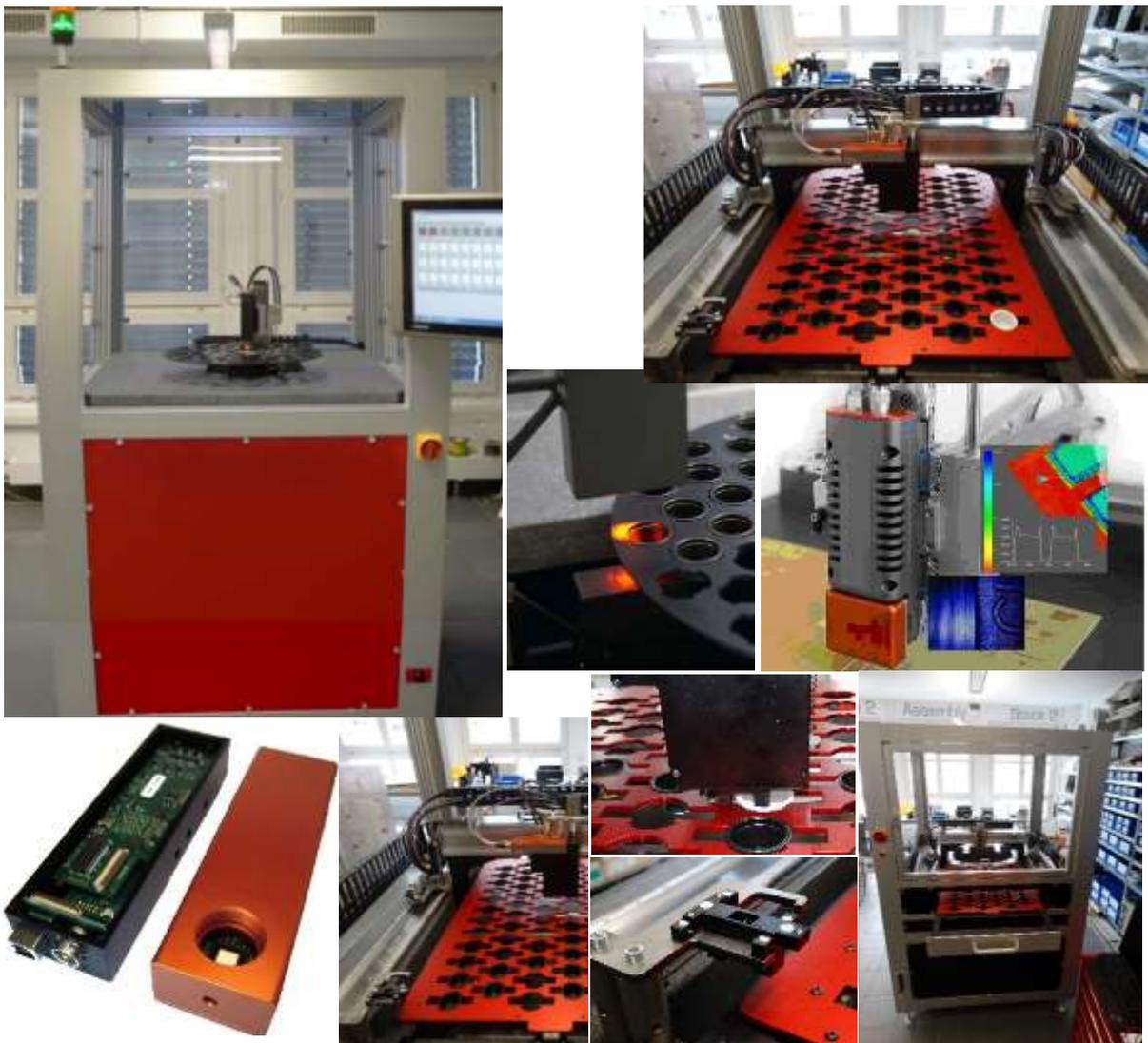


OCT – „Optische Kohärenz Tomografie“ in der modernen Industrie (Handbuch für die Praxis)



Die Vermessung von Bauteilen mit „Licht“ erfolgt mikrometergenau. Licht ist fast eine Million mal schneller als Schall und viel genauer. Licht ist robust genug für den industriellen Einsatz und erschliesst völlig neue Wege zur vollautomatisierten Produktionskontrolle.

Das OCT-Verfahren mit integriertem ASP Array ermöglicht die exakte Vermessung einer Bauteilgeometrie, die Messung der Dicke einzelner Schichten in einer Folie, auch wenn die Folie aus mehreren Lagen besteht, Licht ermöglicht die Detektion von Mikrorissen, die Charakterisierung einer Haftungsschwäche, die Bestimmung der Geschwindigkeit eines Mediums oder exakte Aussagen zur Oberflächentopografie.

Inhaltsverzeichnis

1.	Licht als Informationsträger:.....	6
1.1.	Vielseitiges Licht:	9
1.2.	Zusammenhänge	10
1.2.1.	Ansicht der optischen Zusammenhänge an einer Schicht.....	11
1.2.2.	Bemerkungen zum Brechungsindex.	13
1.3.	Modernste Messverfahren in der Industrie.....	13
2.	Verfahren und Methoden zum "Messen mit Licht"	14
2.1.	Lichtlaufzeitmessung mit dem pOCT- Verfahren	15
2.2.	Messprozess.....	16
2.3.	Time Domain OCT.....	17
2.4.	Spectral Domain OCT.....	18
2.5.	Andere Messprinzipien	18
2.6.	Streufeld- OCT.....	20
2.7.	A-Scan und B-Mode Bild	21
2.8.	Punktuelle Messung	21
2.9.	Interferenz durch partielle Reflexion an Schichtsystemen	24
2.10.	Ein-Strahl-Verfahren	25
2.11.	Zwei-Strahl-Verfahren.....	26
2.12.	Ein-Strahl-Verfahren mit wissensbasierter Auswertung.....	27
2.13.	Statische Messungen	27
2.14.	Streuung	29
2.15.	Polarisation	30
3.	Das neue - spezielle pOCT System.....	31
3.1.	Messkopf.....	32
3.2.	Systemübersicht	34
3.3.	Die Ausführung von Messanlagen.....	35
3.4.	Unterschiede zwischen konventionellen Kametasystemen (Visualisierungskameras) und OCT Systemen	38
3.5.	Resultat aus Messungen an dünnen Schichten:.....	39
3.6.	Zum Lesen der in einem OCT Bild enthaltenen Informationen:.....	40
3.6.1.	OCT- Messung mit verschiedenen Lichtquellen	41
3.6.2.	Laterale Ortsauflösung in z- Richtung	42
4.	Schichtdickenmessung	43
4.1.	Herstellen von Folien:.....	43
4.2.	Gasbarrieren in Folien	44
4.2.1.	Messresultate.....	45
4.2.1.1.	Beispiel 1, Folie Creme	45
4.2.1.2.	Beispiel 2 Folie schwarz.....	46
4.2.1.3.	Beispiel 3 "Weiss".....	46
4.2.1.4.	Vermessung der Gasperrschicht in einem Kunststoff- Bauteil.	47
4.2.1.5.	Gasperrschichten nach dem thermischen Umformen.	47
4.2.1.6.	Folien für Kaffeekapseln und Nahrungsmittelschalen	48
4.2.1.7.	Feststellen von Ziehstreifen in der Gasperrschicht in einer Folienkonstruktion! ..	49
4.2.1.8.	Wir messen berührungslos und zeigen sofort auf!	51
4.3.	Nahrungsmittel- Verpackungsfolien	52
4.4.	Messung der EVOH Schicht in einer Nahrungsmittelschale.....	54
4.5.	Messung der Schichtdicke mit Averaging	56
4.6.	Beispiele aus der Praxis	56
4.6.1.	Die Messung der Dicke einer Folie (Genauer als 1 Mikrometer).....	57
4.6.2.	Beispiele aus der Praxis, Transparente Folie auf Papier	57
4.6.3.	Dreischichtige Folie	58
4.6.4.	Verbundfolie, bestehend aus verschiedenen Einzelfolien	59

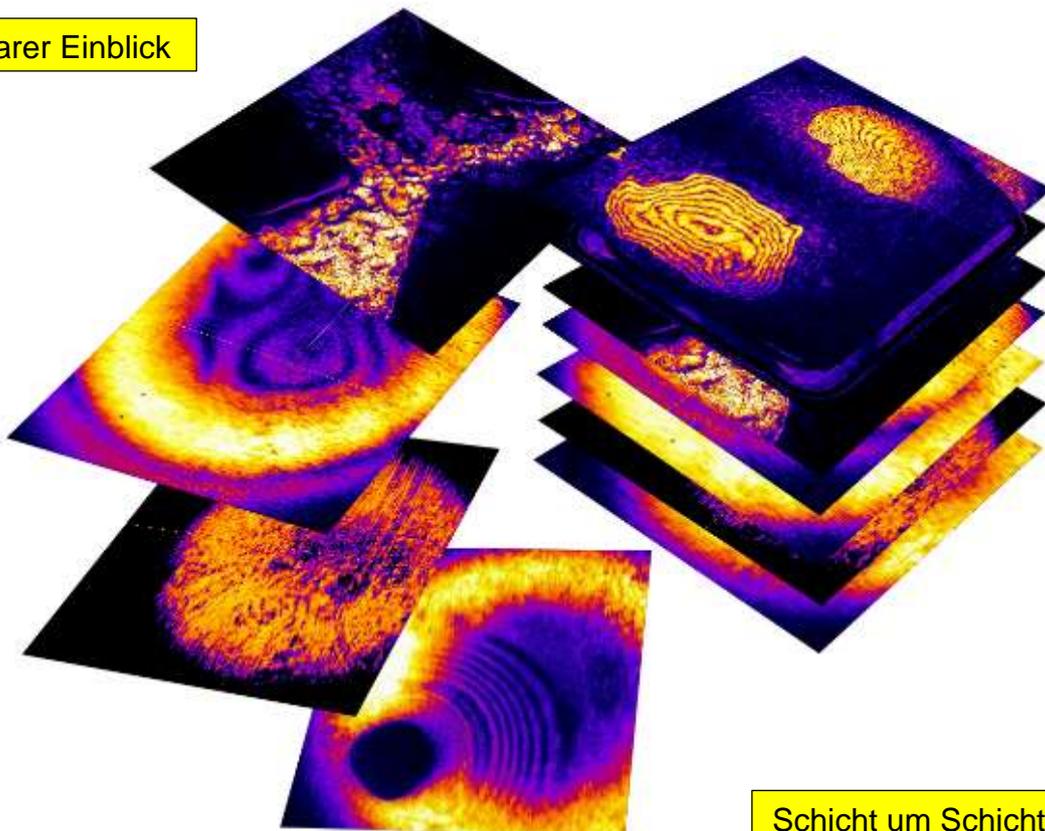
4.6.5.	Verklebte Verbundfolien, bestehend aus verschiedenen Einzelfolien	60
5.	Haftungsschwächen und Entlaminierung.....	61
5.1.	Haftungsfehler:.....	64
5.1.1.	Verhältnis D3/R4.....	64
5.2.	Raue Oberflächen:.....	67
5.3.	Moderne Produkte nutzen optimierte Produktkreisläufe.	69
5.4.	Einfachere Weiterverarbeitung:	69
5.4.1.	Prinzip der Dickenmessung der Folie.....	70
5.5.	Messung der Dicke einer Pulverschicht	71
5.6.	Andere Folienkonstruktionen:.....	72
5.6.1.	Messung nicht transparenter Schichten.....	72
5.6.2.	Aussenliegende sehr dünne Gasbarriereschichten	73
5.6.3.	Mit Silber- Metallic Lack beschichtetes Bauteil aus der Autoindustrie.....	73
6.	Siegelnahtinspektion:.....	74
6.1.	Wir finden auch ein Haar in der Siegelnaht.....	74
6.2.	Beispiele aus der Praxis	76
6.2.1.	Sicher versiegelt - einwandfrei produziert - effizient hergestellt.....	77
6.2.2.	Rohdaten aus einer Siegelzone	78
6.2.3.	Jeder Schichtübergang liefert ein Lichtsignal.....	78
6.2.4.	Werkzeug in der Verpackung	80
6.2.5.	Siegenaht mit feinstem Durchbruch.	81
6.2.6.	Siegelnahtfehler.....	81
6.2.7.	Breite einer Siegelnaht	82
6.2.8.	Anlage zur Geometrievermessung.....	82
6.3.	Versiegelte Verpackungen	84
6.4.	Merkmale die mit dem OCT System lokalisiert werden:	85
7.	OCT Verfahren zur Prozesskontrolle mit Licht.....	88
7.1.	Signal- oder Bilderstapel.....	89
7.2.	Schalen und Behälterproduktion:	90
7.2.1.	Beschädigungen auf der Siegelebene	91
7.2.2.	Vermessung von Einlageschalen und Teilehaltern:.....	92
7.2.3.	Geometrievermessung an kleinsten Bauteilen.....	94
7.2.4.	Kapsel, bestehend aus einer PP - Schale und einer PE Innenhaut	94
7.2.5.	Schichtaufbau von Kunststoffschläuchen oder –Behältern:.....	95
7.2.6.	Schichtablösung in einer Folienkonstruktion:	95
7.2.7.	Unebene und nicht parallele Siegelflächen:.....	96
7.3.	Siegelnahtinspektion:.....	97
8.	Technologie für effiziente Produktionsprozesse	98
8.1.	Messtechnik für die Industrie.....	98
8.2.	Eingeschweisster Draht in der Siegelnaht.....	99
9.	Geometrie- und Topografievermessung	100
9.1.	Ablauf einer Kapselprüfung	100
9.2.	Vorteile.....	106
9.3.	Topografie und 3D- Messungen	107
9.4.	Dreidimensionale - Identifikationssysteme	108
9.5.	Messungen an Bauteilen aller Art.....	109
9.5.1.	Mehrschichtfolie mit streuenden Schichten und einer perforierten Oberfläche.	109
9.6.	Montagekontrolle	111
9.7.	Messung der Schichthomogenität auf einem Draht	112
9.8.	Schichtdickenmessung auf Fasern oder Geweben.....	115
9.9.	Schichten mit Füllpartikeln (Silizium, Korund).....	116
9.10.	Vermessen von Micro- Fluid Kanälen	117
	117	
9.10.1.	Aufgabenstellungen:	121

10.	Erkennen von Partikeln in Gefässen.....	122
10.1.	Faser OCT:	125
10.2.	Standard- OCT- System mit angepasster Optik.....	125
10.3.	Genauer Blick in Ampullen oder in Kanülen.....	126
11.	Weitere Resultate aus OCT- Anwendungen:.....	127
11.1.	Einschluss in einer Siegelnaht.....	127
11.2.	Feststellen des Polymerisationsgrades.....	127
11.3.	Eingebaute Sinterschichten.....	128
11.4.	Berührungslose Vermessung der Porosität von Substraten und deren Beschichtungen.	129
11.4.1.	Detektion von Oberflächenmerkmalen	130
11.5.	Siegelnaht – Loslösung, Kontamination, Siegelnahtbreite:.....	135
11.6.	Fehler im Innern einer PP Schale.....	136
11.7.	Wir lokalisieren auch feinste Durchbrüche in Siegelnähten.....	137
11.8.	Materialcharakterisierung	138
11.9.	Geometrievermessung an elektronischen Bauteilen.....	139
11.10.	Vermessen der Geometrie und der Dicke eines aufgetragenen Klebstoffkeils.	140
11.11.	Einsparung an Haftvermittler:	141
11.12.	Wir messen die Dichte von Tabletten oder charakterisieren die Oberflächen von Produkten.....	143
11.12.1.	Voxelscan.....	143
11.12.2.	Volumetrische Messung zur Qualitätssicherung	143
11.12.3.	Produkteidentifikation.....	144
11.12.4.	Vermessen beschichteter Edelstahlkanülen.....	145
11.12.5.	Oberflächeninspektion Porosität, Rauheit, Topografie	146
11.12.6.	Oberflächeninspektion Porosität, Rauheit, Topografie	147
11.12.7.	Riss, Verfärbung oder Kratzer?	148
11.12.8.	Mikrolöcher in Schalen, Blistern und Kapseln.	151
11.12.9.	Loch in der Peel Off Folie (Vergrößerungsfaktor 10)	152
11.12.10.	Stand der Technik	154
11.12.11.	Formbauteile und Volumen gleichzeitig vermessen.	155
11.12.12.	OCT Messungen vor dem eloxieren.	156
11.12.13.	Schicht um Schicht im Mikrometerschritt.....	157
12.	Wir lösen auch Ihre Messaufgabe	159
12.1.	In line Prozessoptimierung und Verfahrensaufbau	160
12.2.	In line Prozessoptimierung und Verfahrensaufbau	162
12.3.	Konsequente, ganzheitliche Prozessführung.....	163
12.4.	Optische Kohärenz Tomografie OCT-Messanlage	164
12.5.	Berührungslos → schnell → präzise	165
12.6.	Erfassen der 3D Mikrogeometrie.....	165
12.6.1.	Fokusvariation:.....	165
12.7.	Modernste Technologie erschliesst neue Potentiale.....	166
12.8.	Übersicht zu verschiedenen modernen Prüfverfahren.....	167
13.	Was bringt die Zukunft?	168
13.1.	Phasenkontrast- Röntgen.....	168
13.2.	Andere optische Verfahren.....	170
14.	Wir bieten	172
14.1.	Vorteile der OCT- Methode	173
14.2.	Höchste Qualität mit dem ASP Sensor Array.....	174
14.3.	Technologische Vorteile	175
14.4.	Vertrauen durch Kooperation	179

Das vorliegende Handbuch in D- Sprache ist für den Einstieg in die OCT- Technologie für technisch Interessierte und Ingenieure aller Fachrichtungen geeignet. Das Handbuch ist auch in einer erweiterten Version (350 Seiten) in Englischer Sprache verfügbar. Die moderne Messtechnologie erlaubt nicht nur die Erfassung einzelner Messdaten. Sie liefert auch Informationen über die Geometrie- oder auch räumliche, dreidimensionale Informationen. Modernste Messsysteme Nutzen im Gegensatz zu konventionellen Verfahren die Lichtlaufzeit zur Ableitung von interessierenden Parametern. Weil Licht keine Berührung zum Objekt notwendig macht und sehr schnell und genau ist, wird die Methode zum Steuern, Überwachen, Optimieren, Inspizieren, Prüfen, Kontrollieren oder für sonstige Aufgaben wo Geschwindigkeit und Komplexität von Bedeutung sind, eingesetzt. Weiterführende Informationen werden interessierten Lesern auf Anfrage gerne abgegeben.

Die optische Kohärenz- Tomografie ist ein optisches Verfahren das nicht auf Licht aus der Umgebung, auf Helligkeitsunterschiede oder Grauwerte reagiert. Das Verfahren reagiert nur auf Interferenzen, die an transparenten oder nicht transparenten Schichten oder Bauteilen bewusst erzeugt, elektronisch erfasst und anschliessend tomografisch ausgewertet werden.

Klarer Einblick

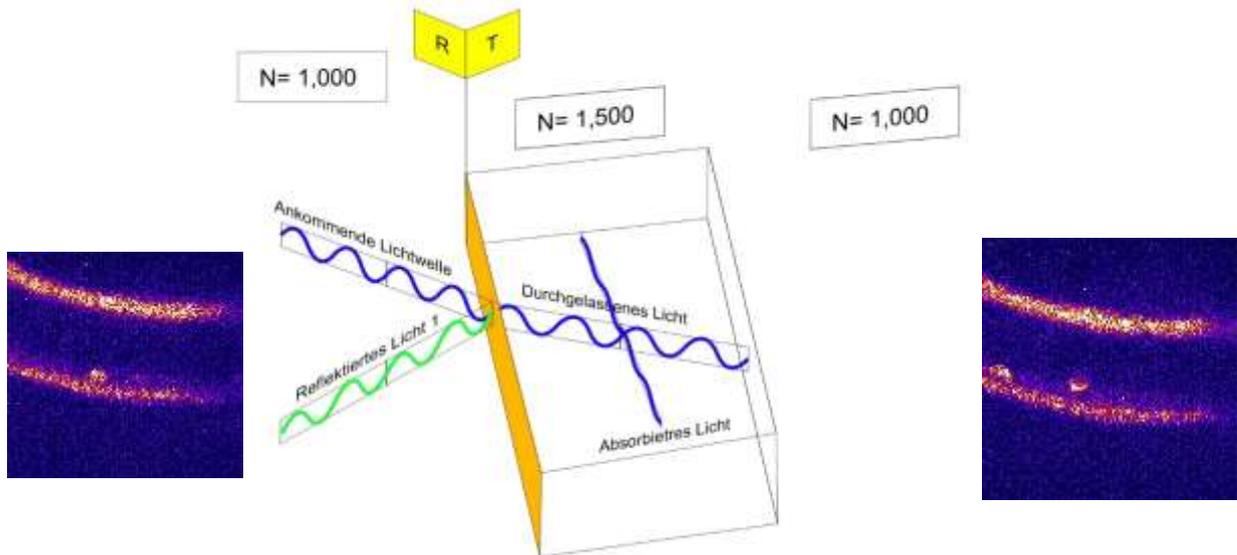


Schicht um Schicht

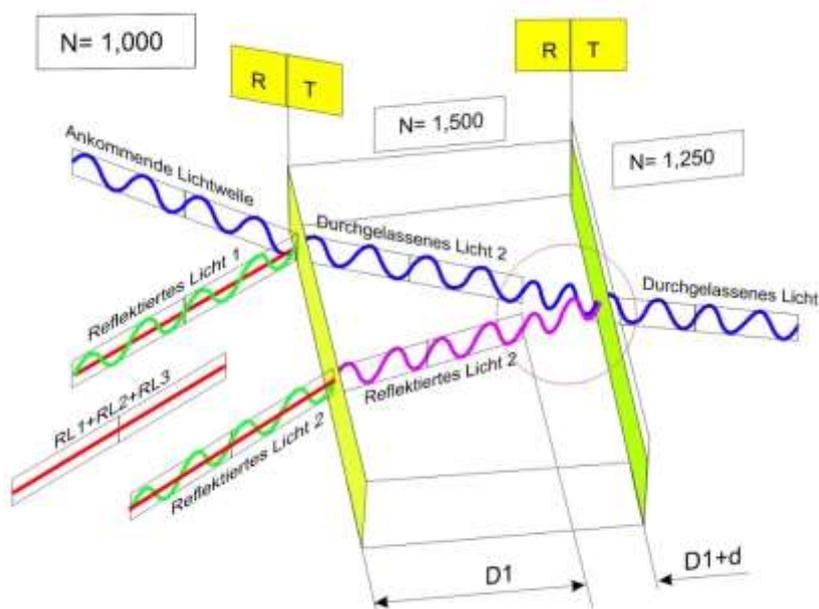
Das ASP Array (Actives Sensor Pixel) erfasst 1 Million zweidiomensionale Bilder mit 300 * 300 Buldpunkten pro Sekunde und erlaubt erstmals, Tomogrmme in Echtzeit aufzunehmen. Aufgrund der speziellen Ausführungsart ist das Kameramodul etwa 100 mal schneller als konventionelle Kamerasysteme.

