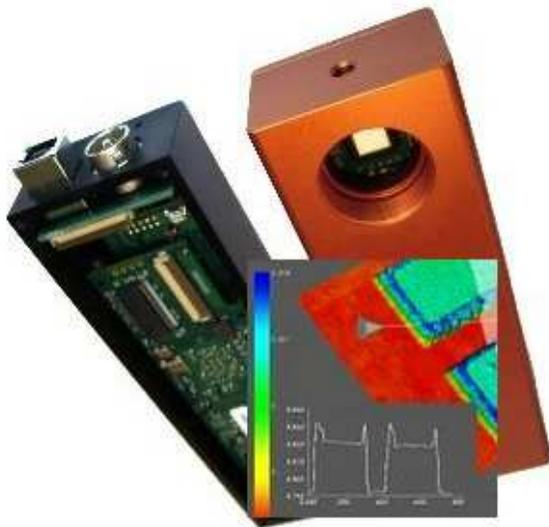
# OCT- Prinzip und Laboraufbau



# pOCT Top-Technologie

Neue Produktionstechnologien erlauben den Bau optischer Prüfeinheiten auf kleinstem Raum und erschliessen völlig neue Anwendungen für die Qualitätskontrolle und für die kontinuierliche Prozessüberwachung.

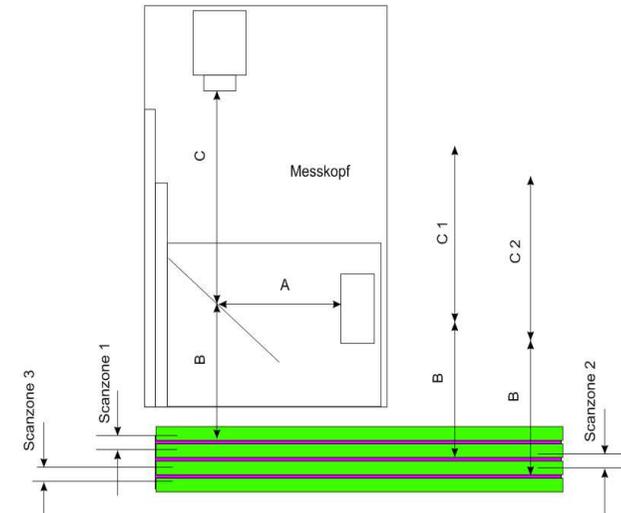
Bei der pOCT-Technologie (**parallel Optical low-Coherence Tomography**) werden spezielle, für die 3D-Messtechnik entwickelte CMOS-Bildsensoren verwendet. Weil jedes Bildelement mit einer eigenen Optik und einer eigenen Signal-Vorverarbeitung ausgerüstet ist, verarbeiten diese Bildsensoren bis zu **1 Million** Einzelbilder **pro Sekunde** mit einer vertikalen Auflösung von bis zu **20 Nanometern**.



# Neu pOCT-Verfahren

## Sensorchip mit

- 300 \* 300 Bildelementen
- mit integrierter Optik und mit
- On Board Signal-Vorverarbeitung



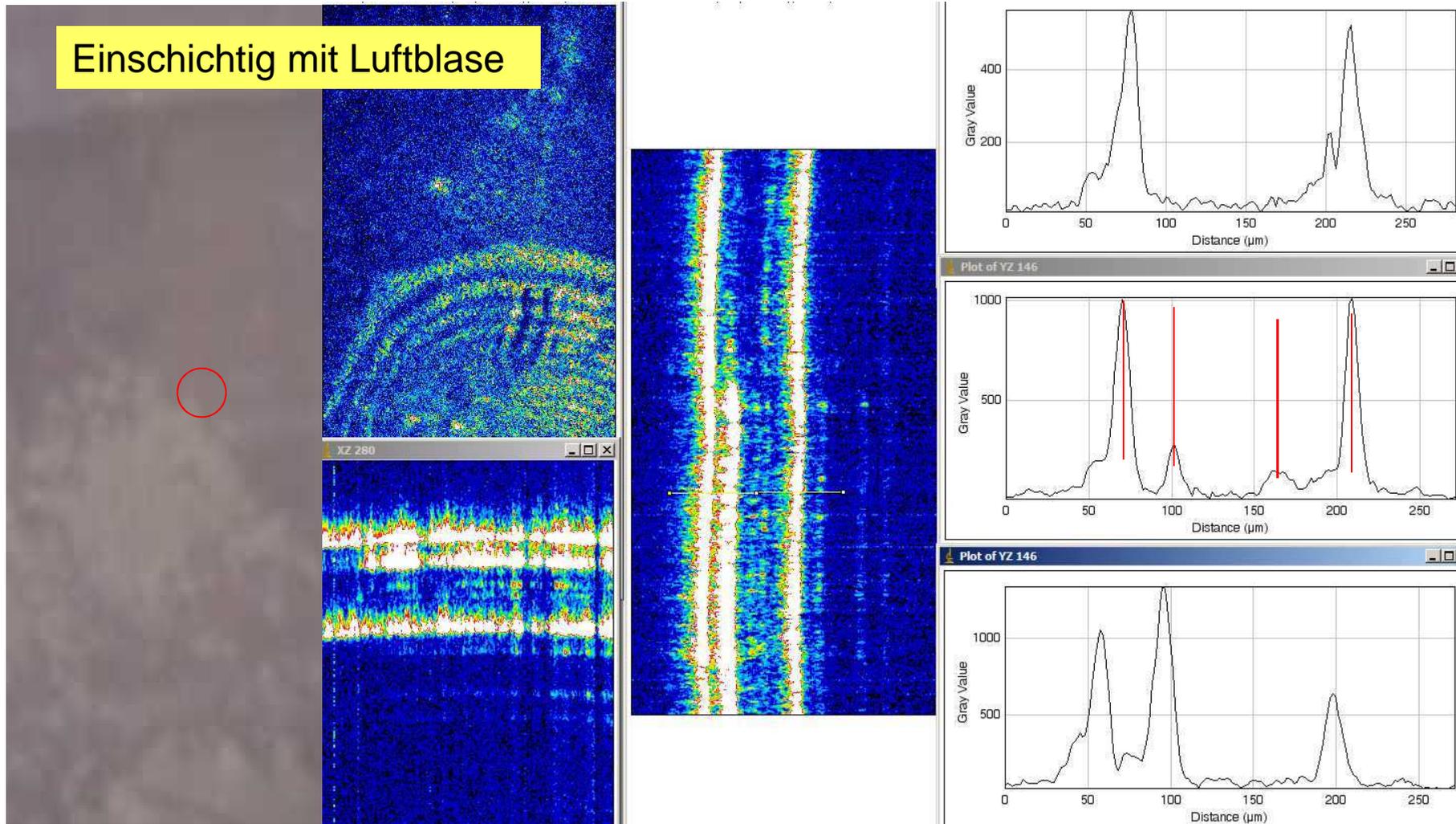
Tiefenauflösung im  $\mu\text{m}$  Bereich