1. Licht als Informationsträger:

Die folgende kleine Einführung erlaubt es auch einem Laien, sich eine Vorstellung zum Licht und den Zusammenhängen auf dem Weg des Lichts durch ein Medium zu machen. Licht, das aus einer Richtung auf eine Oberfläche auftrifft (ankommende Lichtwelle), wird an der Oberfläche reflektiert, gestreut oder durchgelassen. Hat das Licht die Oberfläche passiert, wird es absorbiert, gestreut, gebeugt oder zur nächsten Schicht durchgelassen.



Das vom Objekt reflektierte Licht (R) hat die gleich Wellenlänge wie das ankommende oder das durchgelassene Licht (T). Das eindringende Licht wird als Funktion der Brechzahl (N) im Material des Objektes langsamer, wenn die Brechzahl grösser ist als die Brechzahl aus dem Material, aus dem das Licht kommt, oder schneller, wenn die Brechzahl des Materials aus dem die eintretende Lichtwelle kommt, kleiner ist.



Die auf der Oberfläche ankommende Welle wird beim Eintritt in das Medium gebrochen respektive, sie ändert die Geschwindigkeit. Dasselbe geschieht beim Übergang in ein anderes Medium, respektive beim Austritt des Lichts aus der Schicht die oben passiert wurde.

Die Zeit, die das Licht zum passieren der Schicht braucht ist abhängig von der Brechzahl - und von der Dicke der Schicht.

Verändern sich die optischen Eigenschaften einer Schicht z.B. durch Streuung des

Licht in der Schicht, entstehen laufend Veränderungen in der Lichtfront, die erst dann enden, wenn die Lichtwelle das Bauteil (Beschichtung, Folie, Zelle, Lack) ganz durchdrungen respektive wieder verlassen hat.

Ändert sich der Abstand zwischen 2 Schichten, ($D1+d$) (oder die Brechzahl), wird die Lichtlaufzeit verändert. Dadurch wird das Interferenzverhalten zwischen der Messwelle und der Referenzwelle beeinflusst, es tritt konstruktive oder destruktive Interferenz auf. Nach dem Durchdringen der ersten Schicht trifft die Lichtwelle auf die zweite Schicht, wo sich der Vorgang wiederholt. Die vielen zweidimensionalen Messdaten (Bilder der Lichtlaufzeit) werden schlussendlich zu einem Tomogramm (Dreidimensionales Bild) zusammengesetzt. Man erkennt aus diesen Bildern, dass die ausgesendete Lichtwelle im Objekt zu verschiedenen Zeiten ankommt.

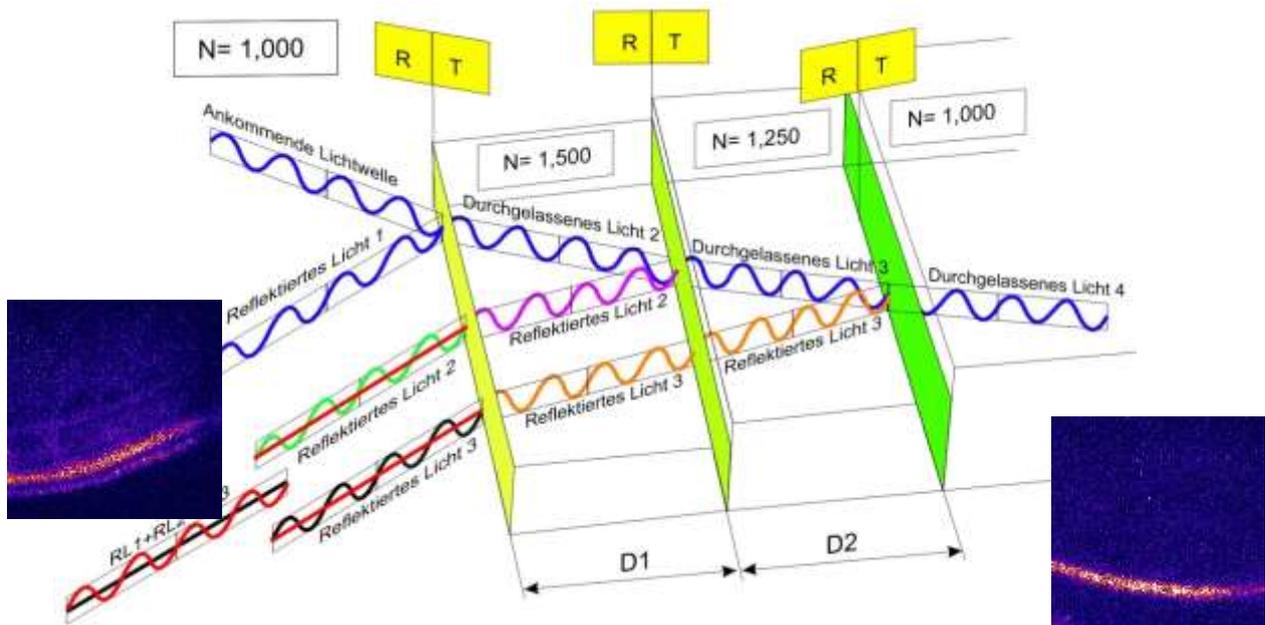
In der Folge sind einige Abläufe beschrieben um die Vielfalt der aus einem einzigen Lichtpuls entstehenden Signale die räumlich entstehen, zu erkennen. Die Bezeichnungen sind in der Grafik auf der nächsten Seite enthalten.

Aus einer Zelle mit einem Durchmesser von einigen Mikrometern entstehen räumlich Millionen Signale die sich direkt oder indirekt in der Umgebung (zum Beispiel einer Zelle) auswirken.

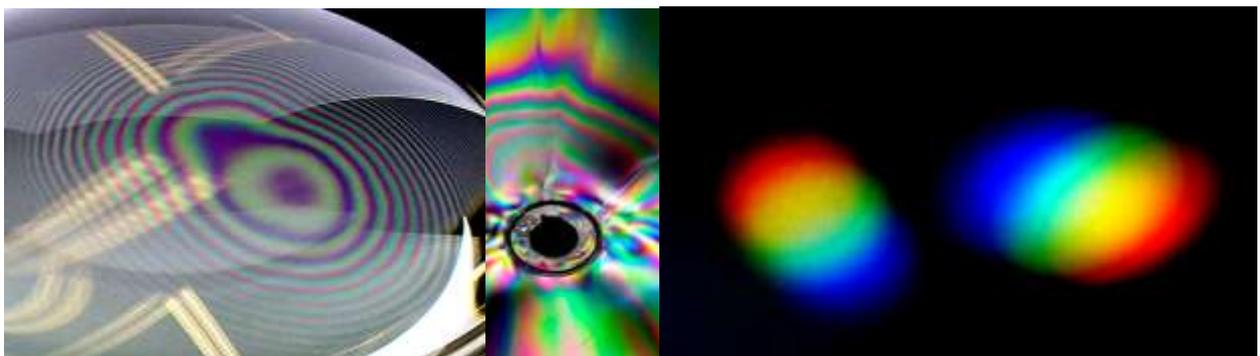
Ankommendes Licht:	Erstes, zur Auslösung einer ganzen Reihe von sich spektral oder zeitlich verändernden Signalen.
Reflektiertes Licht 1	Das reflektierte Licht hat die gleiche Wellenlänge wie das ankommende Licht ist aber aufgrund der Reflektion genau um (π) verschoben. (Phasensprung)
Durchgelassenes Licht 2	Das durchgelassene Licht hat die gleiche Wellenlänge wie das ankommende Licht und ist auch in der gleichen Phase. (Ohne Beachtung von Polarisierungseffekten).
Reflektiertes Licht 1	Die Reflektion auf der Rückseite gegen die Oberfläche, an der das Licht zuvor eingetreten ist hat dieselbe Wellenlänge wie das eingetretene Licht und hat eventuell auch dieselbe Phase. Dieses Licht kann mit dem durchgelassenen Anteil interferieren.
RL1 und RL2	Interferierendes Licht das durch die erste Oberfläche austritt und durch die optische Eigenschaft zwischen den zwei Schichten (Brechungsindex) und der Dicke dieser Schicht (Abstand) beeinflusst wird. Es entsteht konstruktive oder destruktive Interferenz an dieser Schicht.
Transmittiertes Licht 2	Licht das aus der Oberfläche, wo das Licht zuvor eingetreten ist, wieder austritt.
Absorption. (Abs)	Licht, das zwischen den zwei Schichten absorbiert wird. Diese Energieentnahme führt eventuell zu einer Veränderung der Streuung im Zwischenraum.
Durchgelassenes Licht 3	Die Wellenlänge ist noch immer gleich wie die Wellenlänge des eingetretenen Lichts aber geschwächt durch die Reflektionen oder die Absorption zwischen den Schichten.

Solange Licht eine Schicht durchdringt (oder mehrere Schichten), treten Reflektion, Absorption oder Transmission auf. Da weisses Licht aus verschiedenen Frequenzen besteht sind die oben aufgeführten Effekte spektral, d.h. es treten spektral konstruktive

oder destruktive Interferenzen auf. Im Gegensatz zu weissem Licht das alle Wellenlängen beinhaltet weist Laserlicht eine spektral eng begrenzte Wellenlänge auf. Ohne auch noch die Absorption in einer Schicht zu beachten ist das Licht, welches aus der Oberfläche eines Bauteils austritt eine Integration der sich ergebenden Interferenzen im Innern der Schichten. Sie sind konstruktiv (grün), wenn sie sich addieren oder sind destruktiv (rot), wenn sie sich auslöschen. Ausgehend von der ersten Reflektion auf der äusseren Oberfläche folgen die zweite Reflektion von der Rückseite und dann erst die dritte Reflektion und so weiter.



Die zeitliche Verzögerung von Lichterscheinungen, vor allen der Reflexion, der Transmission und der Absorption, erlauben es einem Betrachter, aus den Signalen definierte Grössen abzuleiten. Die folgenden Interferenzbilder zeigen „Newtonringe“ (Bild links) „Spannungen“, (Bild Mitte) und „Lichtbrechung“ (Bild rechts).



Newtonringe zeigen Abstandsänderungen im Nanometerbereich, in der Spannungsoptik führen Veränderungen im Brechungsindex aufgrund innerer Spannungen zu den Interferenzerscheinungen und bei der Lichtbrechung z.B. von Sonnenlicht an Kristallprismen entstehen Regenbogenfarben.

Photonen (Lichtteilchen) versorgen die Erde mit Energie von der Sonne und beeinflussen das Geschehen auf der Erde in entscheidendem Ausmass. Dass wir noch so wenig vom Licht verstehen liegt an der Komplexität, das in diesen kleinen, leichten und sehr schnellen Teilchen steckt.

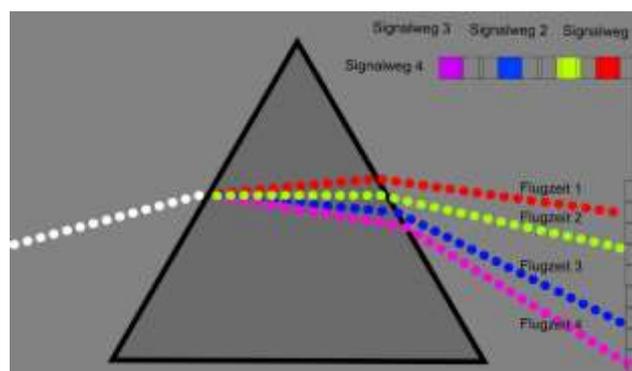
1.1. Vielseitiges Licht:

Am Beispiel der Seifenblase ergeben sich schier unendlich viele Farbspiele, welche sich zeitlich laufend verändern. Wirbel als Unterschied in der Dicke der Seifenblasenhaut oder Spektralfarben als Interferenzerscheinung zwischen der Aussenseite der Seifenblase und der Innenseite oder Effekte von der gebogenen Rückseite sowie die Richtungsabhängigkeit und der Hintergrund beeinflussen die komplexe, wahrnehmbare Information.



Auf der Riesenseifenblase erscheint das „Sturmtief“ als Reflektion auf der Innenseite der hinten liegenden Halbschale. Die vordere Halbschale ist im oberen Teil der Kugel transparent. Im unteren Teil erkennt man die Spektralfarben, die sich nochmals an der unten liegenden Halbschale im Innern der Kugel zeigen. Je nach Standort des Betrachters erscheinen aus einem Lichtpuls mehrere tausend Signale die sich zeitlich und spektral laufend unterscheiden und so eine „Tomografische“ Signalverarbeitung ermöglichen.

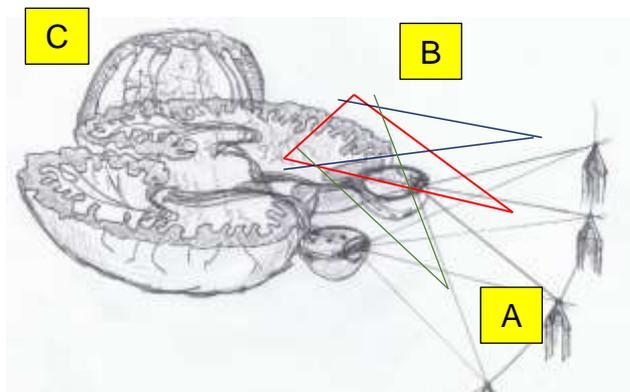
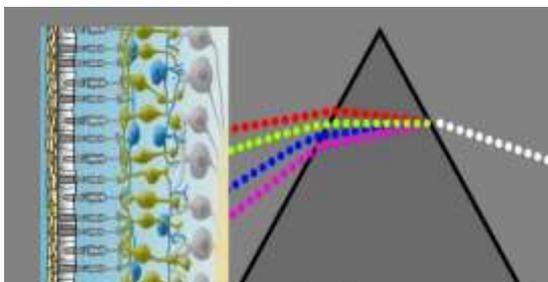
Ausgehend davon, dass blaues Licht kürzere Wellenlängen aufweist als rotes Licht erkennt man deutlich, dass Gangunterschiede auftreten, wenn man weisses Licht als Pulsquelle einsetzt. Weisses Licht (von links her kommend) beinhaltet bekanntlich alle Spektralfarben. Wenn weisses Licht durch ein Kristallprisma geht, folgt der violette Anteil des Lichts einem andern Weg als der rote Anteil. Der violette Anteil des Lichts ist demnach länger unterwegs als der rote Anteil. Beide Kriterien (Ortslage, Zeit) werden heute technisch genutzt um Signale zuzuordnen.



Die entscheidenden Auswirkungen des Lichts sind nicht von kommerziellem Nutzen sondern von existentieller Bedeutung für die Erde und in diesem Zusammenhang auch für den Menschen. Bei der Photosynthese, einem der wichtigsten Prozesse auf der Erde überhaupt, ist Licht der Antrieb um direkt oder indirekt Stoffe, Zellen oder andere Formen der Energieumwandlung anzuregen. Bei der Erkundung psychischer Erkrankungen erkennt man, dass Licht Hirnströme beeinflusst und dass Gedanken und Empfindungen mit Licht gesteuert werden. Licht öffnet eventuell sogar einen neuen

Weg, um psychische Erkrankungen, die für viele Menschen ein schweres Dasein bedeuten, zu verstehen.

Verbindung Auge - Hirn



Mit Licht werden Hirnströme beeinflusst und mit Licht werden vielleicht Wege gefunden, um schleichende Erkrankungen im Hirn verstehen zu lernen. Das Licht, das vom Fokuspunkt (A) in das Auge links (B) fällt, ergänzt mit dem Licht, das vom gleichen Fokuspunkt aus in das Auge rechts gelangt erlaubt es, zusammen mit dem Hirn (C), Gegenstände räumlich wahrzunehmen. Man weiss heute, dass sich Hirnströme sichtbar machen lassen, aber die daraus entstehenden Empfindungen lassen sich noch lange nicht in Zahlen fassen. Aus dem vom Auge wahrgenommenen Licht werden räumlich wirkende Hirnströme erzeugt, die über bestehende Verbindungen im Hirn an die dafür vorgesehenen Orte geleitet werden.

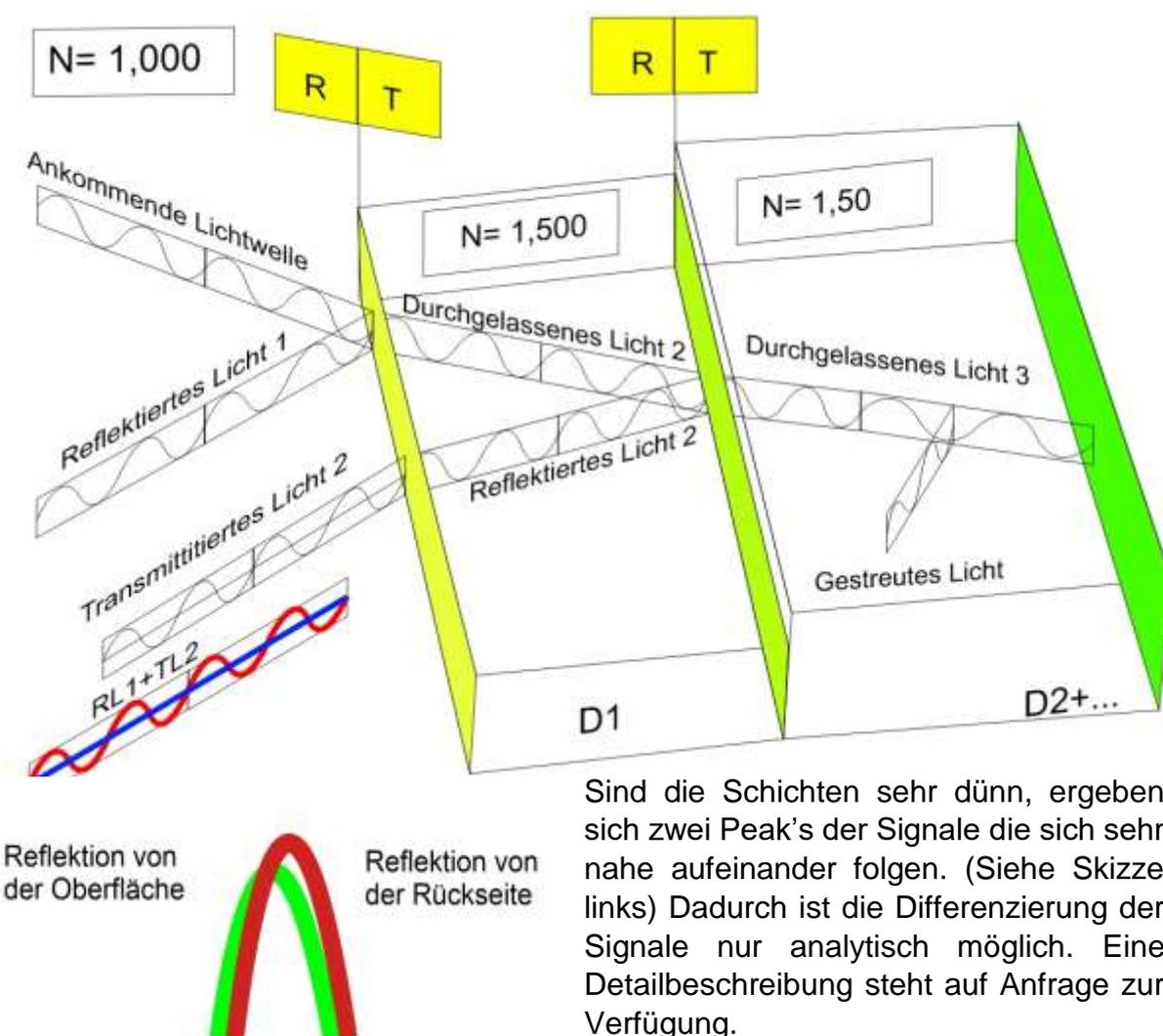
Unser Denken lässt sich durch Messung der Hirnströme zwar aufzeigen, aber die heute verwendeten Messfühler lassen Feinheiten in der Steuerung der Gedankenwelt nicht mehr erkennen. Um solche Fragestellungen überhaupt anzugehen und den Versuch zu wagen solche Fragen zu klären verwendet man "Licht" als schnelles, sehr feines und vielfältiges Werkzeug. In der Biologie erkannte man schon früh, dass Mikroorganismen "Proteine" als Resultat elektrische Ladung erzeugen und die elektrische Ladung durch sichtbares Licht entstanden ist. Die Proteine sind durch eine Reihe Genen die "Licht" zu Informationsszwecken und zur Energieumsetzung nutzen, entstanden. Man hat "Ionenpumpen" gefunden die mit Licht ein- und ausgeschaltet werden konnten und vieles mehr, was in der Folge zum Fachgebiet "Optogenetik" führte. Optogenetik ist die Vereinigung zwischen Optik und Genetik. Dabei wird das Ziel verfolgt, definierte Zellen in Lebewesen durch Licht zu steuern oder zu erkennen, wenn Prozesse ausser Kontrolle geraten. Die Optogenetik öffnet neue Wege um Zellen zu manipulieren (Im positiven oder im negativen Sinne), psychische Erkrankungen gezielt zu behandeln oder diese zu verstehen und entsprechende Medikamente zu entwickeln. Licht wird auch im industriellen Umfeld zur effizienteren Produktion, zur Bekämpfung von Seuchen oder Krankheiten, für eine hocheffiziente Herstellung von Produkten aller Art oder zur Erzeugung von Energie zunehmend Bedeutung erlangen.