Laterale Auflösung im  $\mu\text{m}$  Bereich

Tiefenbereich im mm Bereich

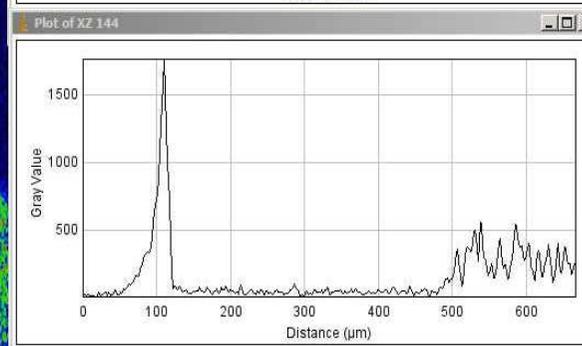
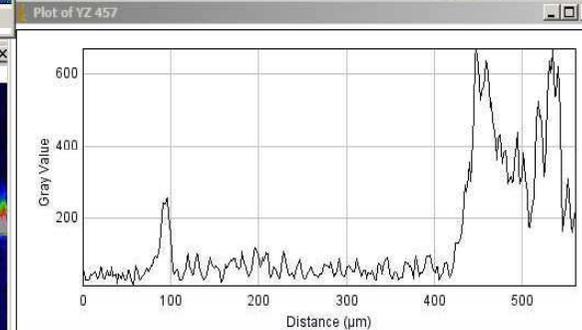
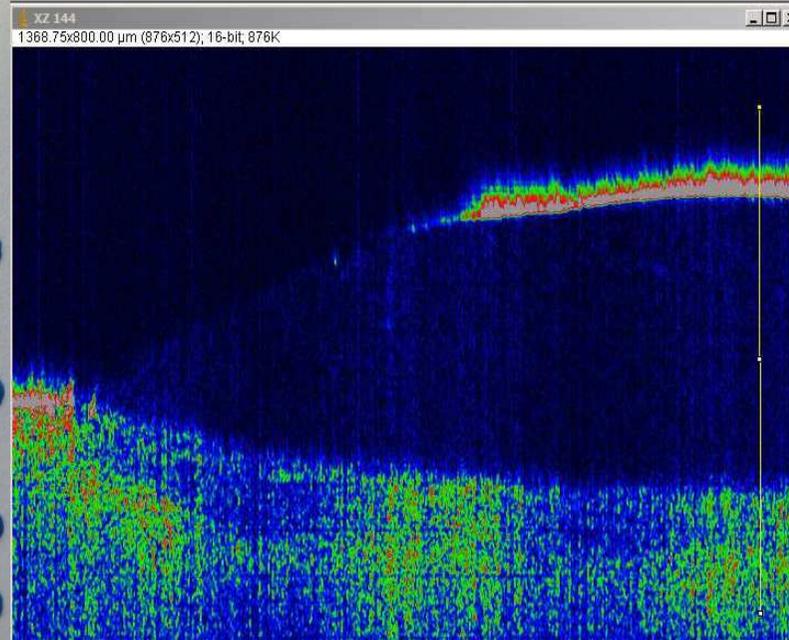
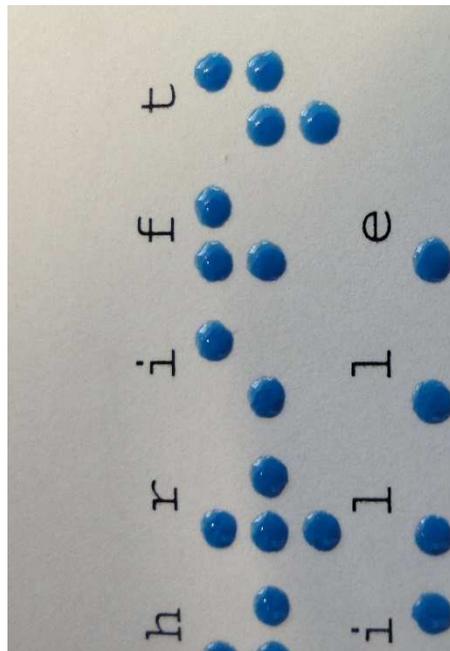
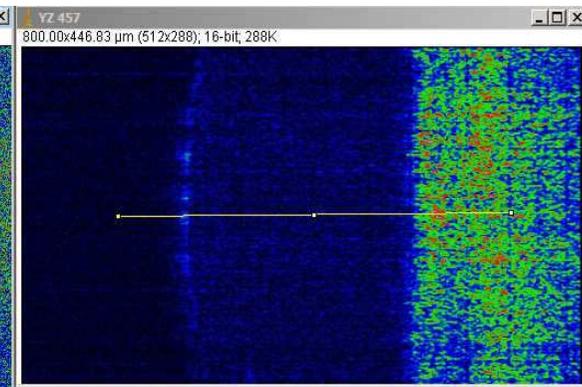
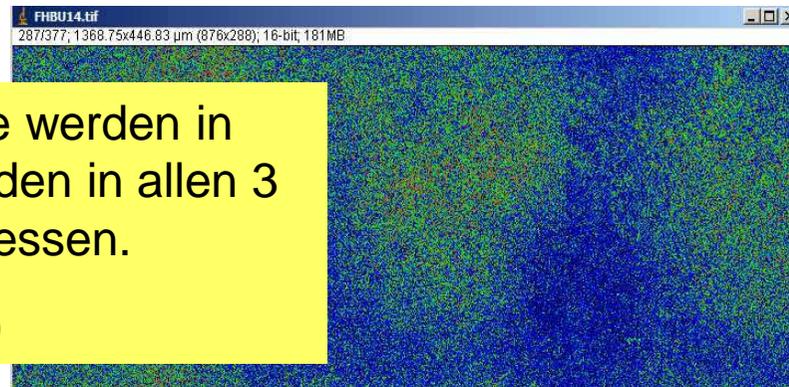
Dynamik 1 Mio frames per second

# OCT-Tomografie zur Schichtdickenmessung



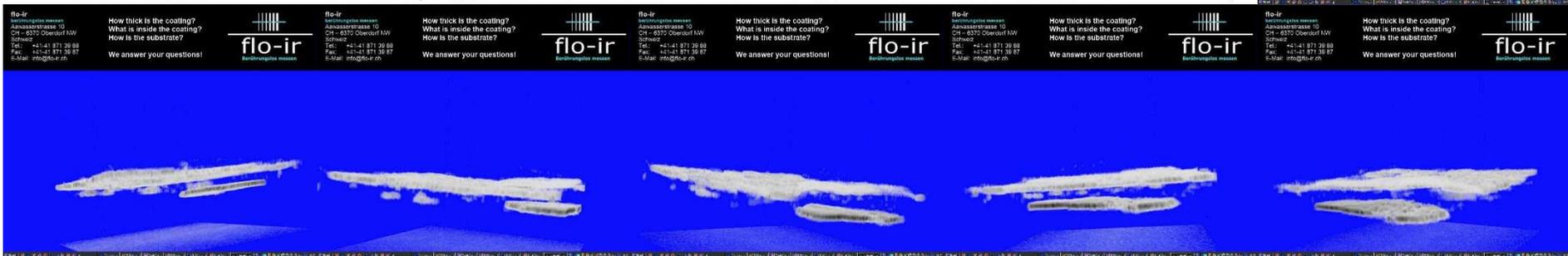
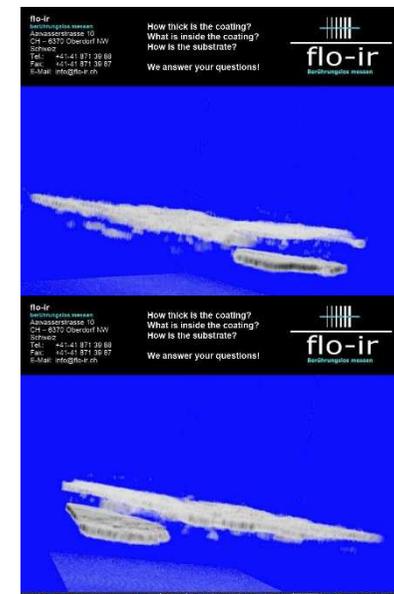
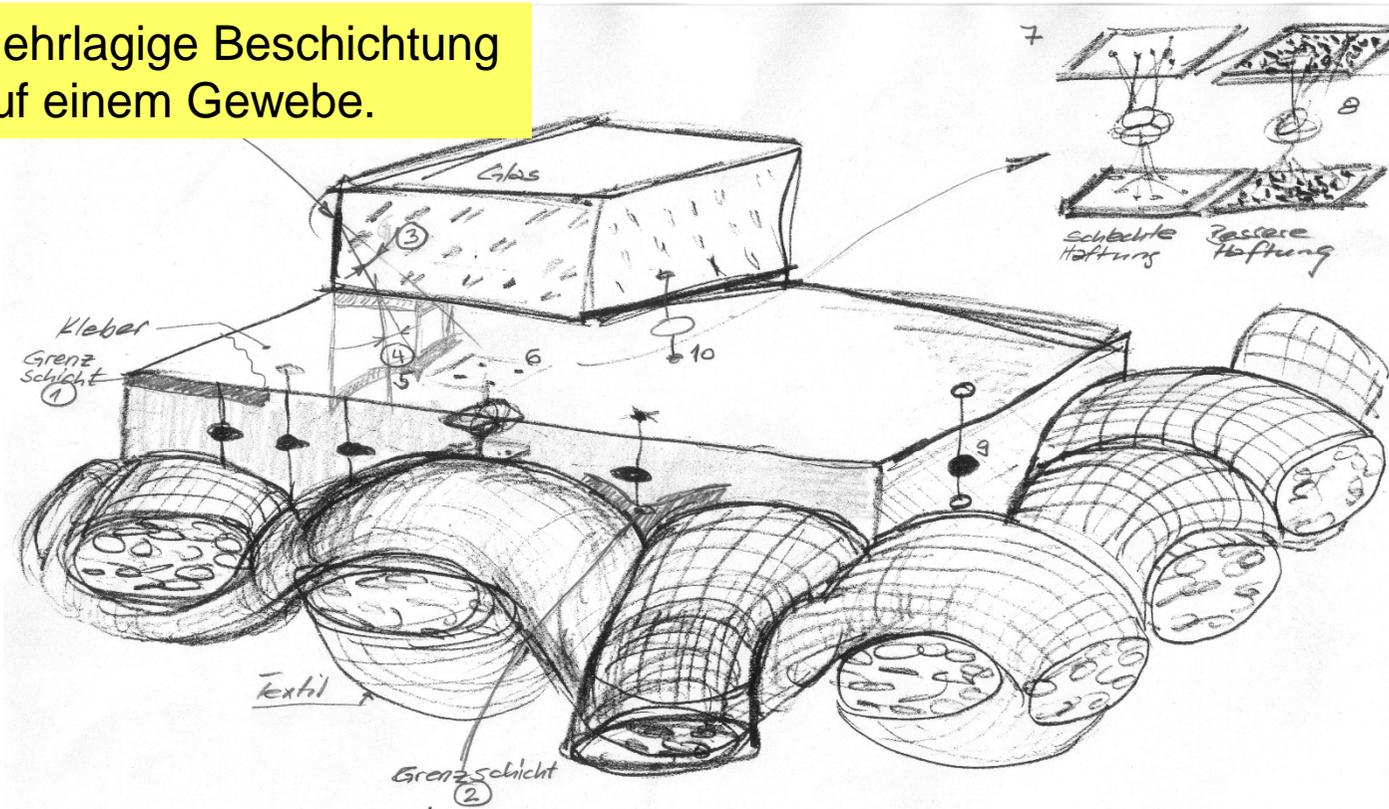
# OCT-Tomografie zur Volumenvermessung

Dickenunterschiede werden in wenigen Millisekunden in allen 3 Dimensionen vermessen.  
(Volumenmessung)