1.2. Zusammenhänge

Licht das alle Spektren beinhaltet und das eine optisch transparente Schicht durchdringt erscheint nach der Reflektion farbig. Das einfallende Licht wird an den Grenzflächen zu

einer dünnen Schicht reflektiert. Je nach Dicke der Schicht löschen sich bestimmte Frequenzen aus (Destruktive Interferenz) und es bleibt die Komplementärfarbe zum ausgelöschten Licht zurück.

1.2.1. Ansicht der optischen Zusammenhänge an einer Schicht.



Das eingestrahelte Licht wird an der ersten Oberfläche reflektiert. An gleichen Punkt kommt – zeitlich verzögert - auch das Licht an, das nach dem Durchlaufen der dünnen Beschichtung von der Rückseite der Schicht reflektiert wird. Es erscheinen zwei nahe beieinanderliegende Peaks.

Das Licht von der Oberfläche und das Licht von der Rückseite der Beschichtung interferieren miteinander. (Destruktiv oder Konstruktiv) Ist der Wegunterschied (Oberfläche bis zur Rückwand der Schicht) ein „ungradzahliges Vielfaches“ der halben Wellenlänge des Lichts das zur Messung verwendet wird, löscht sich das Licht der zwei Strahlen aus. (Grafik rechts) sonst verstärkt sich die Lichtmenge (Grafik links).

Das Licht wird an der ersten Oberfläche reflektiert. An gleichen Punkt kommt auch das Licht an, das nach dem Durchlaufen der dünnen Beschichtung von der Rückseite der Schicht reflektiert wird. Es erscheinen zwei nahe beieinanderliegende Peaks.

Das Licht von der Oberfläche und das Licht von der Rückseite der Beschichtung interferieren. (Destruktiv oder Konstruktiv). Ist der Wegunterschied (Oberfläche bis zur Rückwand der Schicht) ein „ungradzahliges Vielfaches“ der halben Wellenlänge des Lichts das zur Messung verwendet wird, löscht sich das Licht der zwei Strahlen aus. In diesem Falle interferieren die Lichtschwingungen destruktiv. Die folgende Serie von OCT Bildern aus einem Stack von 500 Einzelbildern zeigt im gleichen Messvorgang konstruktive und destruktive Interferenz.

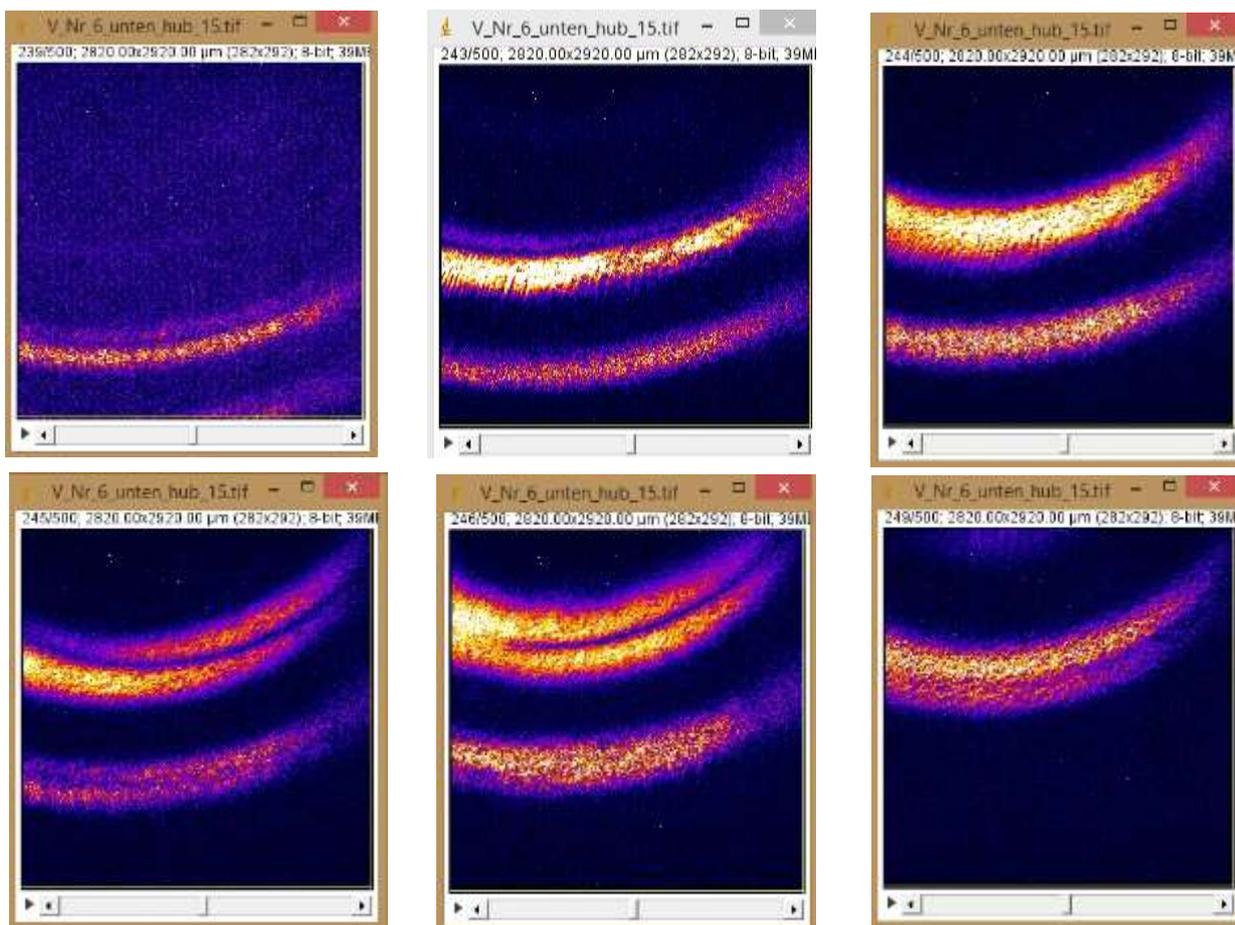


Bild oben links (Nr. 239) zeigt 3 Lichtfronten, also 2 Schichten. Das Licht der ersten Lichtfront interferiert als Folge der Schichtdicke destruktiv und löscht sich aus. Das Bild in der Mitte oben, (Nr. 243) zeigt 4 Lichtfronten weil das Licht konstruktiv interferiert. Das Bild oben rechts (Nr. 244) zeigt wieder 2 Lichtfronten. Hier interferiert das Licht konstruktiv. In den 3 Bildern (Bild Nr. 245, 246 und 249) unten führt die destruktive Interferenz zu einer mehr oder weniger deutlichen Auslöschung der Lichtfrequenzen. Der Abstand zwischen zwei sich folgenden Bildern beträgt etwa 500 Mikrosekunden bei einer lateralen Auflösung von etwa 10 Mikrometer pro Bildpunkt und bei einer z-Auflösung von etwa 2 Mikrometer.

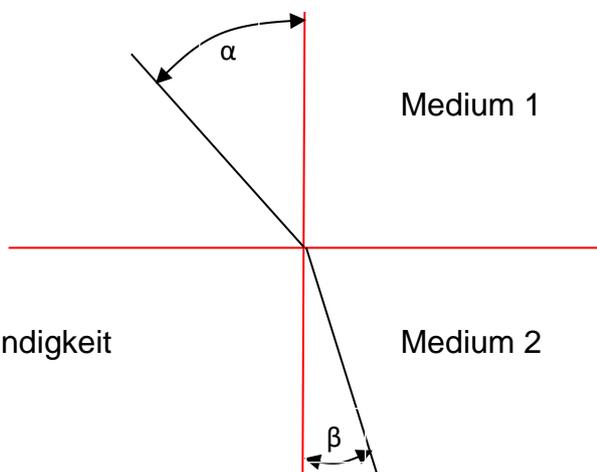
Die Werkzeuge unserer Väter werden durch moderne Werkzeuge ergänzt respektive abgelöst. Die modernen Werkzeuge erlauben Einblicke in eine noch weitgehend unbekannte Welt.

1.2.2. Bemerkungen zum Brechungsindex.

Zur Identifizierung einer flüssigen Substanz oder zur Prüfung ihrer Reinheit wird oft der Brechungsindex n herangezogen. Wird monochromatisches Licht an der Grenzfläche zweier Medien gebrochen, so ist nach dem SNELLIUS'schen Gesetz:

$$\sin \alpha / \sin \beta = \frac{c_1}{c_2} = n$$

c_1 und c_2 = Lichtgeschwindigkeit im betreffenden Medium



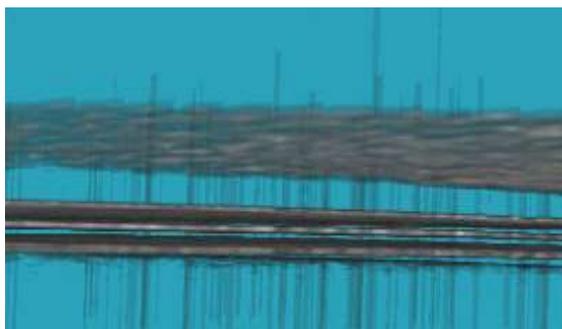
Im Allgemeinen dient Luft als Bezugsmedium. Der Brechungsindex ist stark von der Temperatur abhängig. Bei organischen Flüssigkeiten nimmt er mit steigender Temperatur um etwa $4 \cdot 10^{-4}$ pro Grad Celsius bis $5 \cdot 10^{-4}$ pro Grad Celsius ab.

Der Brechungsindex ändert sich auch mit der Wellenlänge des Lichts. Die Temperatur und die Wellenlänge bzw. die Spektrallinie werden deshalb als Indizes zu den Brechungsindices angegeben. Der Brechungsindex wird mit Hilfe von Refraktometern bestimmt (ABBE-Refraktometer). Mit dem Gerät wird der Grenzwinkel der Totalreflexion gemessen. Man benötigt für eine präzise Messung (Genauigkeit +/- 0,0001) nur wenige Tropfen eines interessierenden Mediums.

Der Brechungsindex ist konzentrationsabhängig, was bedeutet, dass die Refraktometrie auch zur Konzentrationsbestimmung von Lösungen, zur Reinheitsprüfung und zur Kontrolle von Trennprozessen angewendet werden kann, was sich in der Praxis auch etabliert hat.

1.3. Modernste Messverfahren in der Industrie.

Haben Sie noch Zeit für ein gutes Gespräch, für eine seriöse Abklärung oder einfach um eine Tasse Kaffee mit Ihren Freunden zu trinken? Haben Sie sich schon gefragt warum Sie arbeiten? Gehören Sie zu denen, welche sich kaum Zeit für die eigenen Grundbedürfnisse nehmen? Wenn das so ist, dann eliminieren Sie „Zeitfresser“ konsequent.

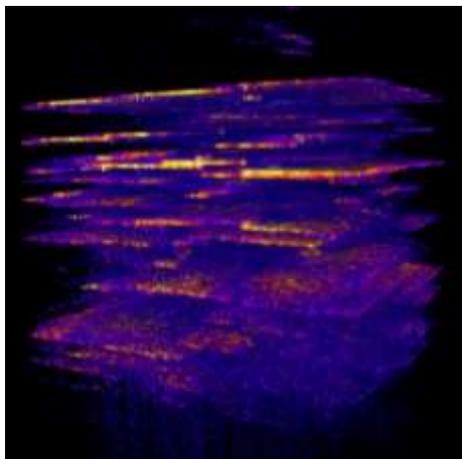


Das OCT Bild zeigt den Blick zwischen Schichten hindurch. Das 3D Bild wurde aus einem Bilderstapel von 500 OCT- Bildern erzeugt.

Stellen Sie sich vor als Lichtteilchen mit 300000 km/s durch die Welt zu flitzen und dabei überall hineinzusehen. Die Geschwindigkeit und die Möglichkeiten welche sich dadurch öffnen sind unvorstellbar. Das oben stehende Bild zeigt einen Blick zwischen einzelne Schichten in einer Folie die aus 4 Lagen besteht. Die Abstände zwischen den einzelnen Folien können mikrometergenau aus der Laufzeit der Photonen gemessen werden.

2. Verfahren und Methoden zum “Messen mit Licht”

Damit die Funktion einer Schicht gewährleistet ist, müssen diese die erwünschte Dicke, die geforderte Zusammensetzung, die richtige Rauigkeit und weitere, für die Anwendung wichtige Eigenschaften aufweisen. Deshalb werden diese Kriterien während als auch nach der Erzeugung einer Schicht gemessen und überwacht. Dazu werden unter Anderem auch optische Messverfahren eingesetzt.



OCT- Bilderstapel, bestehend aus 500 Einzelbildern. OCT- Bilder zeigen Unterschiede im Brechungsindex aus dem Innern eines Materials.

OCT Bilder sind von Interesse bei der Untersuchung feinsten Strukturen, weil das Verfahren mit kleinsten Energiemengen auskommt und das Messobjekt nicht beeinträchtigt.

Taktile Messverfahren verwenden einen Taststift in Berührung mit der Probe, um die Stufenhöhe zwischen einer beschichteten und einer nicht beschichteten Oberfläche zu messen.

Optische Verfahren arbeiten berührungslos und analysieren die Laufzeit von Photonen. Sie erfordern keine Probenvorbereitung und arbeiten berührungslos.

Bei den optischen Verfahren wird festgestellt, wie eine Schicht das Licht, das zur Messung verwendet wird, beeinflusst. Mit den optischen Verfahren werden die Dicke einer Schicht gemessen oder deren optischen Eigenschaften, wie zum Beispiel die Ausbreitung oder die Streuung von Licht in einem Material ist oder wie sich die Oberfläche auswirkt. Optische Verfahren sind sehr genau, zerstörungsfrei und erfordern wenig oder keine Probenvorbereitung. In der folgenden Tabelle sind einige der gängigen optischen Verfahren ausgeführt.

Die gängigsten optischen Messverfahren messen die spektrale Reflexion oder die spektrale Transmission. Bei der Reflektionsmessung vergleicht man die Lichtmenge die von einem dünnen Film über einen definierten Wellenlängenbereich reflektiert wird mit dem Licht, das aus derselben Quelle stammt, aber von einem Spiegel ungestört reflektiert wird.

Bei der Transmissionsmessung (worunter auch die Ellipsometrie fällt) arbeitet man ähnlich wie bei der Reflektionsmessung, ausser dass man die Messungen bei nicht normalem Lichteinfall und bei zwei verschiedenen Polarisierungen misst. Die Messung

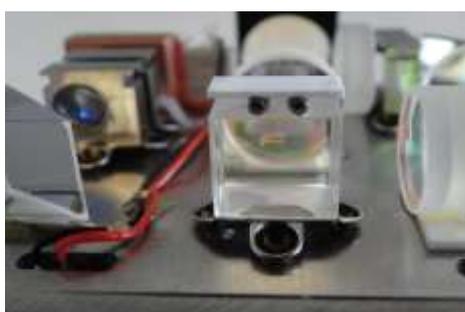
der spektralen Reflektion ist in der Regel einfacher und kostengünstiger als die Ellipsometrie, sie ist aber auf die Messung weniger komplexer Strukturen beschränkt.

Methoden / Method	Auflösung / Resolution	
	z- axis	x,y, axis
Fokusvariation, Focus variation	10 Ex-6	10 Ex-8
Interferometrie, Interferometry	10 Ex-9	10 Ex-9
Spektroskopie, Spectroscopy	10 Ex-9	10 Ex-9
Konfokales Mikroskop, Confocal microscopy	5*10 Ex-6	6*10 Ex-7
OCT- Verfahren, OCT- Method	3*10 Ex-6	10 Ex-6
Ellipsometrie, Ellipsometry	10 Ex-9	10 Ex-9
Chromatisch konfokale Spektral- Interferometrie	3*10 Ex-6	3*10 Ex-7
Formprüf- Interferometrie	10 Ex-5	10 Ex-9
konfokal chromatischer sensor, confocal chromatic sensor	3*10 Ex-6	10 Ex-8 - 10 Ex-3
Weisslicht Interferometrie, withe light interferometry	3*10 Ex-6	10 Ex-9

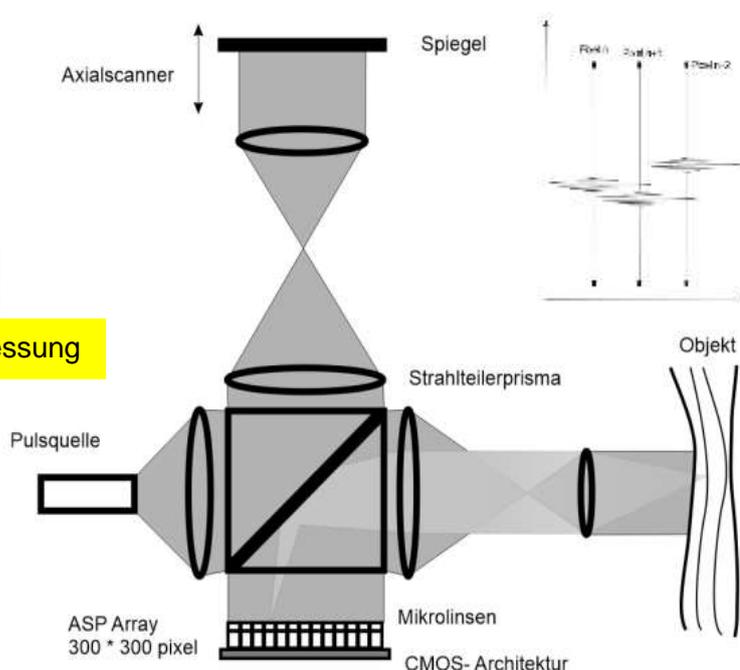
2.1. Lichtlaufzeitmessung mit dem pOCT- Verfahren

Der einzelne Bildpunkt der Lichtlaufzeitmessung basiert auf der Weisslichtinterferometrie. Ein Vollbild besteht aus $300 * 300$ axialen Interferogrammen, die sich seitlich berühren.

Mit der Lichtlaufzeitmessung wird die Flugzeit reflektierter oder gestreuter Photonen von der Objekt Oberfläche mit der eines Referenzstrahls verglichen, sodass die relative optische Wegstrecke als axiales Tiefenprofil ausgewertet werden kann. Mit dem Rasterverfahren wird der Lichtstrahl transversal in eine oder zwei Richtungen geführt, sodass ein flächiges Interferogramm oder ein dreidimensionales Volumen, ein sogenanntes Tomogramm entsteht.

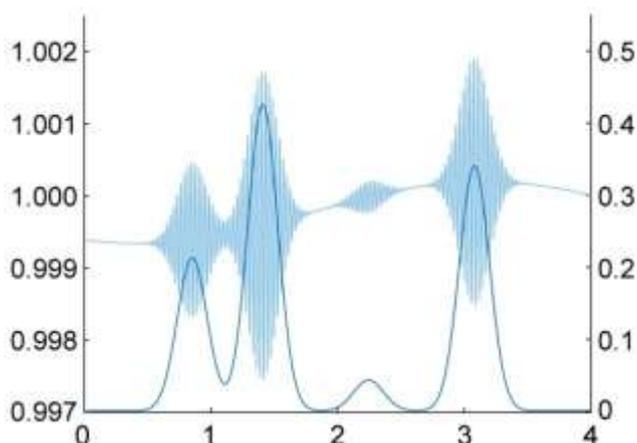


Optische Bank zur Lichtlaufzeitmessung



Grafik zum OCT- System mit dem ASP Array.

Anders als bei der Lichtmikroskopie ist bei der Lichtlaufzeitmessung die Auflösung in der Tiefe von der Auflösung in der Ebene entkoppelt. Diese Eigenschaft ermöglicht Echtzeit-Tomographie, d.h. die tomografische Bildgebung in Mikrometernauigkeit und bei höchster Geschwindigkeit in der Datenerfassung.



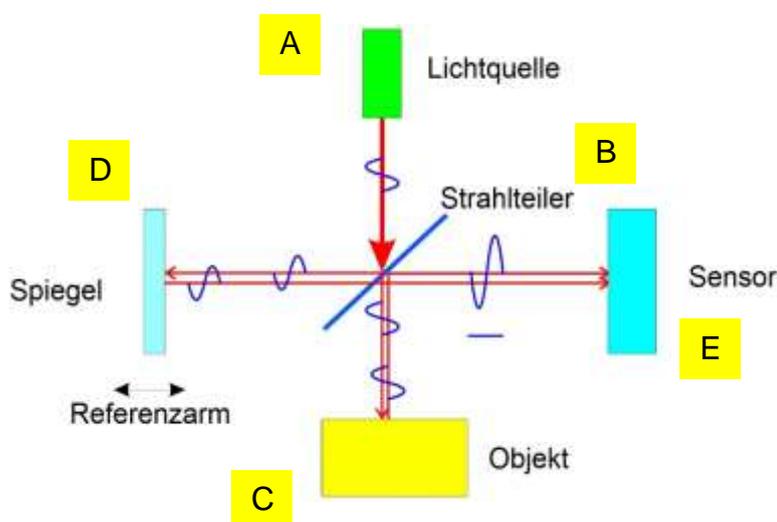
Damit zeitabhängige Interferogramme entstehen sitzt im Strahlengang eine Lichtquelle (LED oder SLD). Die optische Weglängendifferenz wird durch eine axiale Bewegung des Referenzspiegels erzeugt.

Das amplitudenmodulierte optische Signal und deren Trägerfrequenz sind proportional zur Abtastgeschwindigkeit und enthält die Tiefeninformation. Jedes Maximum der Signalhüllkurve entspricht einer Reflexion (oder Streuung) im Inneren einer gemessenen Probe.

Das ASP-Sensor Array erzeugt gleichzeitig 300×300 axiale Interferogramme. Die Abtastgeschwindigkeit ist beim ASP- OCT- Array im Vergleich zu Standard-Visualisierungsanlagen um einen Faktor 100 höher weil die Signaldemodulation zur Detektion der Hüllkurve nicht durch die Bildrate begrenzt ist (Das ASP Array liefert 1 Mio Bilder pro Sekunde).

2.2. Messprozess

Eine ebene Lichtfront wird von der Lichtquelle ausgesendet. Die Lichtfront wird am Strahlteiler auf den Referenzarm geleitet und auf das Objekt (Messarm).



Das am Messobjekt reflektierte und gestreute Licht gelangt über den Strahlteiler zum Sensor, nachdem die Lichtfront am Strahlteiler mit dem Licht, das vom Referenzarm reflektiert wird, interferiert.

Der Sensor empfängt interferierende Lichtfronten als Funktion der Bedingungen in der Tiefe des Objektes.

Unterschiede in der Oberflächengeometrie oder im Material, Streuung oder Reflexion werden vom Detektor mit einer sehr hohen Geschwindigkeit gemessen.

Das Licht einer Quelle (A) wird in einem Strahlteiler (B) in den Messstrahl (C) und in den Referenzstrahl (D) aufgeteilt. Der eine Teil durchläuft den optischen Weg zum Spiegel, der andere Teil gelangt auf die Probe. Die reflektierten Anteile des Lichts werden mit derselben Frequenz im Strahlteilerprisma wieder vereinigt (B). Das Licht des Referenzarms und das Licht der Probe interferieren miteinander und gelangen zum ASP Array Sensor (E) wo das sich ergebende Interferenzbild, ein Hell – Dunkel – Muster der Interferenz, registriert und zur Auswertung bereitgestellt wird.

Es lassen sich zwei OCT- Grundarten unterscheiden:

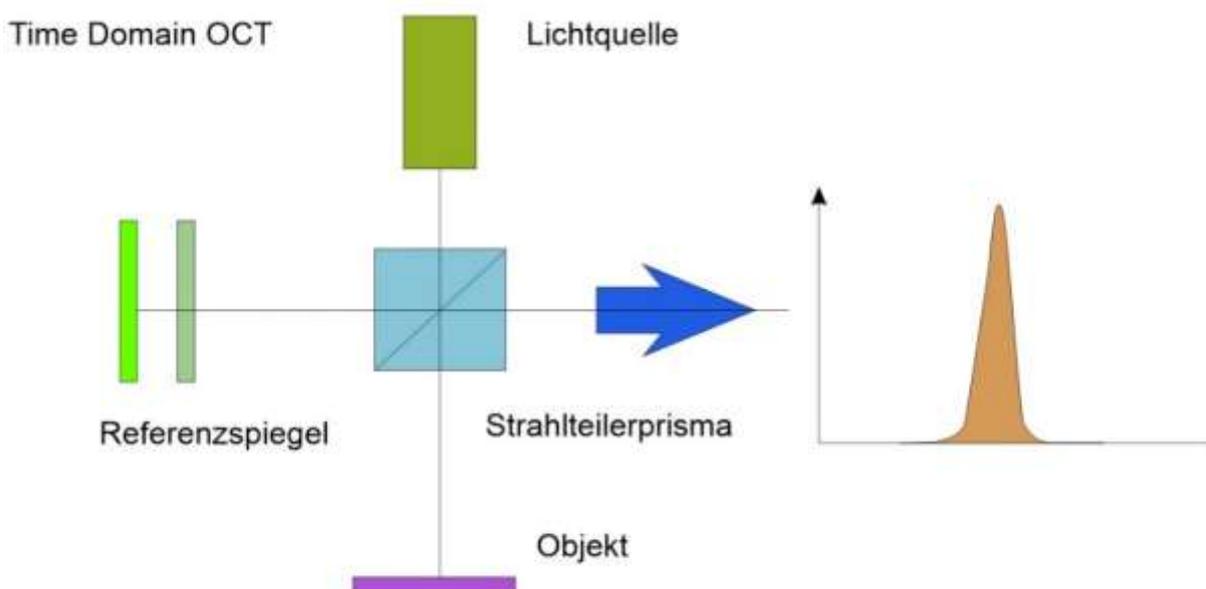
- Time Domain OCT
- Spectral Domain OCT.

Beide Methoden lassen sich am Michelson Interferometer verdeutlichen. Als Probe ist vereinfacht eine reflektierende Schicht angenommen.

2.3. Time Domain OCT

Das Licht der beiden Arme (Referenzarm, Messarm) wird zeitlich korreliert. Dazu wird der Referenzarm in der Länge verändert, das heisst, die Laufzeit in diesem Arm wird geändert. Wenn die Laufzeit exakt der Laufzeit einer Reflexion aus der Probe entspricht, sind für alle im Spektrum enthaltenen Wellenlängen die Referenzarmwelle und die Probenarmwelle in Phase und die elektrischen Feldstärken addieren sich. Bereits eine Verstimmung der Arme um die Hälfte der Zentralwellenlänge bewirkt eine gegenseitige Auslöschung. Eine weitere Verschiebung führt in der Folge wieder zu konstruktiver Interferenz.

Je weiter man sich von der genauen Abstimmung der Weglängen entfernt, desto flacher ist die Ausprägung der Wellenberge und Wellentäler - der Interferenzkontrast nimmt ab.

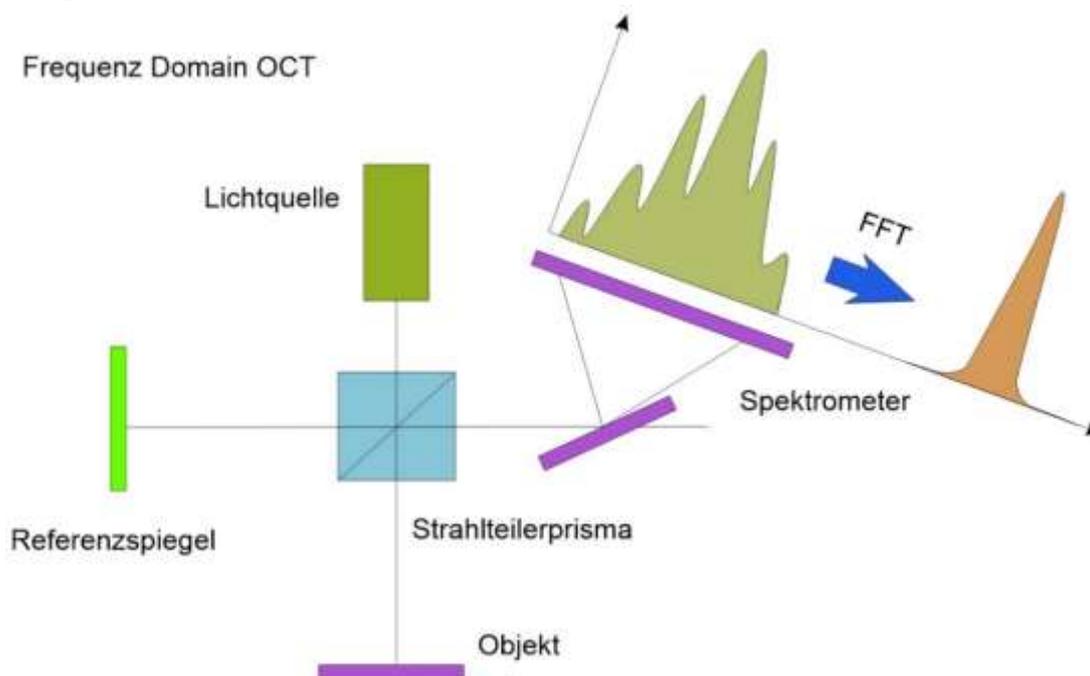


Das liegt daran, dass für jede enthaltene Wellenlänge ein anderer Abstand zwischen dem zentralen Interferenz Maximum und dem nächsten Minimum vorliegt und natürlich die elektrische Feldstärke aller Wellenlängen an jedem Punkt aufaddiert wird. Je mehr

Wellenlängen enthalten sind, umso stärker fällt die Interferenzamplitude um den genauen Abstimmungspunkt ab. Die $1/e^2$ Breite der Einhüllenden des Interferogramms ist die zeitliche Kohärenzlänge des Lichts. Sie verhält sich umgekehrt proportional zur spektralen Bandbreite der Lichtquelle. Genau die Einhüllende ist aber der entscheidende Messwert der OCT und wird durch ein Filterungsverfahren aus dem Interferogramm gewonnen. Der Verlauf dieser Einhüllenden bei einer mehrschichtigen Probe ergibt ein Tiefenprofil der Probe.

2.4. Spectral Domain OCT

Der Referenzarm wird etwas kürzer oder länger als der Probenarm fest eingestellt. Die Interferenz wird spektral ausgewertet, das heißt es wird bei jeder Wellenlänge die Überlagerung von Referenzarmlicht und Probenlicht ausgewertet. Das kann durch ein nachgeschaltetes Spektrometer oder durch zeitlich spektral durchgestimmte Laserlichtquellen passieren (Swept Source OCT). In beiden Fällen wird das Spektro-Interferogramm auf Wellenzahlen umskaliert und Fourier transformiert.



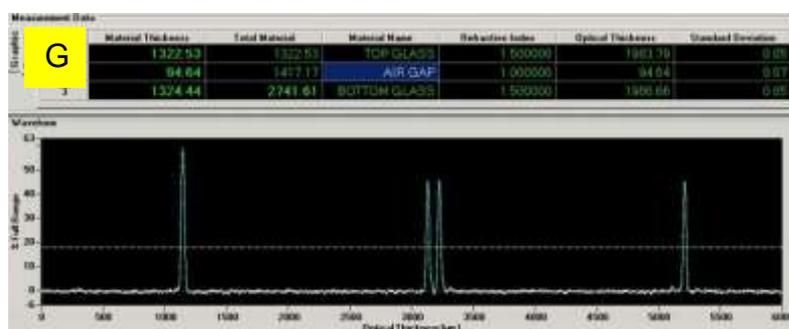
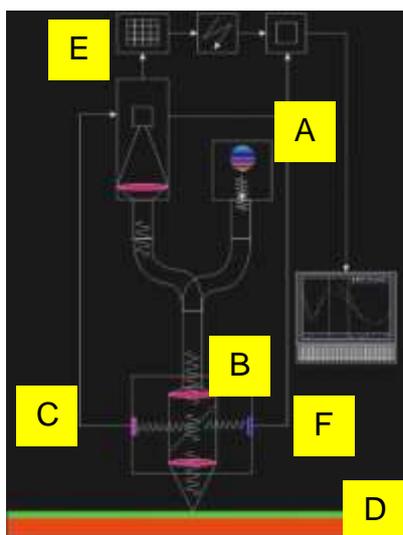
Die Fourier Transformierte des gemessenen Leistungsspektrums entspricht wieder der Tiefenkorrelation. Man erhält also wieder einen A-Scan aus dem Spektrum und wieder ist die axiale Auflösung umgekehrt proportional zu der spektralen Breite des verwendeten Lichts zur Messung. Hinzu kommt noch die endliche Auflösung des Spektrometers bzw. die Linienbreite eines durchgestimmten Lasers. Sie wirken sich auf den möglichen Messbereich aus, je höher die Spektrometerrauflösung bzw. je monochromatischer das Laserlicht und damit je kleiner der mögliche Abstand der Stützpunkte im Spektrum, desto tiefer ist der Messbereich.

2.5. Andere Messprinzipien

Die Interferometrie ist heute mit den modernen 3 D- Verarbeitungstechniken kombiniert und erlaubt eine hochgenaue Topographieerfassung, welche die industrielle

Messtechnik revolutioniert. Die Rauheit, die Ebenheit, die Parallelität, die Planarität oder auch die absolute Topographie als Schlüsselkriterien der industriellen Qualitätskontrolle kann mit einem einzigen Verfahren gemessen und ausgewertet werden.

Da die Bauteile und die Strukturen auf den Bauteilen immer kleiner werden und die Stückzahlen rapide steigen sind schnelle Prüfverfahren unabdingbar. Das einzige Verfahren, welches die hohe Prüfgeschwindigkeit bei höchster Präzision gewährleistet, ist die Interferometrie in all seinen unterschiedlichen Messprinzipien.



Von einer Lichtquelle (A) werden Photonen ausgesendet. Die Photonen erreichen einhalbtransparentes Prisma (B) wo ein Teil der Strahlung auf einen Spiegel (C), der andere Teil auf das Messobjekt (D) gelenkt wird. Vom Lichtanteil der vom Objekt wieder zurückgestrahlt wird, geht ein Teil auf den Sensor (E), der andere Teil zur Signalelektronik (F). Aus dieser Energiemessung auf kleinstem Raum ergibt sich die Lichtlaufzeit als Signal, das einer Ursache (Dicke, Teilchen) zugewiesen werden kann (G). Die Strahlung der Lichtebene ermöglicht die Vermessung der Oberfläche mit einer Genauigkeit im Nanometer- Bereich. Die sich ergebenden Interferenzen zeigen sich als Helligkeitsschwankungen auf dem ASP Array. Die Software wertet diese Helligkeitsunterschiede aus und ordnet jedem Bildpunkt einen Höhenwert aufgrund der Lichtlaufzeit zu, woraus ein hochgenaues Höhenbild der Oberfläche oder der im Innern eines Objektes liegenden Strukturen in Sekundenbruchteilen entsteht.

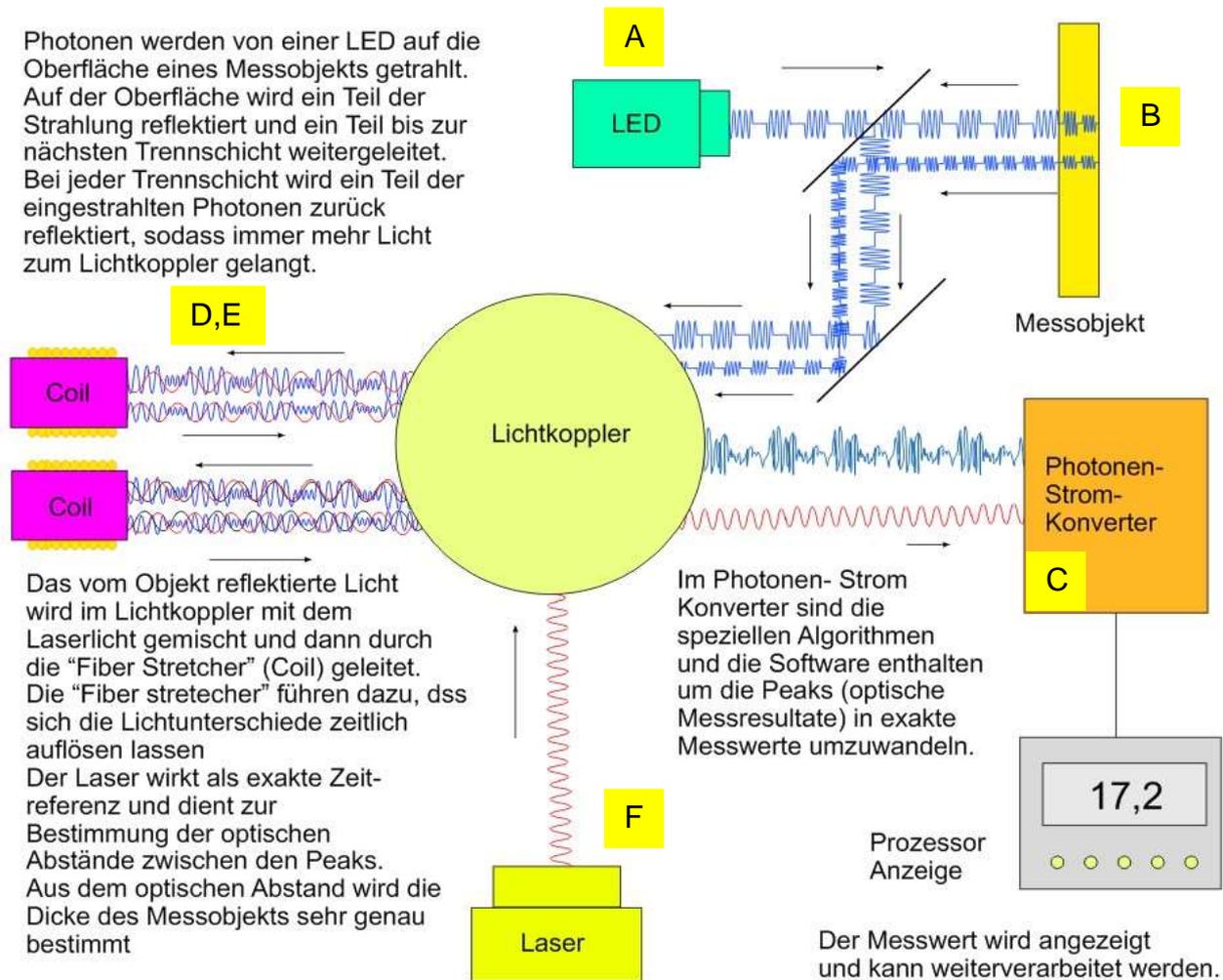
Coherence-Scanning-Interferometer gibt es in verschiedenen Ausführungen. Während lange Zeit nur Mikroskopsysteme erhältlich waren, sind heute mit dem pOCT- ASP-Array auch grössere Messfelder verfügbar.

Die Varianten unterscheiden sich in der lateralen Auflösung (1 μm , bis 50 μm), in der Messfeldgrösse (bis 16mm*16mm) und in der Auflösung in z- Richtung. Zur Erfassung grösserer Objekte werden einzelne Messfelder aneinander gereiht (gestitcht) und miteinander verbunden. Bei Interferometern mit telezentrischem Aufbau werden typische laterale Auflösungen zwischen 1 μm und 50 μm und Messfeldgrößen im Zentimeterbereich erreicht. Der vertikale Verfahrensweg beträgt mehrere Zentimeter. Bedingt durch die kurze Interferenzlänge der Lichtquelle wird eine geometrische Auflösung in z- Richtung von einigen Nanometer erreicht.

In der folgenden Skizze ist ein Faser – Interferometriesystem dargestellt. Das Licht einer LED (A) gelangt auf das Objekt (B) wo ein Teil davon zum Sensor (C) zurückgestrahlt

wird. Bei dieser Anordnung sind der Mess- und der Referenzarm (D,E) in einer Achse. Das Interferenzmuster entsteht im Coil und die Zeitfunktion wird mit dem synchronen Licht des Lasers (F) realisiert. Aus der Zeitmessung ergibt sich in der Folge die Laufzeit der Photonen woraus sich wieder die Dicke einer Schicht oder sonstige Kriterien auswerten lassen.

Faser- OCT- Systeme werden von Hand bedient oder sie werden an einer Halterung befestigt und in einen laufenden Produktionsprozess eingebaut. Gegenüber dem ASP-Array sind diese Geräte kostengünstiger.