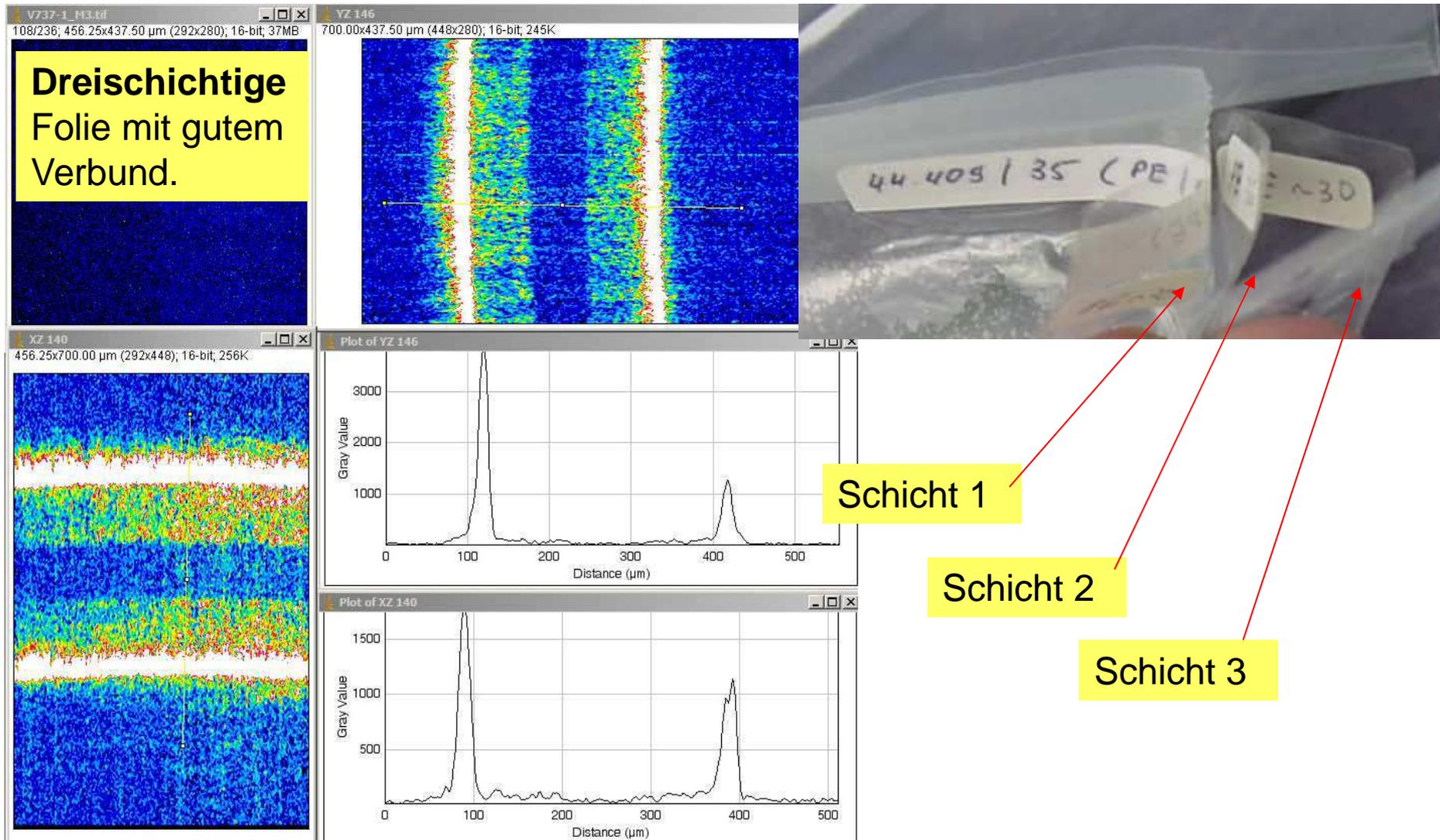


# OCT-Tomografie zur Schichtdickenmessung

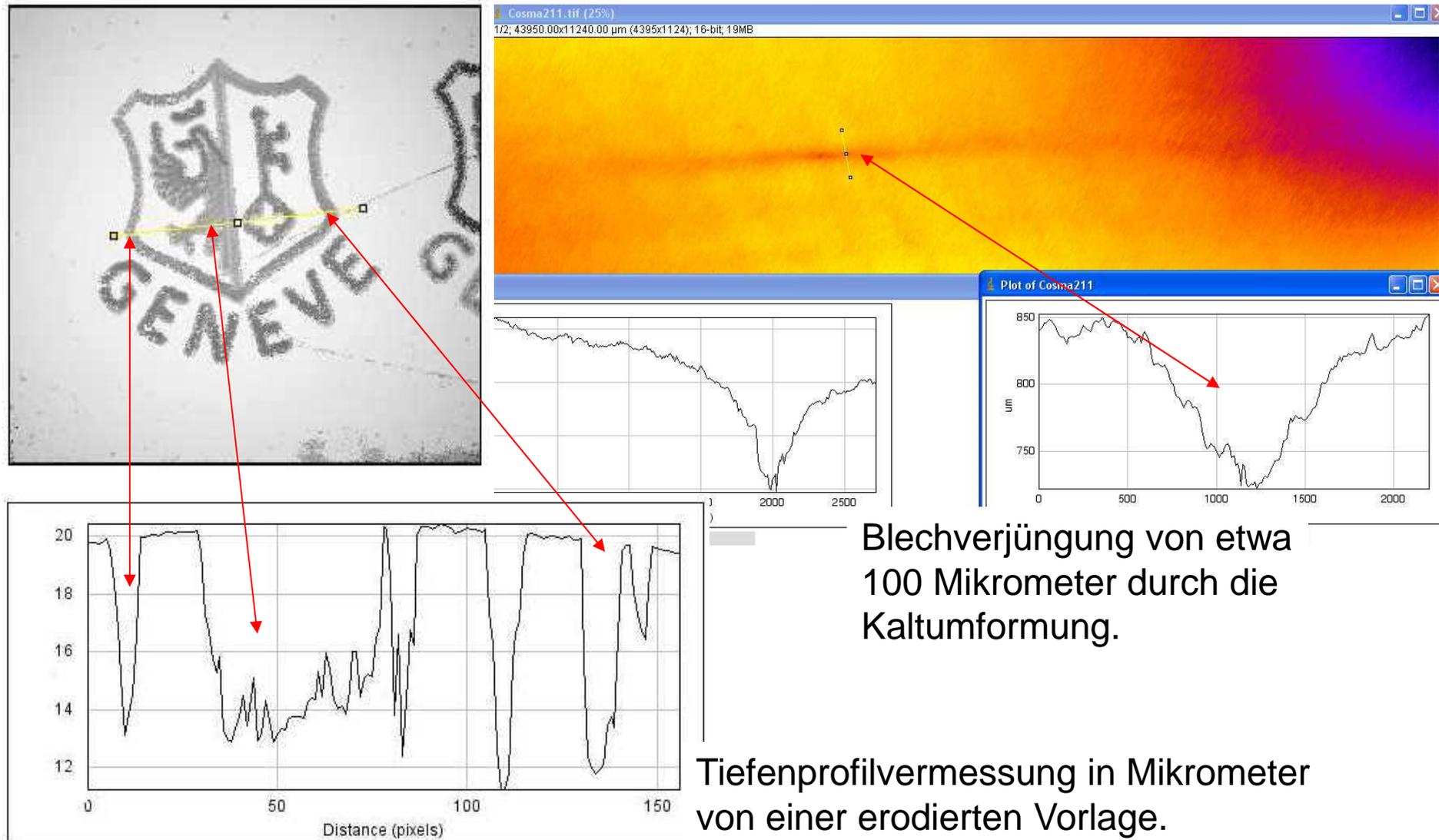
Mehrlagige Beschichtung auf einem Gewebe.



# OCT-Tomografie zur Schichtdickenmessung

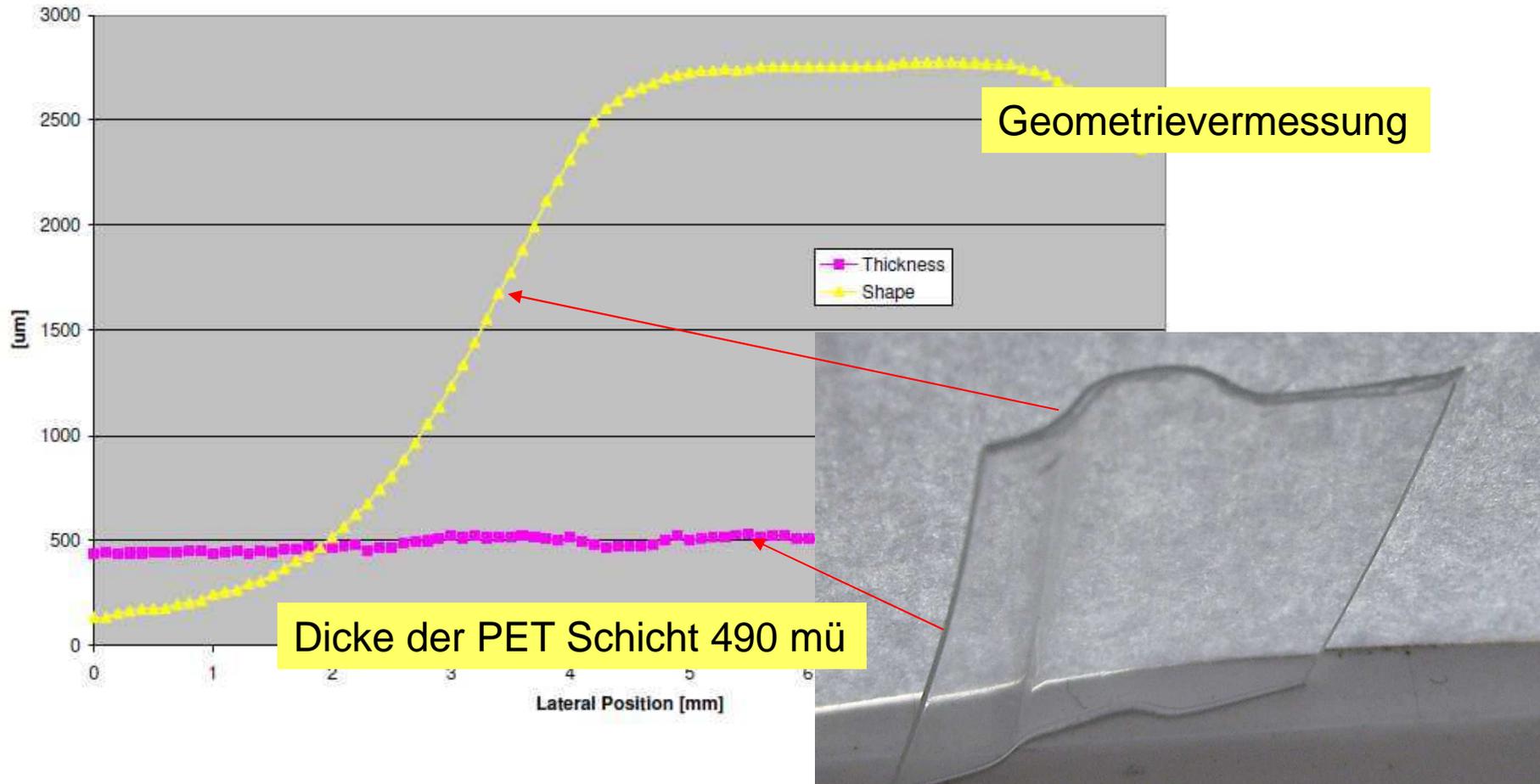


# OCT-Tomografie zur dreidimensionalen Profilermessung



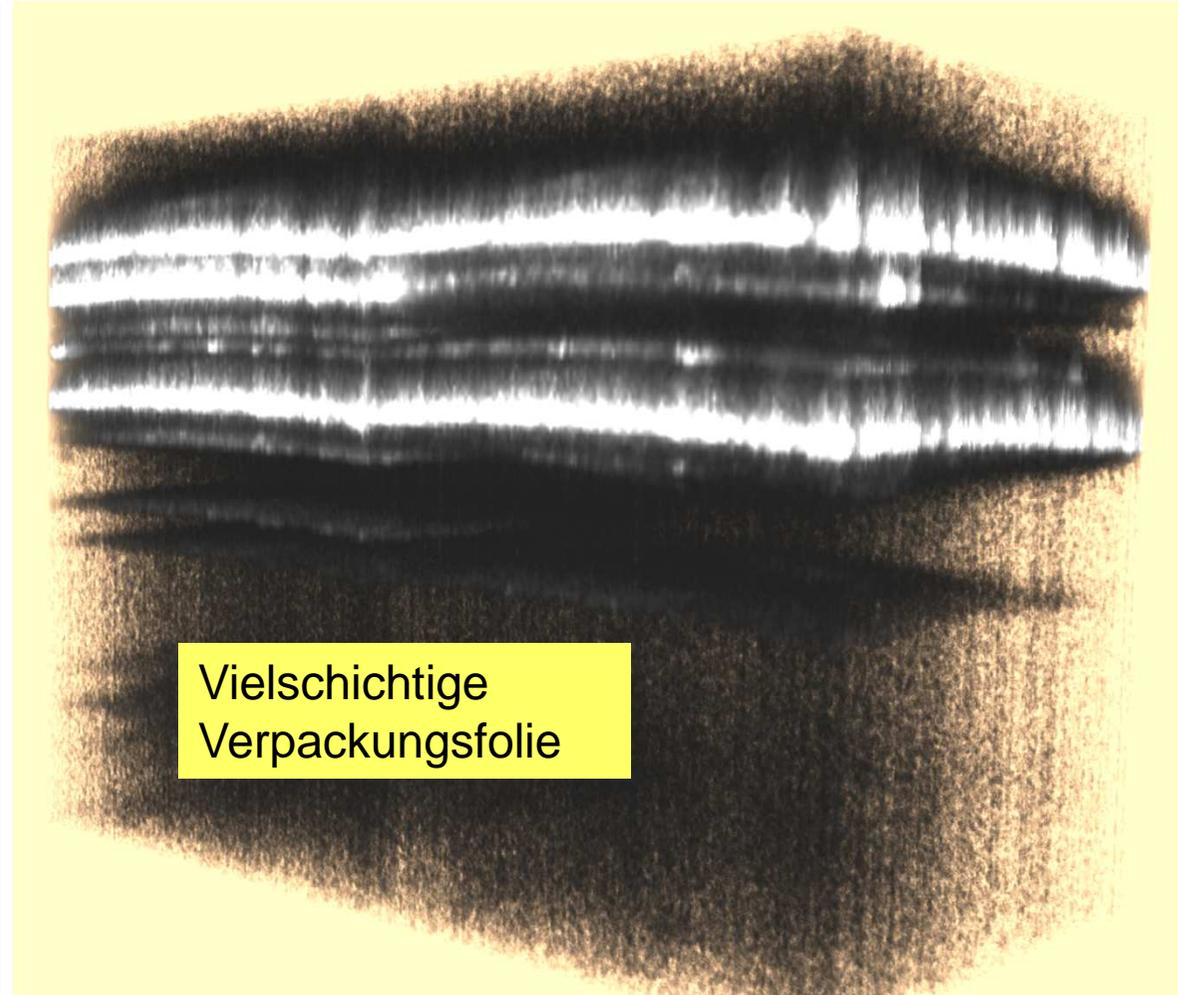
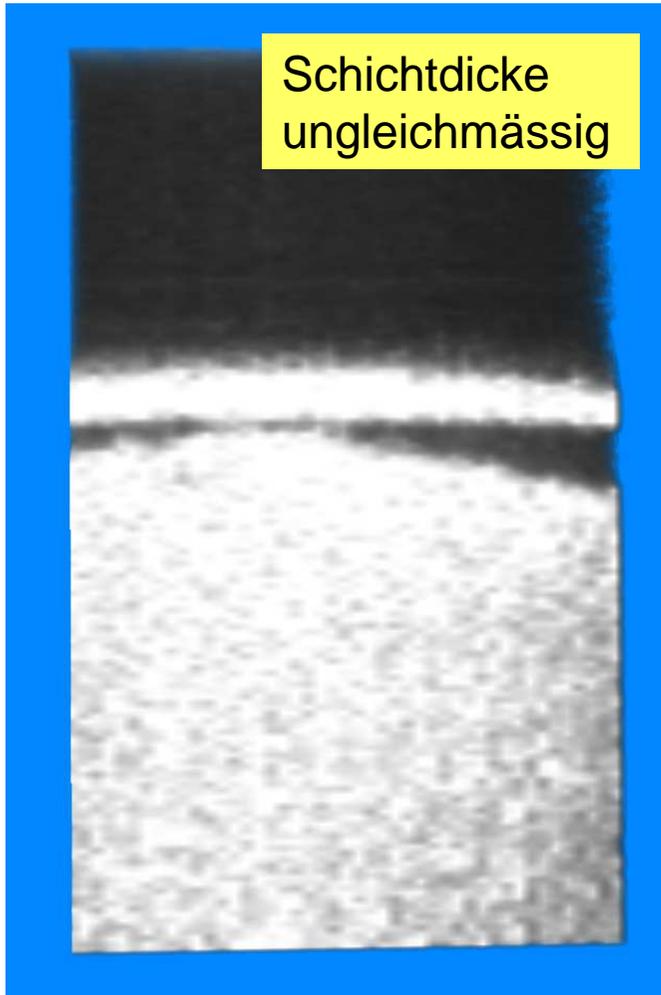
# OCT-Tomografie zur gleichzeitigen Messung der Schichtdicke und der Bauteilgeometrie