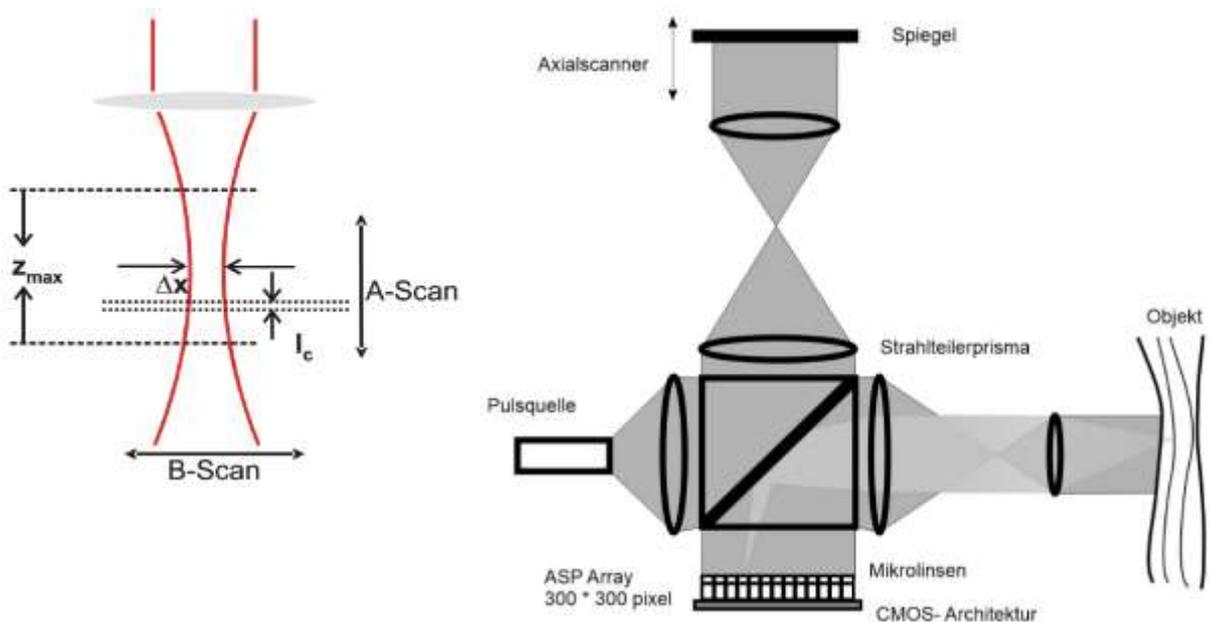
2.6. Streufeld- OCT

Mit dem OCT Verfahren werden tiefenaufgelöste Schnittbilder durch ein Material erstellt. Dazu wird Licht eingestrahlt und das zurückgestreute Licht wird in einem Interferometer ausgewertet. Der Kontrast im Material stammt von Streuprozessen an Strukturgrenzen, die einen Übergang im optischen Brechungsindex darstellen, z.B. dem Übergang von Einbettmasse zu Partikel- oder Übergang von Molekülen. Licht wird an verschiedenen Streuzentren zu einem kleinen Teil auch genau entgegengesetzt zur Einfallsrichtung zurückgestreut. Um Licht tief eindringen zu lassen werden oft längere Wellenlängen gewählt. Die mittlere freie Weglänge bei Streuprozessen in optisch streuendem Material (trüb, milchig) liegt in der Größenordnung von einigen 100 μm bis zu einigen Millimeter.

Die Absorption durch Wasser oder andere Absorber ist in der Regel weniger stark als die Verluste durch Streuung in Feststoffen. Den transparenten Teil einer Probe (Lack, Glaskörper) kann man vollständig erfassen. Eine relativ dünne Beschichtung die aus vielen ganz dünnen Schichten besteht, wie zum Beispiel in Sonnenschutzgläsern, lässt sich sehr eindrucksvoll darstellen.

2.7. A-Scan und B-Mode Bild

Wird die Probe mit einem Lichtstrahl abgerastert gewinnt man ein Tiefenprofil entlang des Lichtstrahls pro Rasterpunkt durch Bewegen des Referenzarmspiegels. Die sich daraus ergebende Darstellung eines Tiefenprofils nennt man Amplitudenscan (A-Scan, Bild oben rechts). Die Umwandlung des Tiefenprofils in Helligkeiten und die Darstellung vieler benachbarter Tiefenprofile entlang eines Rasterwegs als Helligkeitswerte ergibt ein sogenanntes Brightness-Mode Bild (B-Mode-Bild, Bild links).

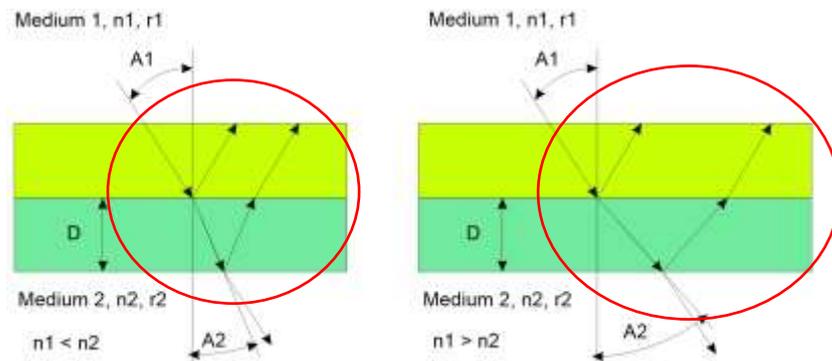


Das transversale Auflösungsvermögen (x, y- Richtung) hängt von der Fokussierung des Lichtstrahls ab. Je steiler fokussiert wird, desto genauer kann in der Fokusebene aufgelöst werden, aber umso stärker verschlechtert sich die Auflösung mit steigendem Abstand vor und hinter dieser gewählten Fokusebene. Wird sehr stark fokussiert spricht man von optischer Kohärenzmikroskopie.

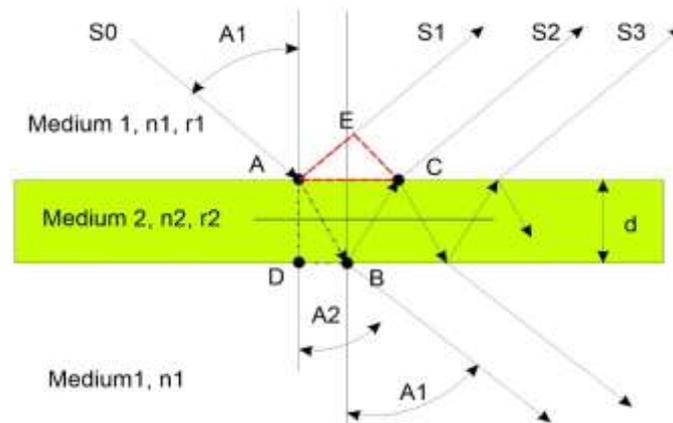
2.8. Punktuelle Messung

Die berührungslose Messung der Dicke eines Films oder einer Folie mit Licht ist sehr schnell und höchst genau. Das Licht durchquert bei der Messung dabei die transparente (oder semitransparente) Schicht zweimal, was zu einem deutlich grösseren Absorptionssignal führt und auch Polarisierungseffekte der Messung zugänglich macht, weil senkrecht zur Einfallsebene linear polarisierte Strahlung im Bereich der Grenzfläche des metallischen Substrats eine unbedeutend kleine Feldstärke aufweist und nicht mit den auf der Oberfläche adsorbierten Molekülen wechselwirkt. Bei

Interferenz an einer dünnen Schicht gelangt Licht aus einem Medium 1 mit dem Brechungsindex n_1 und dem Reflektionskoeffizient r_1 unter einem Winkel A_1 auf eine Schicht mit der Dicke D , dem Brechungsindex n_2 und dem Reflektionskoeffizient r_2 . Ein Teil des Lichts wird an der Oberfläche reflektiert und ein Teil wird beim Eintritt in die Schicht gebrochen. Ist $n_1 < n_2$ wird das Licht gegen das Lot hin gebrochen, ist $n_1 > n_2$ wird das Licht vom Lot weg gebrochen.



Auf der Rückseite der Schicht reflektiert das Licht wieder zurück (r_1 und r_2) und der durchgehende Anteil wird erneut gebrochen – wie beim Eintritt in die Schicht. Beide Teilstrahlen fallen auf der Oberfläche wieder zusammen und interferieren.



Um genau herauszufinden wie das Licht interferiert, unter welchen Winkeln konstruktive und unter welchen destruktive Interferenz von Licht einer definierten Wellenlänge λ eintritt, muss man den optischen Gangunterschied kennen.

In der Grafik oben sieht man die Dreiecke \underline{ADB} und \underline{ACE} . Mit den trigonometrischen Regeln kann man nun den Gangunterschied dS , d.h. die Strecke \underline{AE} , berechnen. Fällt das Licht aus der Luft auf das Medium 2 ist der Gangunterschied:

Bei Reflexion tritt beim Übergang des Lichts zum optisch dichteren Medium immer ein Phasensprung von π auf. Der Phasensprung entspricht genau $\lambda/2$.

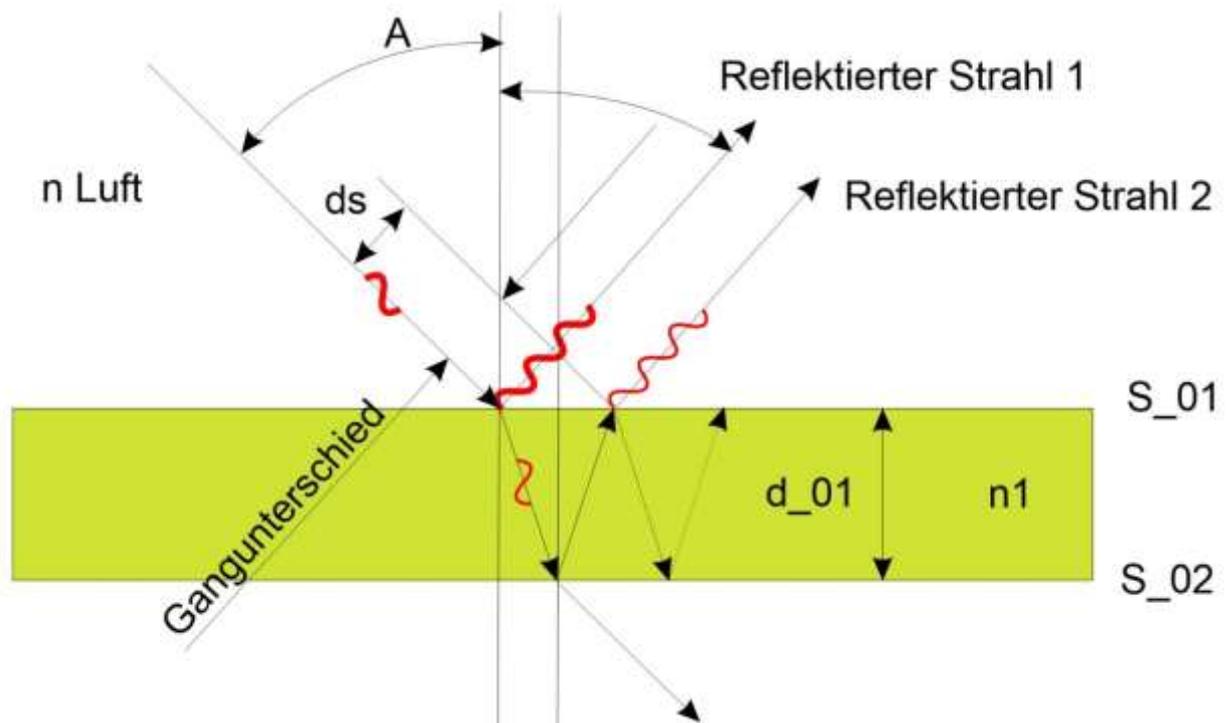
Ist $n_2 < n_1$ folgt:

$$\Delta s = 2 \cdot d \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2(\varepsilon)} - \frac{\lambda}{2}$$

Ist $n_2 > n_1$ folgt:

$$\Delta s = 2 \cdot d \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2(\varepsilon)}$$

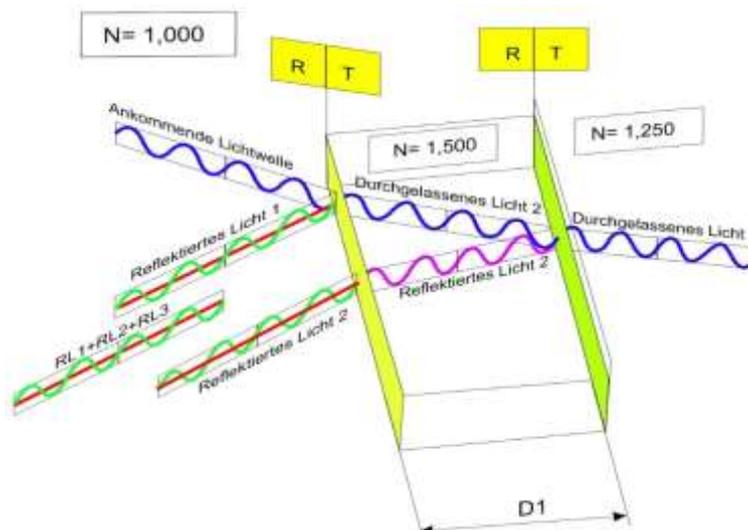
Man erkennt aus der hergeleiteten Formel die Schichtdicke d abgeleitet werden kann, wenn der Gangunterschied des Lichts das zur Messung verwendet wird, gemessen werden kann. Die folgende Grafik zeigt die Verhältnisse wenn Licht aus der Luft auf ein Medium auftrifft. Die Wellenlänge des Lichts bleibt immer erhalten, es ändert sich nur der Gangunterschied Aufgrund der Brechungsindices und aufgrund der durchstrahlten Materialdicke.



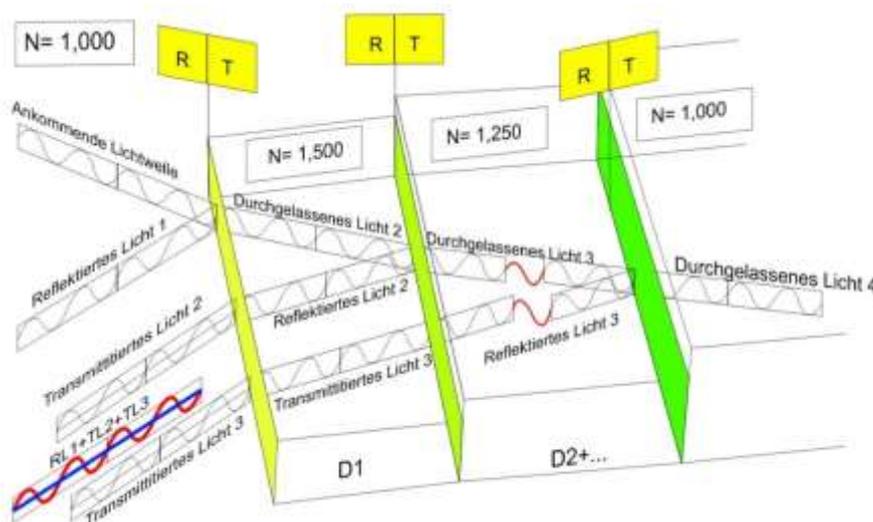
2.9. Interferenz durch partielle Reflexion an Schichtsystemen

Als Strahlungsquellen werden monochrome Lichtquellen eingesetzt. Diese sind kompakt gebaut und lassen sich elektrisch ansteuern. Der einfallende Lichtstrahl wird an der Oberfläche reflektiert, gestreut und durchgelassen.

Der durchgelassene Anteil des Lichts wird als Funktion des Brechungsindex abgelenkt und an der nächsten Schicht wieder reflektiert, gestreut oder durchgelassen. Ein Teil des Lichts, das auf die Oberfläche trifft, wird reflektiert oder durchgelassen. Die Amplitude, und damit auch die Intensität, des reflektierten Anteils wird nach den Fresnel'schen Gleichungen für eine feste Polarisationsrichtung aus dem Einfallswinkel und den Brechungsindizes auf beiden Seiten der Grenzschicht berechnet.



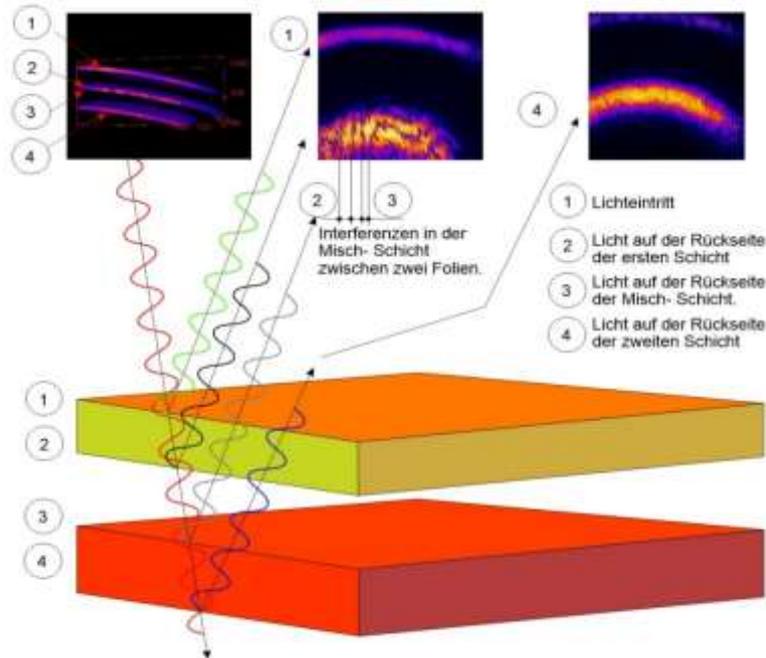
Eine weitere Aufspaltung des durchgelassenen Lichts erfolgt an der nächsten Grenzschicht. Die an den zwei Grenzflächen der Schichten reflektierten Lichtstrahlen werden dem ankommenden Lichtstrahl überlagert, sodass ein Interferenzmuster entsteht.



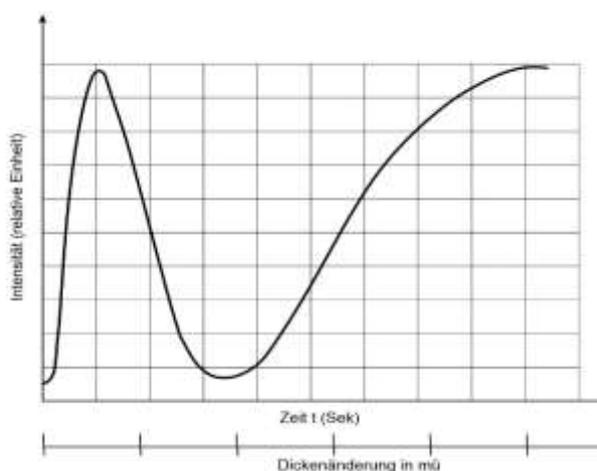
Durch Mehrfachreflexionen in einer Schicht sind an der Entstehung der Interferenzen „viele Lichtstrahlen“ beteiligt, der prinzipielle Intensitätsverlauf im Interferenzbild wird dadurch aber nicht beeinflusst. Der Einfluss beschränkt sich auf eine Änderung der

Kurvenform die bei der Interpretation berücksichtigt wird. Entscheidend für das Interferenzverfahren ist der Wegunterschied der Lichtstrahlen.

Der Wegunterschied ist proportional zur Dicke der Schicht und zum Brechungsindex. Der Wegunterschied des Lichts führt zu einer Phasenverschiebung der reflektierten Lichtstrahlen, was sich bei der Überlagerung in einer Verteilung der Lichtintensität zeigt. Ändert sich die Dicke der Schicht, resultiert eine andere Lichtintensität. Dies bedeutet, dass durch die Messung der Intensität des Lichts die Dicke der Schicht bestimmt werden kann.



Mathematische Ansätze ermöglichen die messtechnischen Grenzen zu unterschreiten. Mit der von Taylor Hobson entwickelten "Helical Conjugate Field"-Funktion lassen sich aus den Rohdaten auch Informationen zu dünnsten Schichten extrahieren.

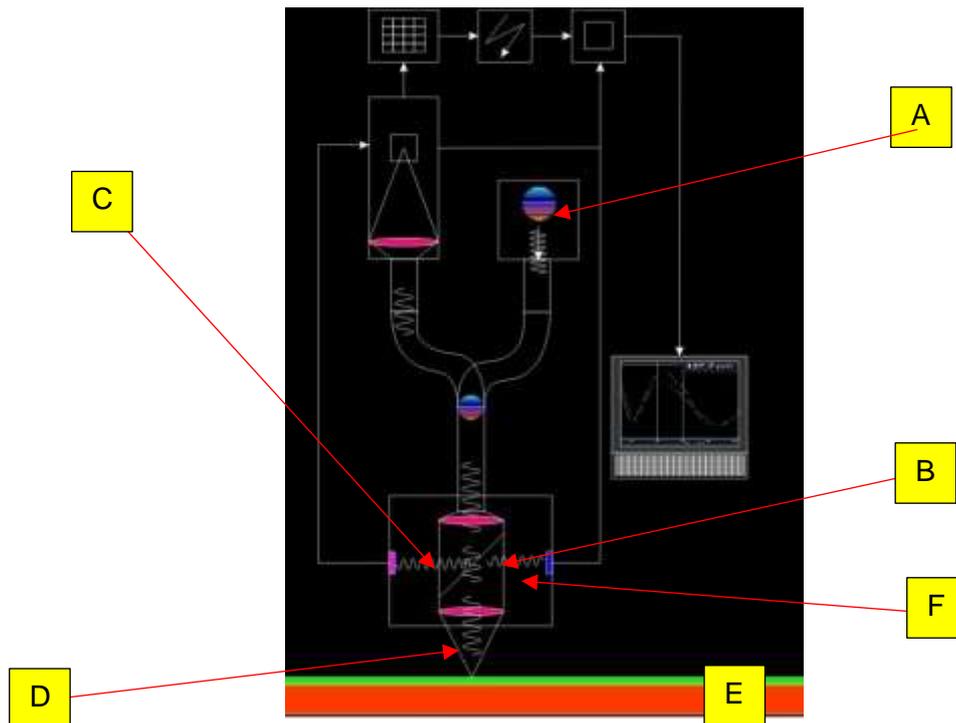


Bei der Auswertung der Intensitätsverteilung ist die Periodizität der Intensitätskurve entscheidend. Die Messung der relativen Änderung der Dicke einer Schicht ist mit geringem Aufwand durchführbar. Durch die kontinuierliche Messung wird die Intensitätsänderung am Messort festgestellt. Über die Phasenberechnung wird die Änderung der Dicke bestimmt. Der Grafik links zeigt den zeitlichen Verlauf der Intensitätsänderung am Detektor bei gleichmässiger Änderung der Schichtdicke.

2.10. Ein-Strahl-Verfahren

Die einfachste interferometrische Schichtdickenmessung erfolgt mit einem Lichtstrahl und mit einer einfachen punktförmigen Detektion eines Intensitätswertes.