PET Thickness Measurement



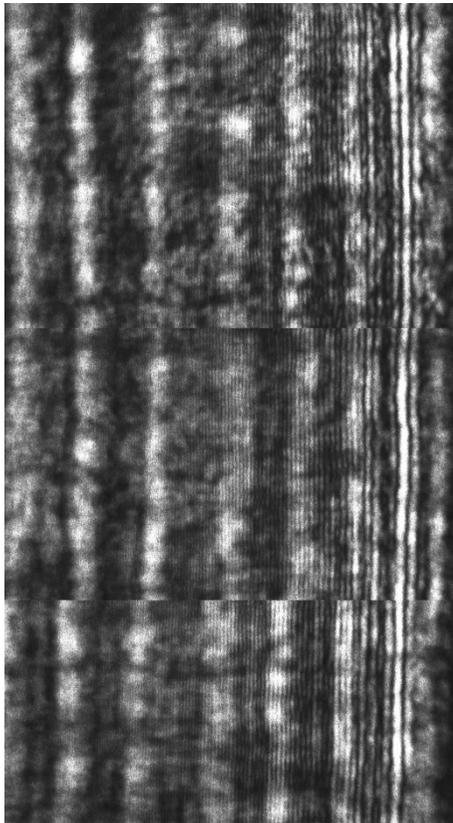
Die Profilvermessung erfolgt gleichzeitig mit der Schichtdickenmessung.

# Einblick in das Innere der Schicht

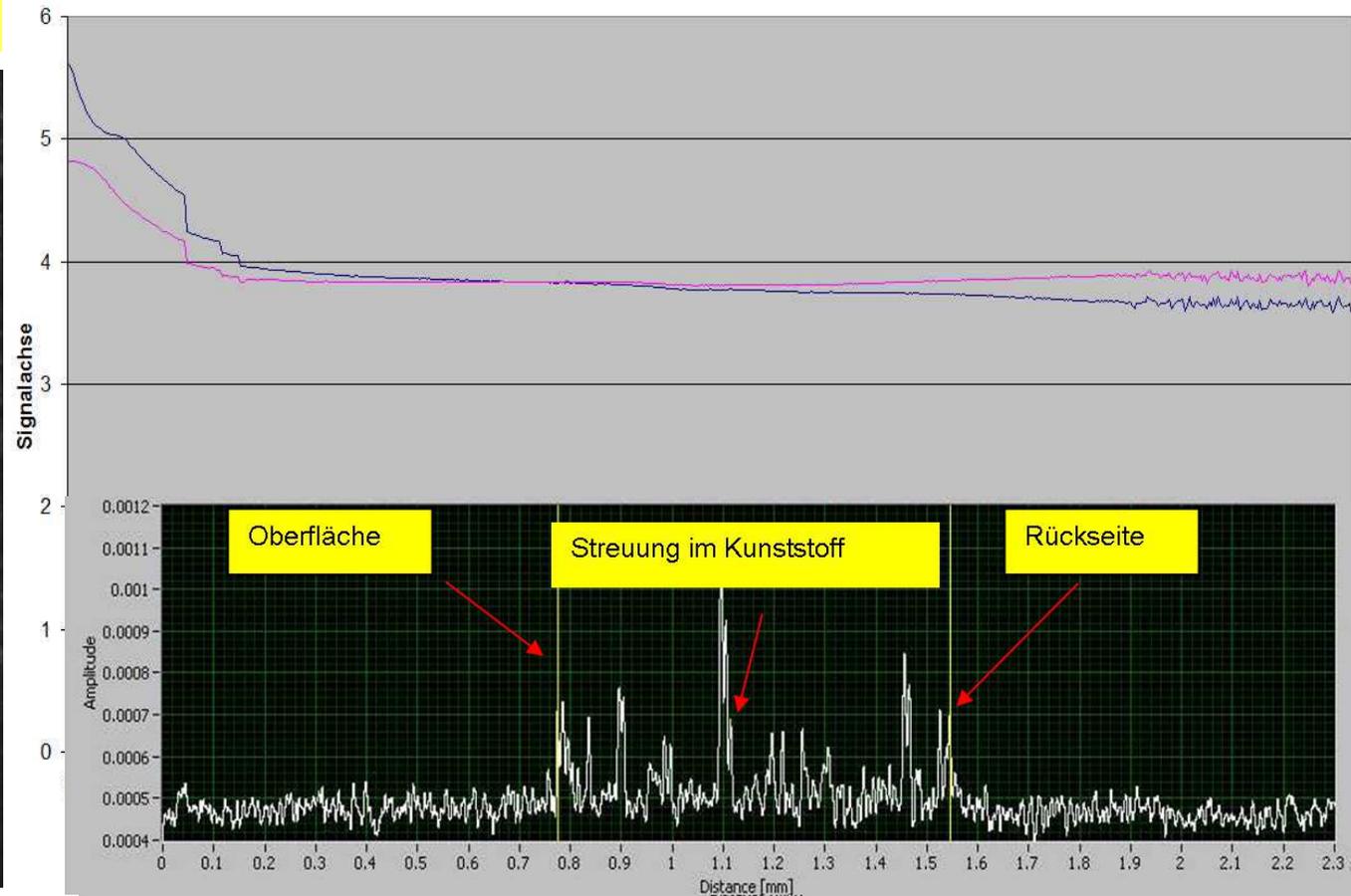


# Newtonringe als Verfahren zur Schichtdickenmessung

Zweischichtig mit  
nahezu gleichem  
Brechungsindex

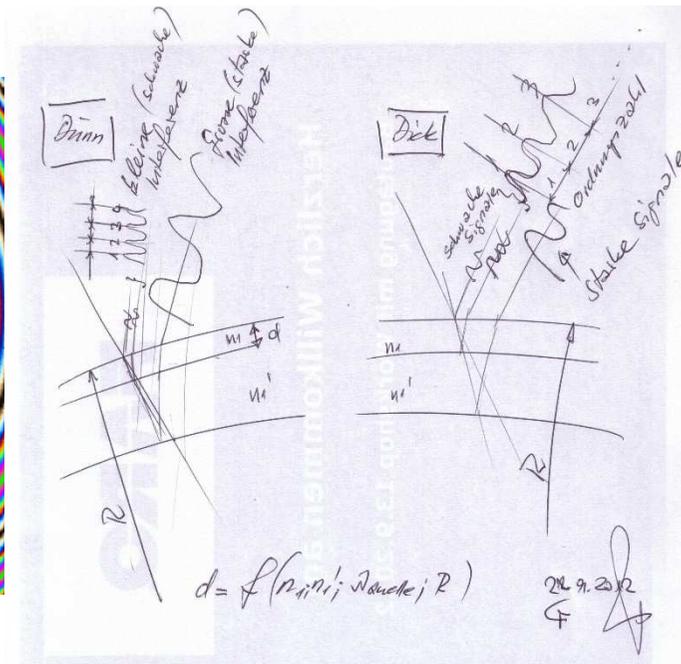
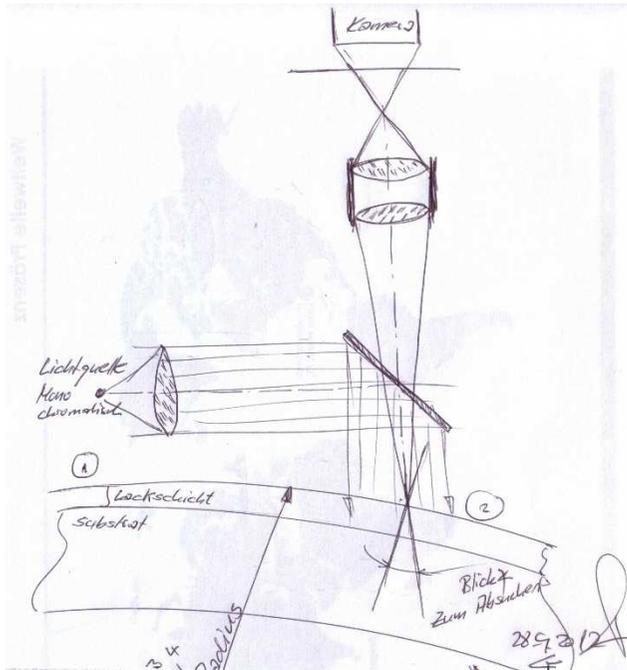