Von der Lichtquelle (A) gelangt das Licht auf den Strahlteiler (B). Am Strahlteiler wird der Lichtstrahl in einen Referenzstrahl (C) und in einen Messstrahl (D) aufgeteilt. Der Messstrahl gelangt auf das Objekt (E) wo dieses Licht wieder zum Strahlteiler zurück reflektiert wird. Der reflektierte Anteil des Lichts aus dem Messstrahl interferiert am Strahlteiler mit dem Licht des Referenzstrahls (F). Je nach Laufzeit des Messstrahls bilden sich helle (Konstruktive Interferenz) und dunkle (Destruktive Interferenz) Bereiche, die sich, wie vorgängig beschrieben, bei bekanntem Brechungsindex, einer Schichtdicke zuweisen lassen.

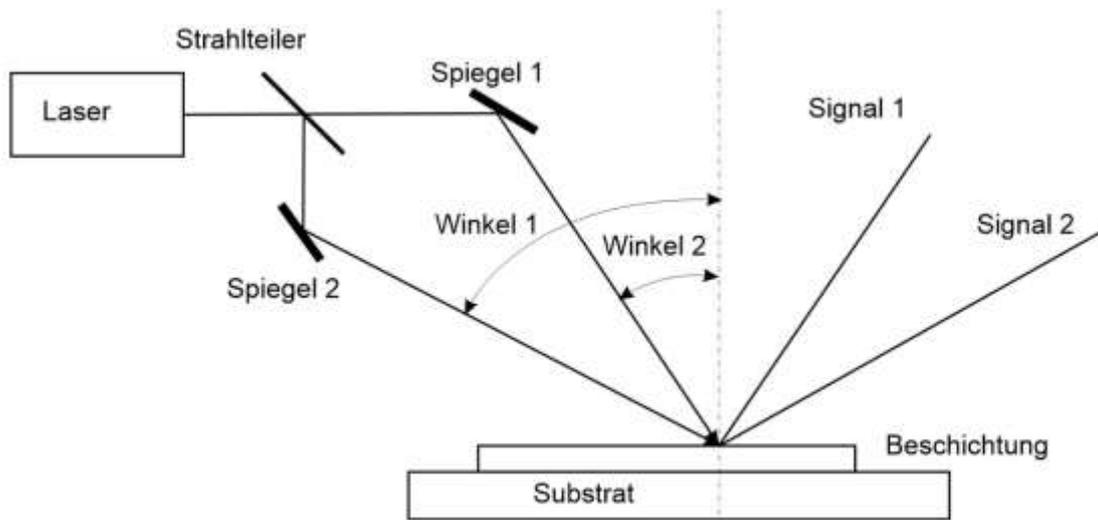


Das erfasste Signal ist also eine Funktion des Brechungsindex des gemessenen Materials und der Schichtdicke. Ist eine dieser Größen bekannt, kann aus dem Signal auf einfache Weise die zweite Größe ermittelt werden.

2.11. Zwei-Strahl-Verfahren

Da bei optischen Messverfahren der Brechungsindex der Materialien eine grosse Rolle spielt, entspricht das gemessene Signal nicht unmittelbar der Schichtdicke. Der Brechungsindex des gemessenen Signals muss berücksichtigt werden. Weil bei vielen Beschichtungsverfahren der Brechungsindex einer Schicht von den Parametern der Beschichtung (Dicke, Spannung, Temperatur) abhängt ist es oft vorteilhaft, wenn der Brechungsindex der aufgetragenen Schicht auch gemessen wird. Die Messung der geometrischen Schichtdicke und des Brechungsindex erfolgt mit zwei Einfallswinkeln des Lichts aus derselben Quelle. Da die Periodizität der aufgenommenen Intensitätsmodulation während eines Schichtwachstums auch vom Einfallswinkel abhängt, ergeben sich zwei Signale mit unterschiedlicher Periodizität. Das Verhältnis der beiden Perioden zueinander ist das Mass für den Brechungsindex der Schicht. Mit dem so gemessenen Brechungsindex kann analog zum Ein-Strahl Verfahren aus einem

der beiden aufgenommenen Intensitätsverläufe die geometrische Schichtdicke bestimmt werden.



2.12. Ein-Strahl-Verfahren mit wissensbasierter Auswertung

Das beschriebene Verfahren mit zwei Einfallswinkel ist einfache und sehr genau zur gleichzeitigen Messung des Brechungsindex und der Schichtdicke. In einigen Anwendungsfällen ist aber ein optischer Zugang unter zwei deutlich unterschiedlichen Winkeln zur Messstelle nur mit hohem Aufwand realisierbar.

Wird aber in die Auswertung eines gemessenen Intensitätssignal die physikalisch exakt berechnete Strahlintensität bei gegebenem Brechungsindex und Schichtdicke verwendet, kann für jede Kombination der Einflussfaktoren die entsprechende Intensität berechnet werden. Durch Iteration können mit den gemessenen Werten beide Parameter mit einer Messung bestimmt werden. Der Brechungsindex bestimmt dabei vor allem den genauen Verlauf der Kurve zwischen zwei Extremwerten, während die Schichtdicke die Periode, also den Abstand der Extrema bestimmt. Durch diesen unterschiedlichen Einfluss der beiden Parameter auf die Intensitätskurve können beide Parameter mit hinreichender Genauigkeit getrennt bestimmt werden.

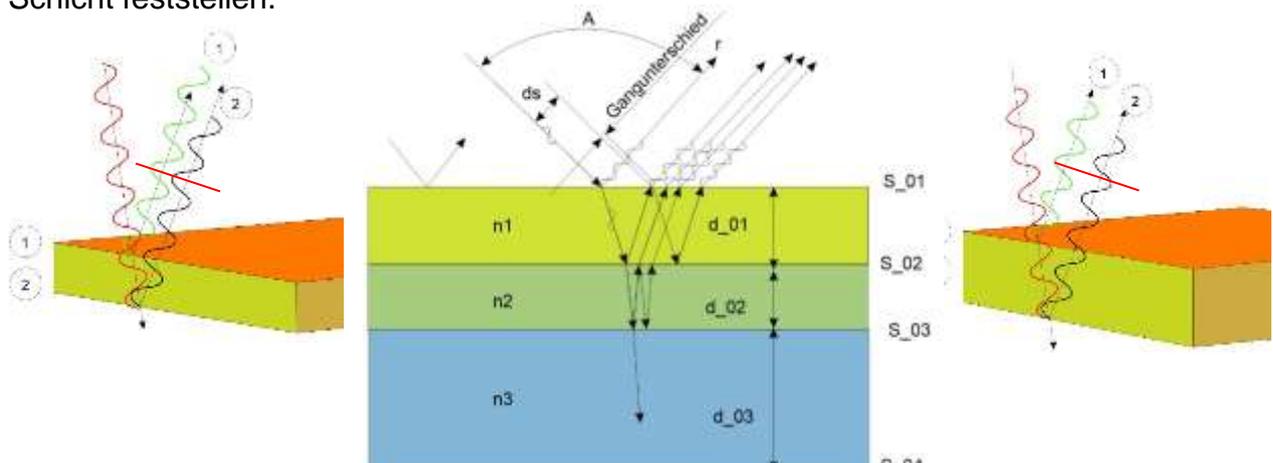
2.13. Statische Messungen

Oft stellt sich auch die Aufgabe, fertige Schichten nachträglich zu vermessen. Mit einer Diodenzeile an Stelle einer Photodiode ist die Aufnahme des räumlichen Intensitätsverlaufs möglich. Dieser kann ähnlich wie der zeitliche Verlauf interpretiert und ausgewertet werden womit eine deutliche Erweiterung der Messmöglichkeiten erreicht wird. Von bestehenden Schichten kann so die Dicke und der Brechungsindex gemessen werden, wobei auch bei dieser Messung die Kenntnis des theoretischen Kurvenverlaufs bei der Auswertung genutzt wird.

Die Interferometrie zeichnet sich durch eine sehr hohe Empfindlichkeit und Robustheit aus. Die hohe Empfindlichkeit ergibt sich aus dem interferometrischen Prinzip. Änderungen in der Intensität von 0 auf 100% ergeben sich bereits durch eine Dickenänderung im Bereich von 0,1 μm . Eine Auflösung von 0,01 μm (10 nm) kann mit

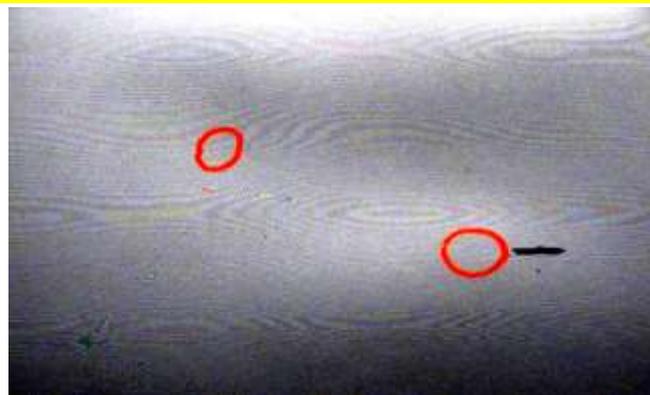
dem Verfahren noch gemessen werden. Schwingungen wirken sich nicht auf das Messsignal aus.

Aufgrund unserer Ausrichtung und der OCT-Messtechnik haben wir Kontakt zu vielen Industrieunternehmen aufgebaut und bedienen diese mit unserer Kompetenz in der Messtechnik. Die Erkenntnisse im Markt zeigen, dass das OCT-Verfahren in der Qualitätsüberwachung sehr gute Resultate liefert. Aus der Messung der Lichtlaufzeit berechnet sich die Dicke einer Schicht oder es lassen sich Inhomogenitäten in einer Schicht feststellen.



Aus den oben stehenden Skizzen erklären sich die Interferenzerscheinungen. Die rote Linie ist in beiden Fällen am gleichen Ort (gleicher Messzeitpunkt). Man erkennt die Reflektion von der Oberfläche und von der Folienrückseite. Ist die Folie dicker, so verändern sich die Interferenzen. Während in der Skizze links zwei Wellentäler aufeinander treffen (rote Linie) sind es in der Skizze rechts ein Wellenberg und ein Wellental. Vom Sensor wird die Summe beider Wellen registriert. Es entstehen Helle und dunkle Zonen, je nach Interferenz, was schlussendlich ausgewertet wird.

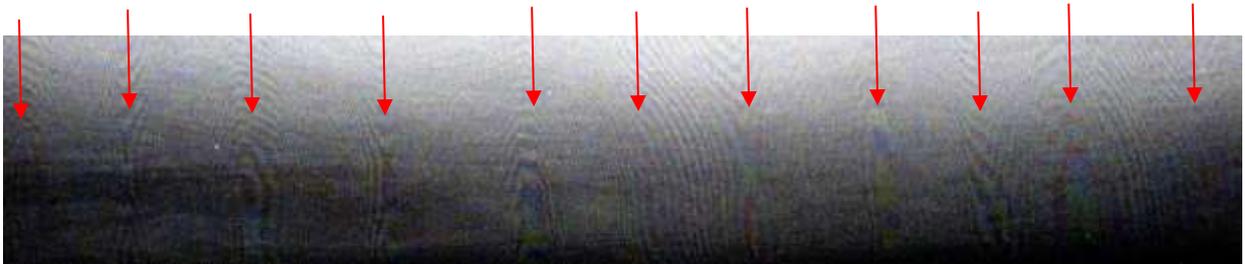
Dickenunterschiede erkennt man an den Interferenzen im Bild. Die hellen und dunklen Streifen zeigen, wie die Dickenunterschiede in der Folie verteilt sind.



Unterschiedliche Interferenzen entstehen entweder wenn die Foliendicke nicht homogen ist, wenn der Brechungsindex ändert oder der Betrachtungswinkel. In der Folie zeigen sich in Produktionsrichtung streifenförmige Interferenzlinien die sich systematisch abwechseln. Die kleinen, partiellen Interferenzen im Bild stammen von der Folienrückseite, sie sind ein Einfluss der Folienuflage. Die schwarze Markierung (1) zeigt die Lage des Ziehstreifens. Bei den roten Markierungen (2) wurden OCT

Messungen durchgeführt. Im Bereich des Ziehstreifens erkennt man einen klaren Sprung in der Interferenz

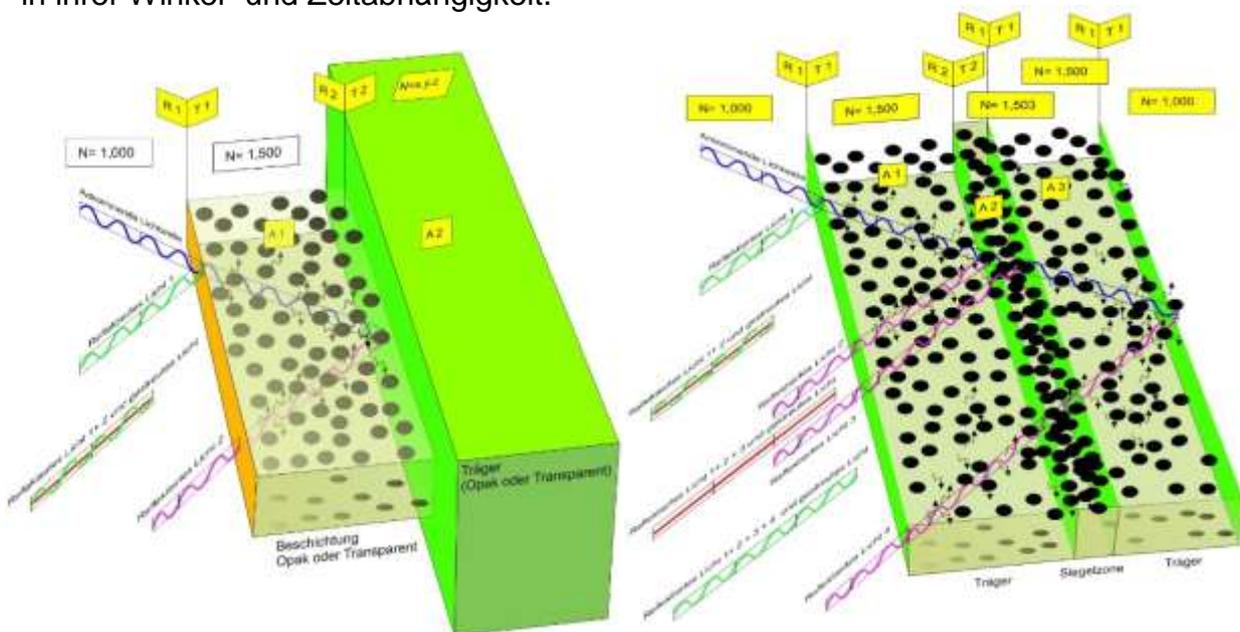
Auf der Aufnahme der Folie erkennt man ein systematisches in Querrichtung verlaufendes Raster von Interferenzen. Die Interferenzen sind von beiden Folienseiten an denselben Stellen und verlaufen in Produktionsrichtung der Folie. Die Interferenzen zeigen Dickenunterschiede in der Folie im nm-Bereich. Der Abstand der Abweichenden Interferenzen liegt zwischen 1 bis 2 cm.



Das in Echtzeit erfasste Interferenzmuster auf einer Folie hängt unter anderem direkt von der Foliendicke ab.

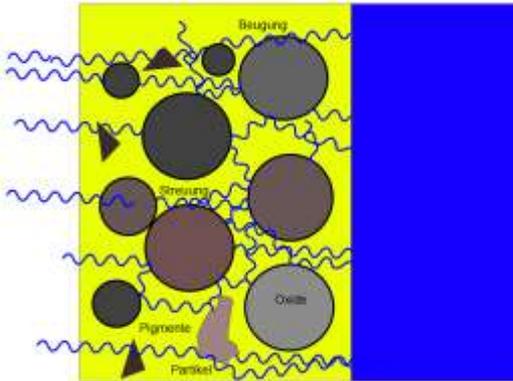
2.14. Streuung

Beschichtungen enthalten Oxide, Fasern oder Pigmente, an denen Licht mehr oder weniger in alle Richtungen gestreut wird. Diese Streueffekte lassen sich bestimmen. Bei der **statischen Lichtstreuung** betrachtet man die Winkelabhängigkeit der zeitlich gemittelten Streuintensitäten, bei der **dynamischen Lichtstreuung** die Streuintensität in ihrer Winkel- und Zeitabhängigkeit.



Bei der **Rayleigh-Streuung** trifft Licht auf ein Medium mit wenigen statistisch verteilten Streuzentren mit kleinerem Durchmesser als die einfallende Wellenlänge. Die statistische Verteilung und das Medium sind bei der Rayleigh-Streuung wichtig, da so seitlich zur Ausbreitungsrichtung eine destruktive Interferenz zwischen den Streuwellen verschiedener Streuzentren ausgeschlossen werden kann.

In regelmäßigen Medien oder bei Partikeldimensionen, die gegenüber der Wellenlänge gross sind (Oxide, Pigmente, Faser), wird die seitliche Streuung durch destruktive Interferenz abgeschwächt. In einer regelmässig aufgebauten Beschichtung sind viele Streuzentren vorhanden.



Deshalb liegt zu jedem Streuzentrum auch ein seitlicher Nachbar im Abstand von $\lambda/2$, sodass sich deren Streuwellen in seitlicher Richtung gerade destruktiv überlagern.

Grosse Teilchen reflektieren das auftreffende Licht zunehmend unabhängig von der Wellenlänge.

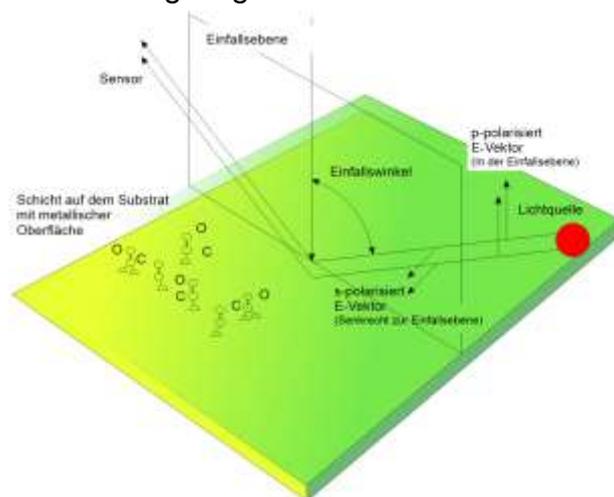
Ist die Wellenlänge kleiner als das betrachtete Partikel, ist also $d \approx \lambda$, liegt **Mie-Streuung** vor.

Je größer die Partikel sind, desto schwächer wird die Wellenlängenabhängigkeit. Das OCT-Bild zeigt unterschiedliche Streueffekte in einer Folie.

2.15. Polarisation

Wird abwechselnd mit senkrecht und parallel polarisiertem Licht bestrahlt, zeigt sich im Spektrum ein Wechsel aus Referenzspektrum ohne Adsorbat (senkrecht polarisiert) und dem Spektrum mit Adsorbat (parallel polarisiert). Von der Lichtquelle aus gelangt der Lichtstrahl auf die auf die transparente Schicht und durchquert diese zweimal. Mit der Methode wird die Dicke von Schichten gemessen, die viel dünner als 1 Mikrometer sind. Zum Beispiel können die von einer Metalloberfläche adsorbierten Kohlenstoffmonoxide nur mit p-polarisierter Strahlung wechselwirken, weil das Spektrum nur mit Dipolen, die parallel zur Einfallsebene sind, Wechselwirkung zeigt.

Mit der Polarisationsmethode lässt sich zum Beispiel untersuchen, welche Moleküle von einer Oberfläche adsorbiert werden und welche nicht.



s- Polarisation

Senkrecht zur Einfallsebene

p- Polarisation

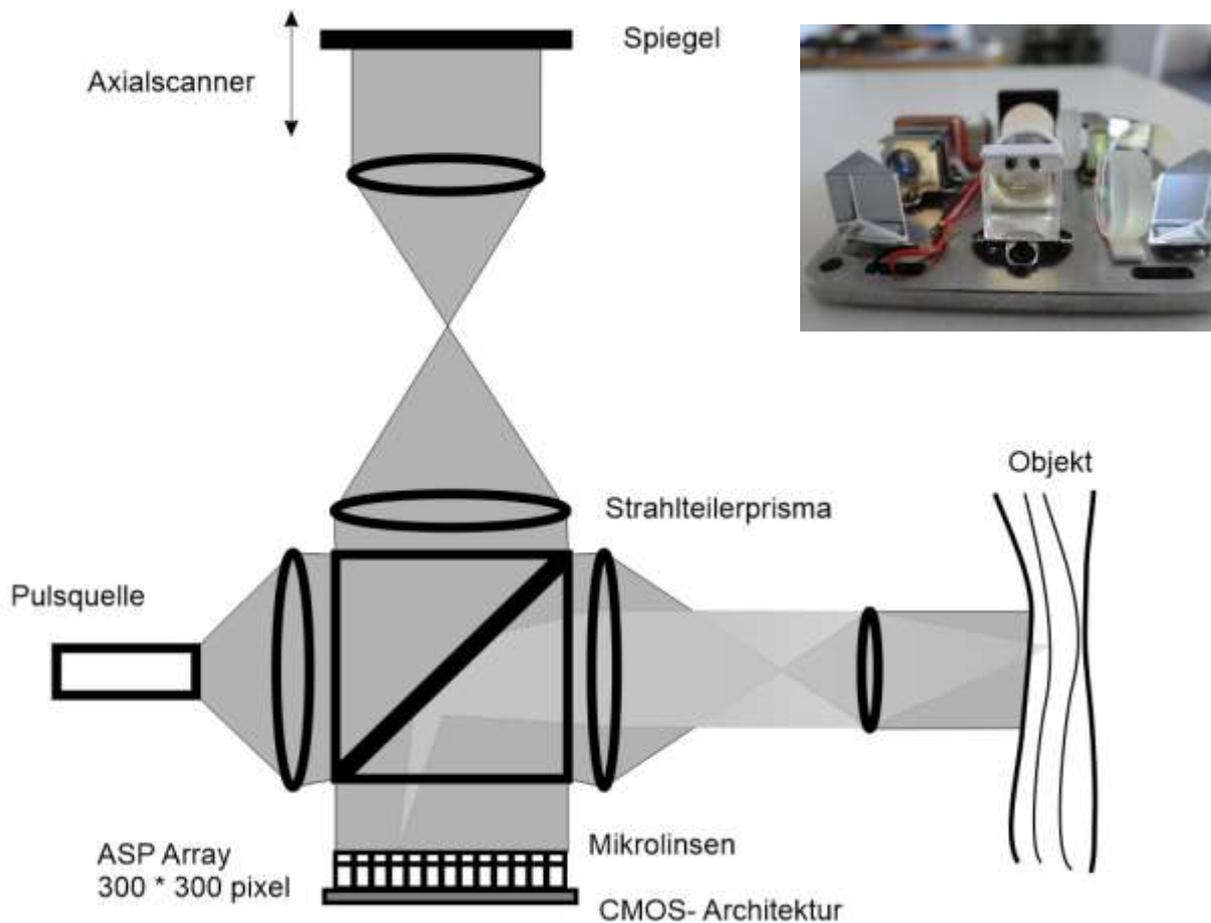
In der Einfallsebene

Mit dieser Methode werden alle transparenten Filme zwischen 1nm Dicke bis 1 mm Dicke schnell und sehr genau gemessen.