Reflektionsverhalten (Mit und ohne Beschichtung)



# Newtonringe

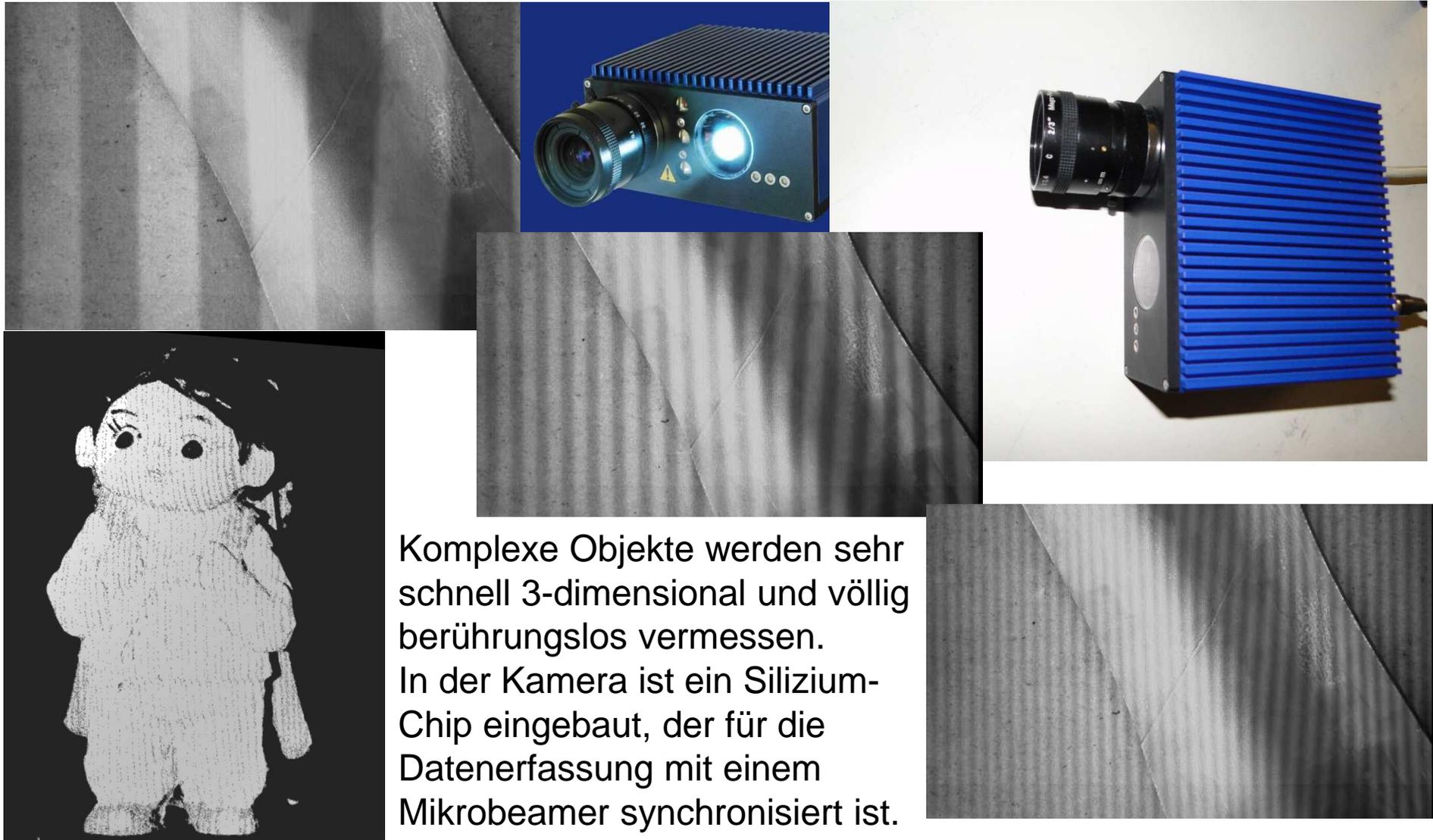
Bei Newtonringen wird die konstruktive Interferenz ausgenutzt.



Der eintreffende Lichtstrahl wird sowohl an der Unterseite der Schicht als auch an der Oberfläche des Trägers reflektiert.

Bei der Reflexion an der Oberfläche des Trägers tritt ein Phasensprung von  $\pi$  auf. Zwischen den beiden Strahlen kommt es zur Interferenz.

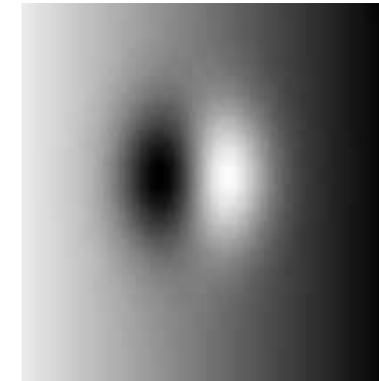
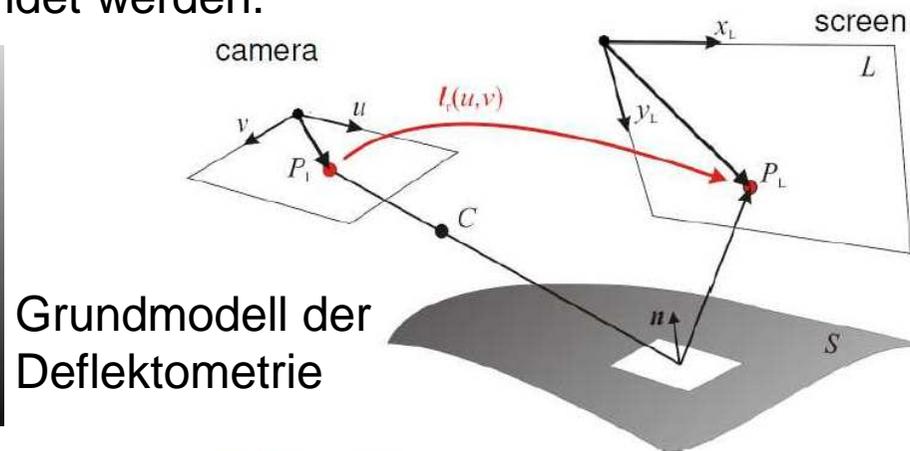
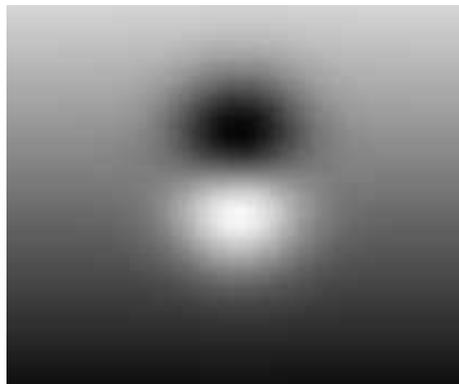
# Streifenprojektionstechnik mit strukturiertem Licht



Komplexe Objekte werden sehr schnell 3-dimensional und völlig berührungslos vermessen. In der Kamera ist ein Silizium-Chip eingebaut, der für die Datenerfassung mit einem Mikrobeamers synchronisiert ist.