3. Das neue - spezielle pOCT System

(Parallele optische Kohärenztomografie)

Eine zweidimensionale Lichtfront wird von der Lichtquelle abgesendet. Die Lichtfront wird am Strahlteiler auf den Referenzarm geleitet und auf das Objekt (Messarm). Das am Messobjekt reflektierte und gestreute Licht gelangt über den Strahlteiler zum Sensor, nachdem die Lichtfront am Strahlteiler mit dem Licht, das vom Referenzarm (Spiegel) reflektiert wird, interferiert.



Fällt ein optisches Signal auf ein Pixel des ASP Arrays, wird ein elektrisches Signal erzeugt. Der Hintergrund wird ausgeblendet damit eine Sättigung der Pixel durch hohe Lichtstärke vermieden wird. Das abgetastete Signal wird laufend integriert, durch ein Signal gleicher Frequenz multipliziert und über zwei Pfade deren Phase um 90 Grad gegeneinander verschoben ist, gemittelt. Die Ausgänge der beiden Wege werden zum PC geleitet, wo die Hüllkurvenamplitude und deren Phase berechnet und ein dreidimensionales Bild erzeugt wird. Mehr Informationen über die OCT Technologie basierend auf den ASP- Array erhalten Sie auf Anfrage.

Der Sensor empfängt die interferierenden Lichtfronten als Funktion der Bedingungen auf dem Objekt. Unterschiede in der Geometrie, in der Streuung oder in der Reflektion werden vom Detektor mit hoher Geschwindigkeit (bis 1 Mio fps) gemessen.

Der OCT-Messkopf mit dem eingebauten ASP Array ist 70 mm * 55 mm * 200 mm gross und nur wenige 100 Gramm schwer.

Im Messkopf sind eingebaut:

- Mikrolinsen (Jeder Bildpunkt ist mit einer eigenen Linse versehen)
- das ASP- Array mit 300 * 300 Bildelementen mit integrierter Signal-Vorverarbeitung, aufgebaut auf einem CMOS- Sensor
- Ein FPGA zur Datenverarbeitung im Messkopf
- die Lichtquelle zur Erzeugung der Lichtfront
- das Spektrometer.
- die Anschlüsse an externe Rechner und Controller

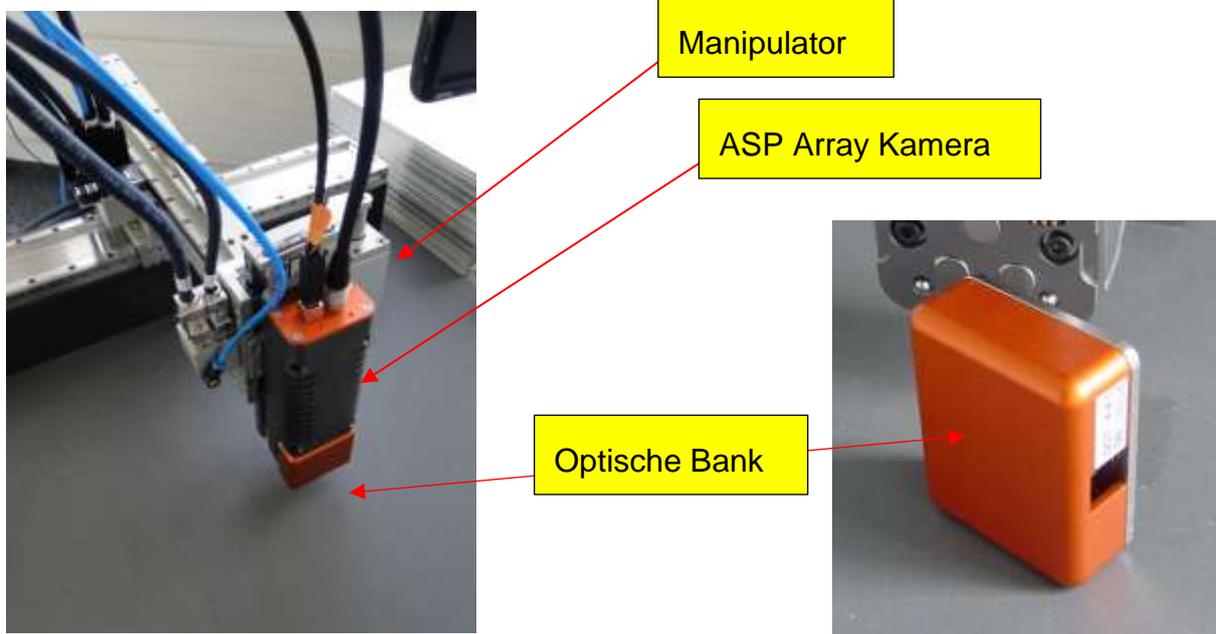
Ist der Messkopf am Netz angeschlossen und über die USB-Schnittstelle mit dem Rechner verbunden, können bereits Messungen ausgeführt werden. Der OCT-Messkopf kann auf alle Manipulatoren aufgebaut werden.

Neben den Anlagen die mit dem ASP Array ausgerüstet (300*300 Sensoren) sind bieten wir auch Messköpfe an, die nur an einem einzelnen Punkt Messungen erlauben. In diesen Messköpfen sind Einzelsensoren eingebaut, keine ASP- Arrays.

Die Messköpfe werden von Hand bedient (Beispiel Seite 71) oder können an einer Halterung befestigt werden. Gegenüber dem ASP-Array sind diese Geräte kostengünstiger und erlauben es dem Anwender, die OCT- Technologie selber kennen zu lernen.

3.1. Messkopf

Der Messkopf ist robust gebaut. Die Ethernet- Schnittstelle und die Datenleitungen zum Rechner sind anschlussfertig.



Die Sensor- Bildrate beträgt 1 Mio fps (1 Million Frames per Second), die Demodulationsfrequenz der Lichtfront beträgt 5 kHz. Im Interferometer sind die Pulsquelle sowie die optische Bank eingebaut. Der Messabstand liegt bei einigen mm bis zu mehreren cm. Die optische Bank kann auf spezifische Anforderungen angepasst werden. Dabei können die Lichtquelle und damit verbunden die optischen Bauelemente oder die laterale Auflösung angepasst werden.

Spezifikationen	3D- Inspection - selective thickness measurement - volume measurement		
3D Sensor	Patented smart pixel sensor with ASP Array (Active sensor pixel array)		
2D mode	live view for navigation on sample (Option)		
light source	Standard SLD (Superluminescent light Emitting Diode) λ 840 nm, P 8 mW		
Field of view	0,45 * 0,47 mm	1,4 * 1,46 mm	2,8 * 2,9 mm
Numerical aperture	0,4	0,17	0,11
Working distance	2,8 mm	18,1 mm	22,7 mm
Vertical resolution	200 nm (Standard), 50 nm in phase mode		
Vertical scan speed	up to 50 mm per second		
Lateral resolution	1,6 μ m	5 μ m	10 μ m
Reflectivity of samples	0,1 % - 100%	0,1 % - 100%	0,1 % - 100%
Z- Stage	80 mm vertical scan range, up to 100 mm per second		
Software	Configuration and control software for the system and the navigation.		
	Graphical representation of 3D topography and profiles		
	data processing and analysis		
	data management and storage		
	automation of measurement tasks (recipes)		
	software development kit for C++, Python and LabView2013, macros (ImageJ)		
	Scanner control 3D camera configuration and readout, data processing algorithms		



3.2. Systemübersicht

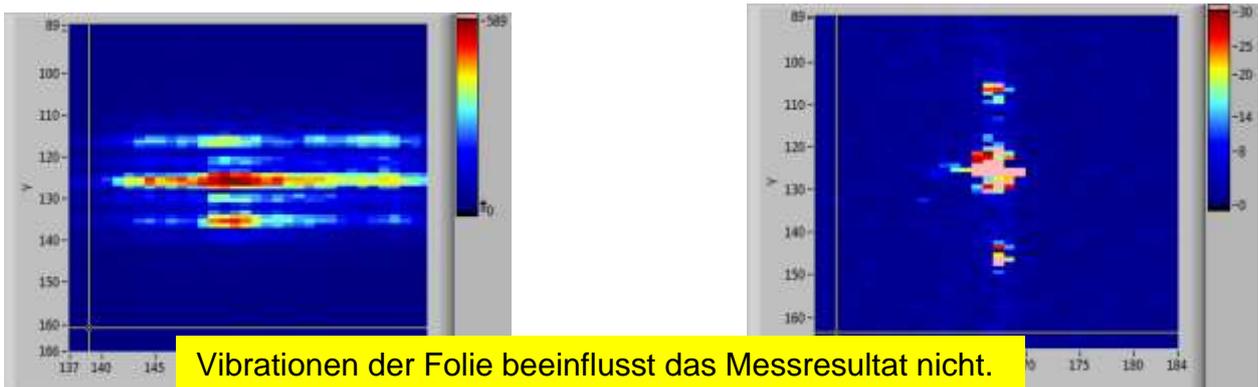
OCT im Vergleich zu andern Verfahren			LLM	LLM1			
Verfahren	CT	PC-CT	OCT	pOCT	PTR	HFUS	Bemerkung
Messkopf- Platzbedarf	1	1	2	2	2	1	mm Bereich
Anlage Platzbedarf	1	1	2	2	2	1	1 m2 +
Messgeschwindigkeit	1	1	2	3	1	1	1 Mio fps
Geometrische Ortsauflösung x Richtung	2	2	2	2	1	1	mü
Geometrische Ortsauflösung y Richtung	2	2	2	2	1	1	mü
Geometrische Ortsauflösung z Richtung	1	3	2	3	1	1	mü
3D Fähigkeit	2	2	2	2	1	1	
Schichtauflösung	3	3	2	2	1	2	Bis 12
Ausbauflexibilität	1	1	2	3	1	1	bis 90000
Anzahl Messorte mit einer Messung	1	1	2	3	1	1	bis 10000
Modularität	1	1	2	2	1	1	
Kosten	2	1	3	3	3	3	
Zellwände	1	2	2	3	1	1	
Kontrastreichtum	1	1	2	2	1	1	
Servicebedarf	1	1	2	2	1	1	
EPR, Partikeldetektion, PP, PE etc	1	1	2	2	1	1	
EVOH Detektion	1	1	2	2	1	2	
Nicht transparente Substrate	2	2	1	1	2	2	
Technische Robustheit	1	1	2	2	2	2	
Technischer Aufwand	1	1	2	2	2	3	
Betriebskosten	1	1	2	2	1	2	
Materialdickenvariation	2	3	1	1	1	2	
Dichteunterschiede	2	2	1	1	1	2	
Kleine Lufteinschlüsse	1	1	2	2	1	1	
Brechungsindex- Unterschiede	1	1	2	3	1	1	
Materialpartikel- Kontrast	1	1	2	2	1	1	
Schichtdicke	2	2	2	2	1	1	
Fachkraftbedarf	1	1	2	2	1	2	
Siegelnahtqualität	2	2	2	2	1	1	
Materialanalyse PP, PE, Andere	1	1	2	2	1	1	
Zuverlässigkeit	1	1	2	2	1	2	
Feuchtigkeit im Innern	1	1	1	1	2	1	%
Bauteilgeometrie	1	1	2	3	1	1	
Voxelabmessung	2	3	2	2	1	1	> 1 mü
Ersatzteile	1	1	2	2	1	2	
Legende:							
1 = weniger - kleiner - schlechter	2 = Mehr, grösser besser			3 = Top			
CT = Computertomografie (Röntgen)	fps = Frames per Second						
PC CT = Phasenkontrast CT	LLM1 = Lichtlaufzeitmessung (Adaption)						
OCT = Optical coherence Tomography	<p>Das OCT ist ein neues Verfahren das ein sehr grosses Anwendungspotential erschliesst. Die Geräte sind einfach zu bedienen und liefern präzise Resultate.</p> <p>Das OCT- Verfahren ist in der Medizin und in der Biologie seit vielen Jahren etabliert und unentbehrlich.</p>						
pOCT = Parallele OCT mit ASP							
LLM = Lichtlaufzeitmessung							
HFUF = Hochfrequentes Ultraschallverfahren							
PTR = Photothermal Response Verfahren							

3.3. Die Ausführung von Messanlagen

Heute ist das Interesse gross, die Qualitätskontrolle in der laufenden Produktion zu realisieren. Weil dafür konventionelle Messanlagen überfordert sind, werden noch viele Aufgaben „off Line“ bearbeitet. Das OCT- Verfahren ist jedoch diese Technologie, welche die bestehenden Anforderungen in Bezug auf die Geschwindigkeit und auf die geometrische Ortsauflösung erfüllt.

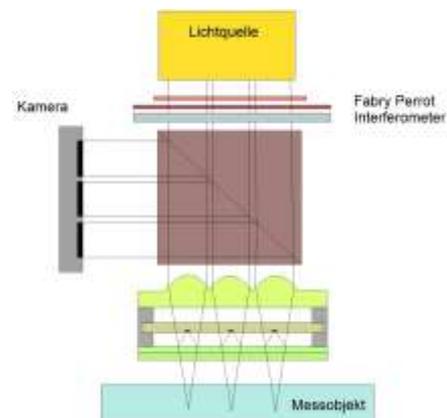
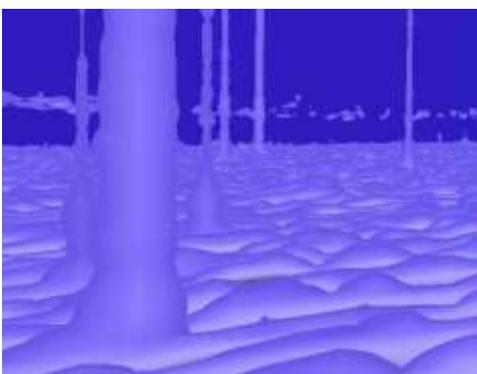
Auch bei bewegtem Messobjekt

Die Messung der Schichtdicke (Einzelschicht oder mehrschichtig) ist auch bei bewegten Objekten möglich wie die folgenden OCT- Bilder zeigen. Sie zeigen das Messergebnis auf einer 17 μm dicken Folie die vibriert und am Messkopf vorbei fährt. Das Bild links zeigt die Signale, die im Stillstand gemessen werden, das Bild rechts zeigt die Signale, die an der bewegten und vibrierenden Folie aufgenommen worden sind. Das Lichtlaufzeitverfahren ist von der Produktionsgeschwindigkeit und von der Vibration nicht abhängig, wenn die Messzeit der Messaufgabe (Geschwindigkeit, geometrische Auflösung) angepasst wird.



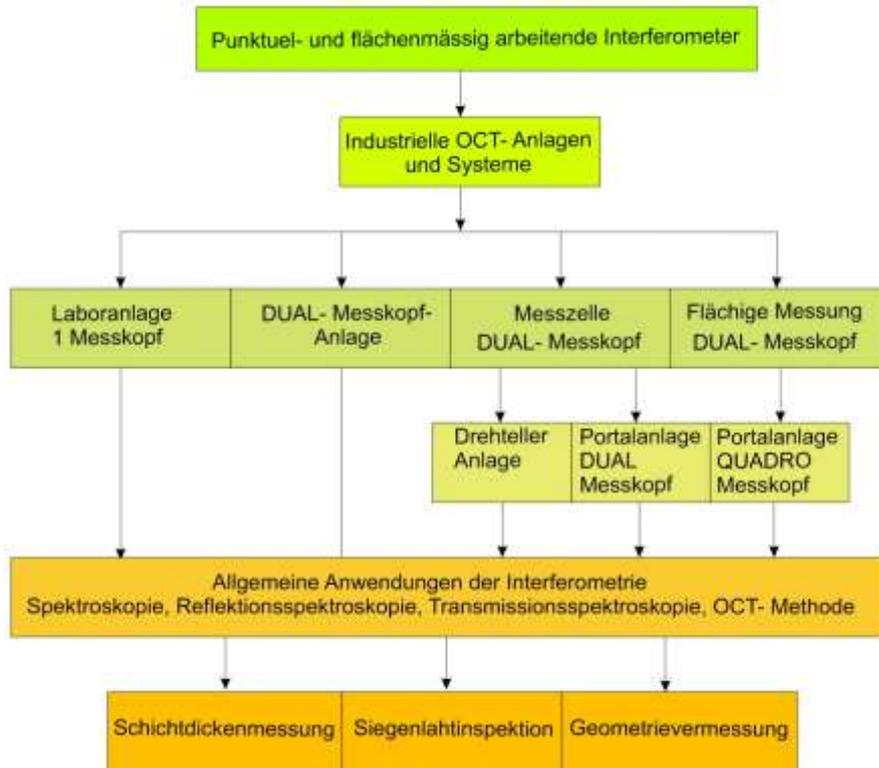
Die Auflösung der OCT- Systeme liegt im Sub- Mikrometerbereich und die Eindringtiefe in streuendes Material kann sogar 1 mm überschreiten. Komplexe 3D-Bilder werden durch Stitching quer über eine Probenoberfläche erstellt. Neben dem Michelson Interferometer haben auch andere Prinzipien Bedeutung erlangt.

Der Blick zwischen zwei Schichten



Das OCT- Messprinzip wird in verschiedenen Versionen angeboten. Durch MOEMS (**M**ikro-**O**pto-**E**lektro-**M**echanische-**S**ysteme) werden die Messkopfgeometrie und die Kosten für OCT Messanlagen bei höherer Messgeschwindigkeit und gleichbleibender

geometrischer Auflösung verkleinert. Unsere Messanlagen sind auf die in der folgenden Übersicht dargestellten Anwendungen ausgerichtet.



OCT Anlagen werden als Einzelplatz- Anlagen (Bild 1 vlnr) angeboten, als Anlagen mit einem DUAL Messkopf (Bild 2 vlnr), wo gleichzeitig bis zu 4 OCT Kameras Messaufgaben abarbeiten und als Anlagen, die eine tomografische Messung flächenmässig ausführen (Bild 4 vlnr). Zudem wird verschiedenes Zubehör zu den Anlagen angeboten. Satz mit problemangepasster geometrischer Ortsauflösung zum Beispiel in der Folienproduktion oder in der Siegelnahtinspektion, ermöglichen. (Grafik ganz rechts)

Einzelmesskopf- Anlage mit Grundsoftware.	DUAL- Messkopf Anlage mit Halterung für einzelne oder viele Bauteile inkl. Grund- sowie Zusatzsoftware.	Zubehör zu den OCT und Interferometer-Messanlagen mit Grund- und Zusatzsoftware.	OCT Anlagen für punktuelle oder vollflächige Messungen mit Grund- und Zusatzsoftware.
Einsatz im Labor oder als Tischanlage für Detailuntersuchungen an Organismen oder kleinsten Bauteilen.	Einsatz zur Qualitätsüberwachung und zur Produktionskontrolle im industriellen Umfeld.	Einsatz zum Qualitätsnachweis, zur Risskontrolle oder zur Vermessung vertikaler Ebenen inkl. der Software dazu.	Einsatz zur Microhole Inspektion zur Siegelnahtkontrolle und zur Schichtdickenmessung in der Produktion mit Grund- und Zusatzsoftware.

Zur den Messanlagen die einen Chip als Sensor verwenden (ASP Array mit 300* 300 Bildpunkten) bieten wir auch Punktensoren an, welche entsprechende Signale an einem einzigen Punkt messen und auswerten.