# Reflektometrie

Auf der Oberfläche reflektiertes Licht wird entweder auf einem Monitor abgebildet oder gelangt über einen Spiegel zurück zum Sensor. Bei der Reflexion der Pulsstrahlung an der Oberfläche des Trägers treten Veränderungen in der Lichtstärke auf, die zur Defektanalyse verwendet werden.



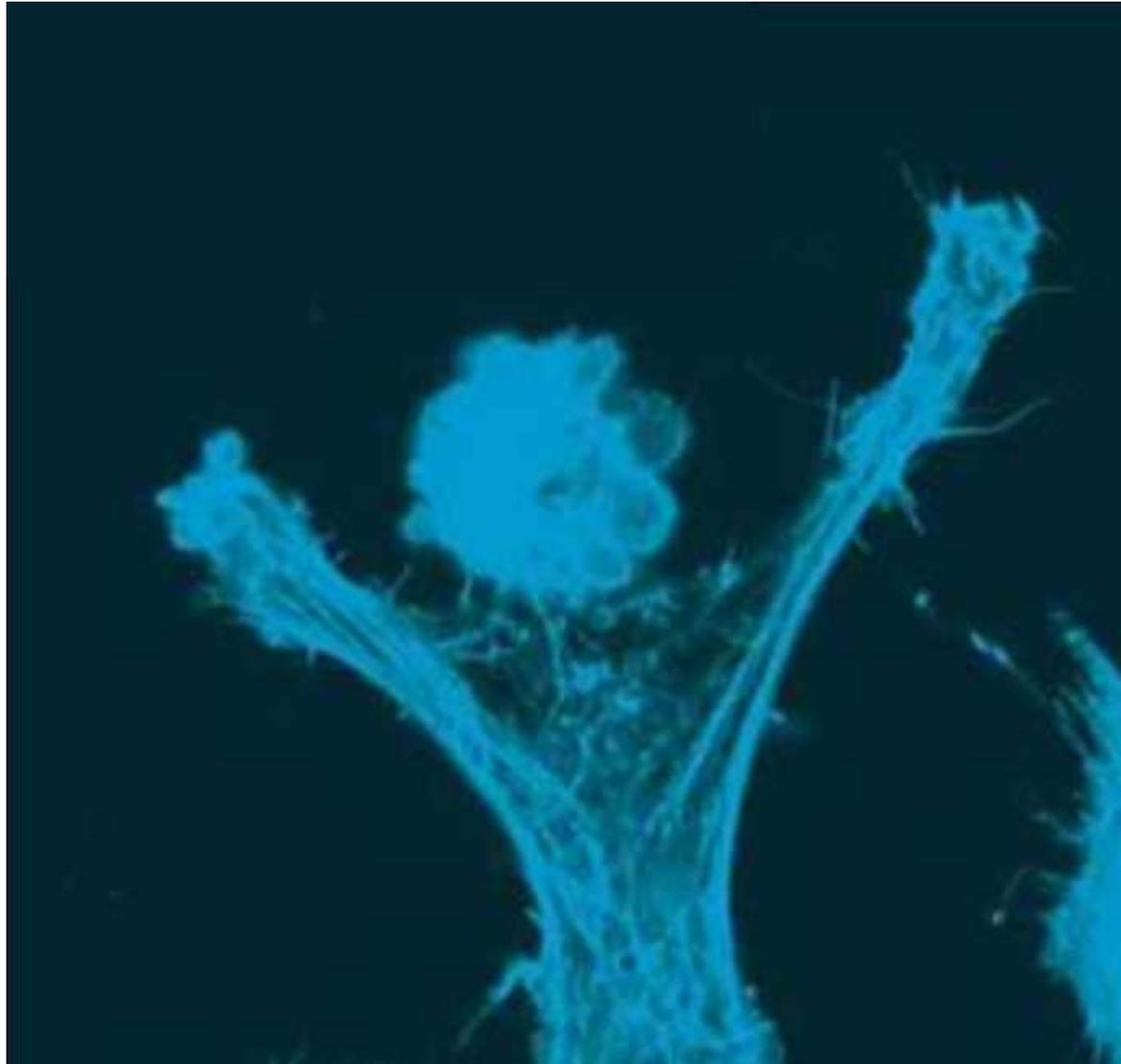
Bildsequenz aus einer Blechprüfung in der Praxis



# Deflektometrie



# Messen mit Licht ist heute „Stand der Technik“



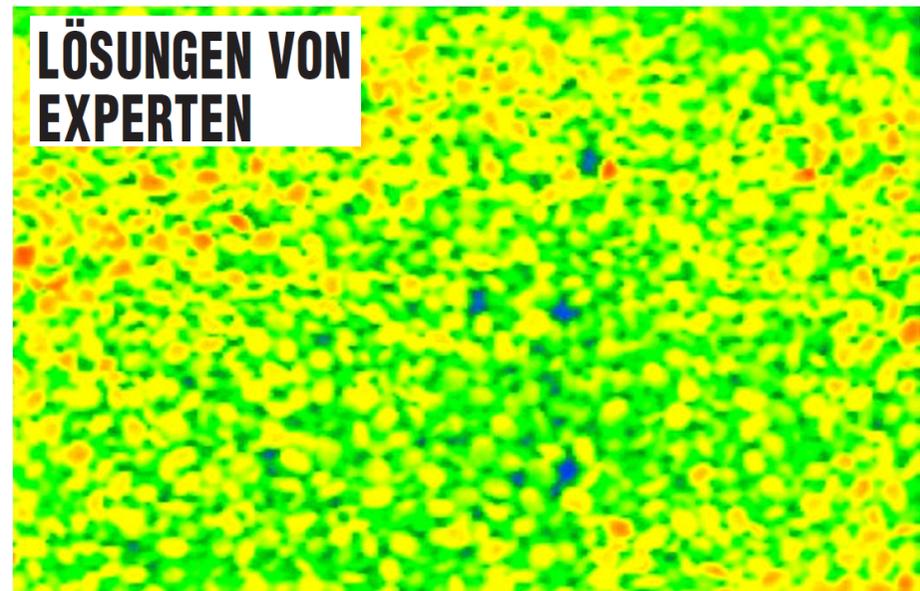
**Zur Beantwortung  
von Fragen stehen  
wir gerne zu Ihrer  
Verfügung.**

**Verlangen Sie unsere  
Publikationsliste  
oder unseren  
Servicedienst.**

**Wir bedienen Sie  
gerne.**

# Wärmekapazitätsunterschiede feststellen

Wir sehen auch dann, wenn's kompliziert ist – und finden sogar alle Smarties in den Kaffeebohnen.



Wir bieten Ihnen neben einer kompetenten Beratung:

→ Testmessungen mit unseren Anlagen.

→ Leihgeräte nach Bedarf.