Anlagen mit Punktmessung		Analytik und Messtechnik zusammengeführt					
SemiF/SeniF und KreiF							
Typenbezeichnung	Wellenlänge in μm	Spektrometer, Sensor, Lichtquelle	Messbereich	Richtpreis Euro	GUI	Modellierung	Bemerkung
VIFS	400 bis 1100	Si Zeile 3600, Bildelemente, Halogen Lichtquelle	10 nm bis 75 μm	63000	Ja	Ja	Für transparente und halbtransparente Schichten, Anlage komplett, betriebsbereit.
UVVIFS	200 bis 1000	CCD Si Chip, 3600 Bildelemente, Deuterium /Tungsten - Halogen Lichtquelle	1 nm bis 75 μm (Option bis 150 μm)	65000	Ja	Ja	Für spektral zum Teil transparente Schichten
VIFSHR	700 bis 1100	Si 2048 Bildelemente Tungsten - Halogen Lichtquelle	1 μm bis 400 μm	70000	Ja	Ja	Für spektral zum Teil transparente Schichten
NIR_F	900 bis 1700	InGaAs Sensor 512 Bildelemente Tungsten Halogen Lichtquelle	50 nm bis 300 μm	75000	Ja	Ja	Für spektral zum Teil transparente Schichten
VIFSNIR	400 bis 1700	Si CCD, 3600 Bildelemente und InGaAs 512 Bildelemente, Tungsten.- Halogen Lichtquelle	10 nm bis 300 μm	78000	Ja	Ja	Für spektral zum Teil transparente Schichten
UVVIFSNIR	200 bis 1700	Si CCD, Sensor 2048 Bildelemente, InGaAs 512 Bildelemente, Deuterium Tungsten Halogen Lichtquelle	1 nm bis 300 μm	85000	Ja	Ja	Für spektral zum Teil transparente Schichten
VIFSXT	800 bis 870	Si 2018 Bildelemente Tungsten Halogen Lichtquelle	10 μm bis 1400 μm	95000	Ja	Ja	Für spektral zum Teil transparente Schichten
SeniFco	200 bis 1000	Sekundärmagnetfeld und ASP Array	10 μm bis 2000 μm	105000	Ja	Nein	Für opake und transparente Schichten
KreiF	200 bis 1000	Schall und ASP Array	10 μm bis 2000 μm	110000	Ja	Nein	Für opake und transparente Schichten
ValMagF	200 bis 1000	Magnetfeld und ASP Array	10 μm bis 2000 μm	110000	Ja	Nein	Für opake und transparente Schichten

Siehe weitere Modelle unter System Matrix, KPA und Geometrievermessung

Aus der Übersicht erkennt man, dass die Sensoren spektral unterschiedliche Eigenschaften aufweisen und auf bestimmte Anwendungen, zum Beispiel zur Messung ganz dünner Schichten, optimiert sind. Mit unserem Sensor- Sortiment messen berührungslos ab wenigen Nanometern bis in den mm- Bereich bis zu einer Produktionsgeschwindigkeit von mehr als einige Meter pro Sekunde.



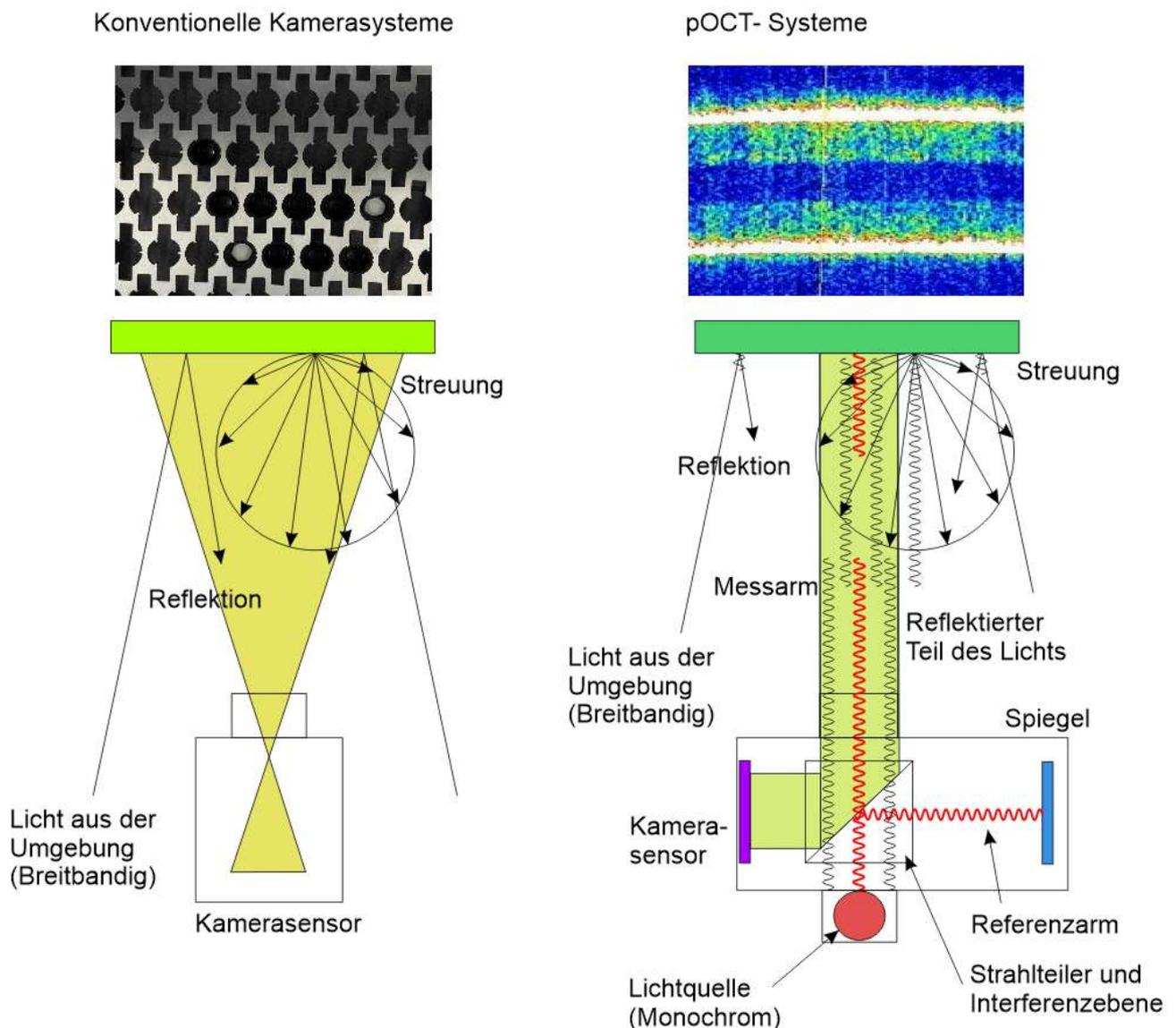
Punktmessanlage auf einer Führungsgabel und Messkopf in einer Ringblasmaschine.

3.4. Unterschiede zwischen konventionellen Kamerasystemen (Visualisierungskameras) und OCT Systemen

Im Gegensatz zu den konventionellen optischen Verfahren liefert das OCT- Verfahren nur Informationen, wenn sich Unterschiede im Brechungsindex zeigen.

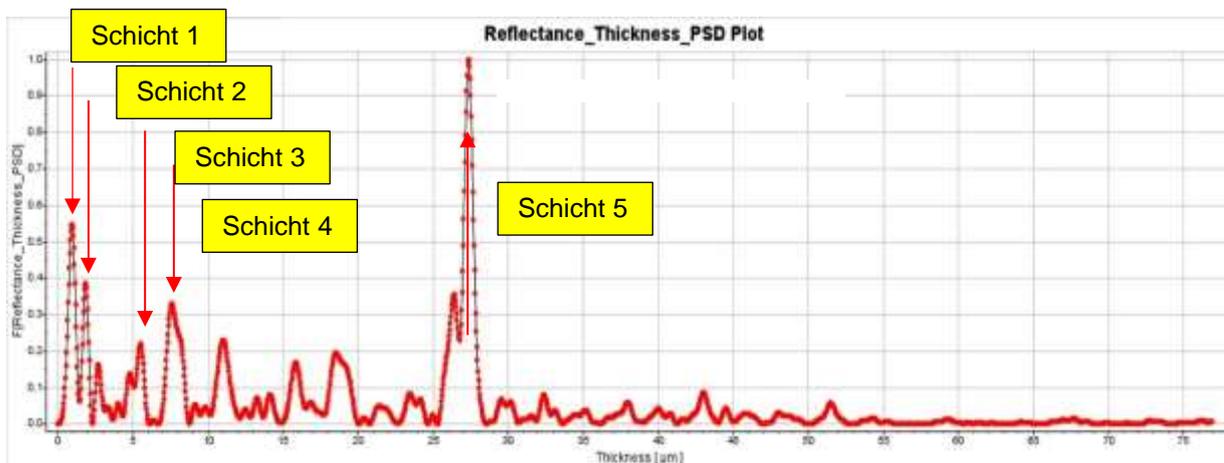
Konventionelle Visualisierungssysteme liefern ein Bild, das sich aus der Reflektion und der Streuung von Licht von einem Objekt zusammensetzt. Sie zeigen Grauwertunterschiede und sind demzufolge mehr oder weniger anfällig auf Licht aus der Umgebung respektive auf deren Einfallswinkel- oder Reflektionswinkel.

OCT- Systeme senden eine Lichtebene definierter Wellenlänge aus und vergleichen die Laufzeit des Messarms (Abstand zum Objekt) mit der Laufzeit der gleichen Welle auf dem Referenzarm. Aus der Auswertung der sich ergebenden Interferenzen zwischen dem Messarm und dem Referenzarm werden die Tiefenprofile berechnet.

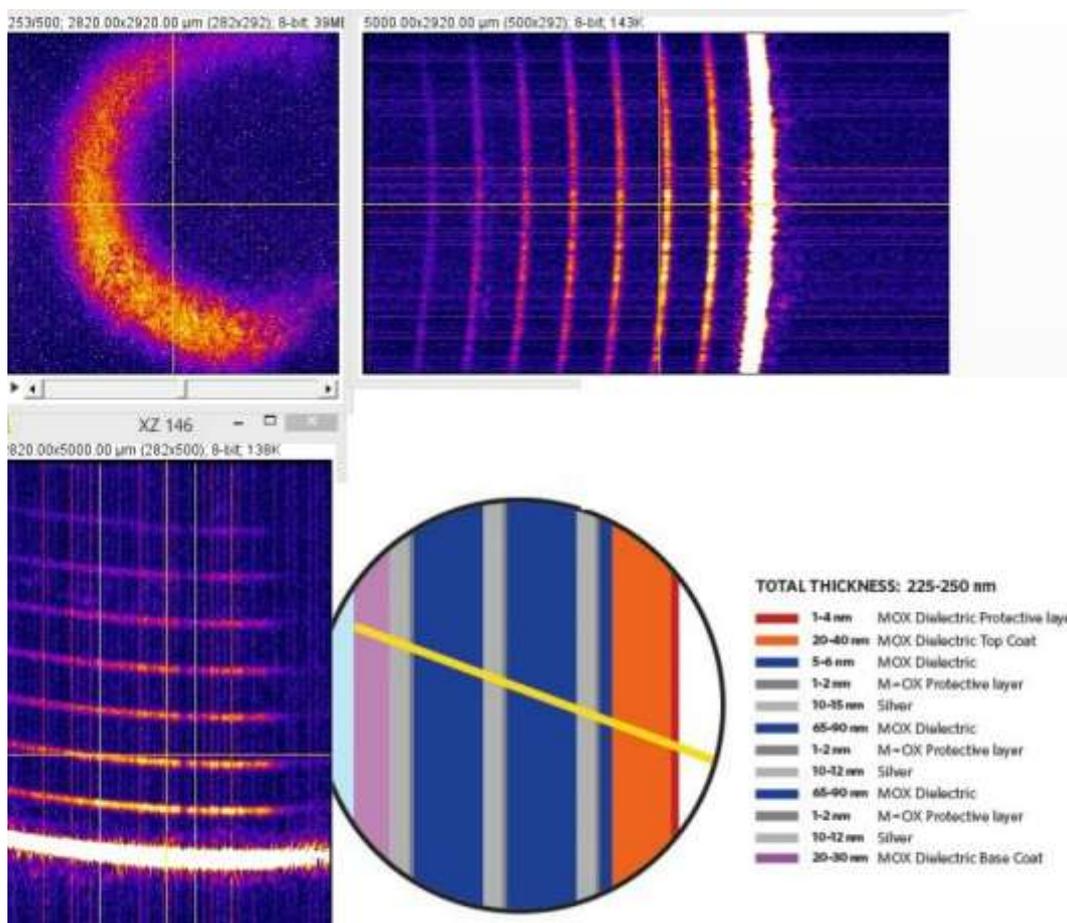


3.5. Resultat aus Messungen an dünnen Schichten:

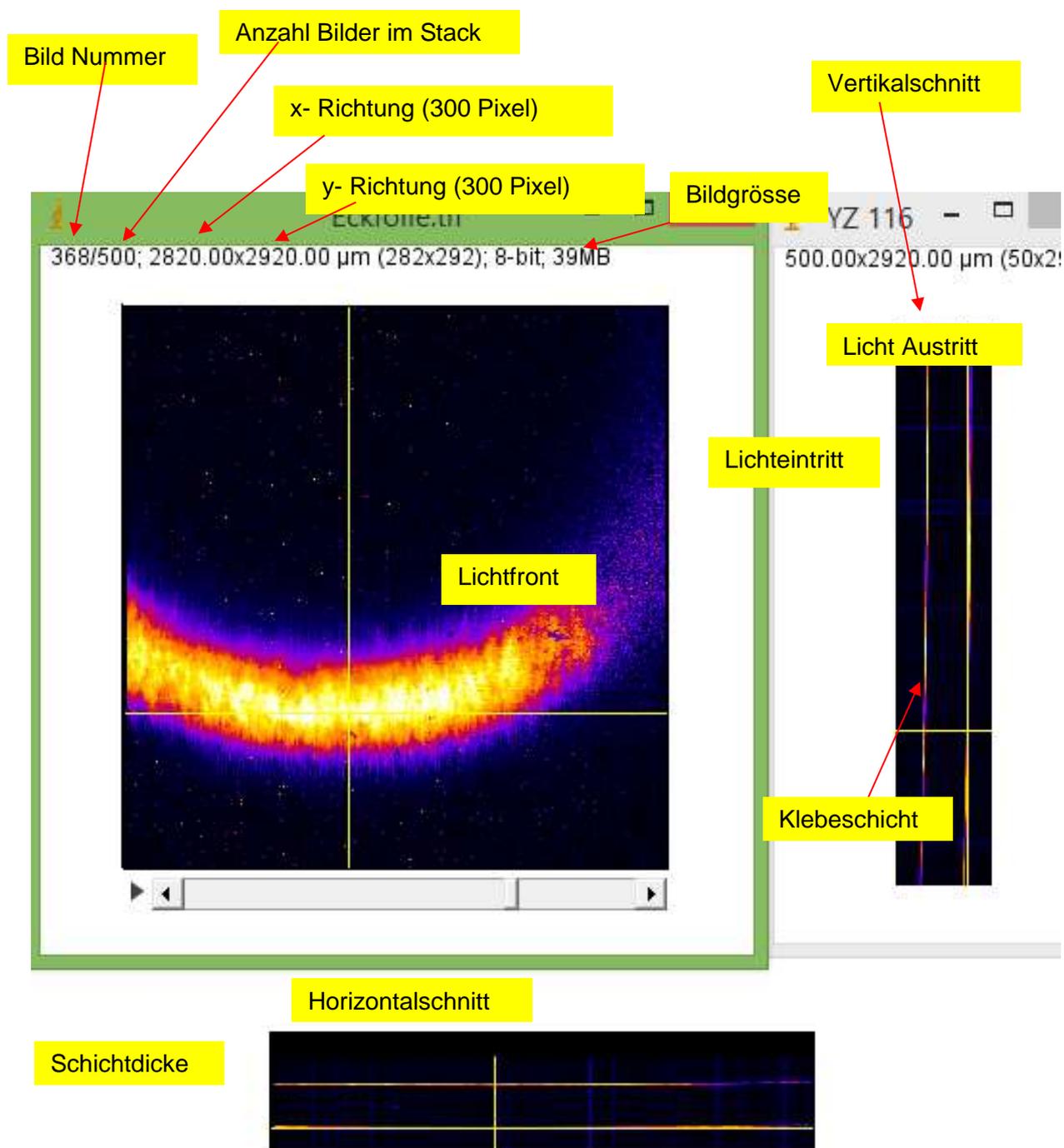
Resultate von praktischen Messungen an dünnen Schichten sind in der folgenden Grafik enthalten. Die Schichtdicken die gemessen wurden, liegen zwischen 1,9 Mikrometer und 10 Mikrometer. Dünne Schichten (Deutlich unter 1 Mikrometer) können mit interferometrischen Verfahren und der Signalmodellierung reproduzierbar gemessen werden.



Mit interferometrischen Verfahren werden Schichtdicken im Nanometerbereich exakt und reproduzierbar



3.6. Zum Lesen der in einem OCT Bild enthaltenen Informationen:

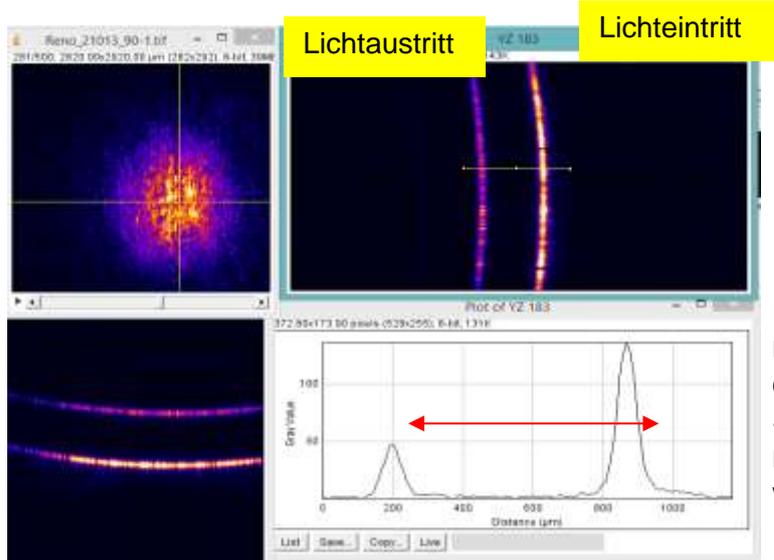


Im Bild oben zeigt sich die Lichtfront. An jeder Schichtgrenze werden solche Lichtfronten gemessenen. Daraus lassen sich die Schichtdicken ableiten. Erfasste Daten werden so abgespeichert, Zusatzdaten (Einstellungen, Datum, Zeit, x,y, und z- Auflösung) dass jederzeit Ergebnisse ausgewertet werden können.

3.6.1. OCT- Messung mit verschiedenen Lichtquellen

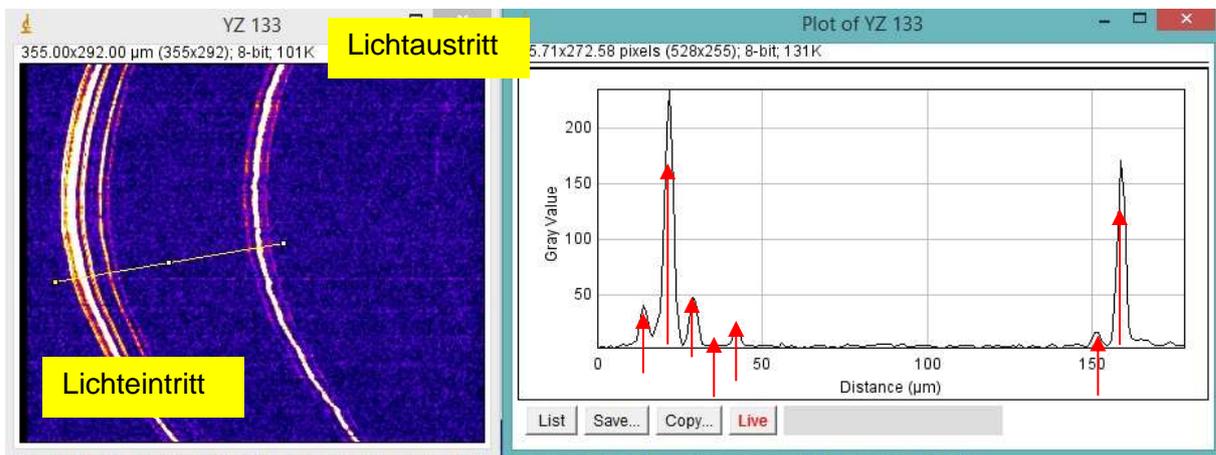
Bei der OCT Methode wirkt sich der Spektralbereich und spektrale Breite der Lichtquelle auf die Kohärenzlänge aus. Die Kohärenzlänge beeinflusst die Auflösung des OCT- Systems in der Tiefe. Der Wechsel von einer Wellenlänge zu einer andern Wellenlänge oder der Wechsel der lateralen Ortsauflösung von 0,8 μm auf 10 μm oder 80 μm dauert nur Sekunden.

Mit der Lichtquelle A werden in dieser Folie nur 2 Schichten erkannt.



Mit der Lichtquelle A sind nur zwei Schichten deutlich erkennbar, weitere Schichten können nur noch analytisch aufgelöst werden.

Mit der Lichtquelle B werden in der gleichen Folie 6 Schichten erkannt.

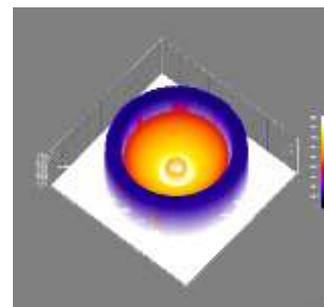
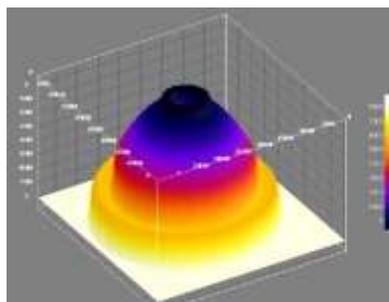
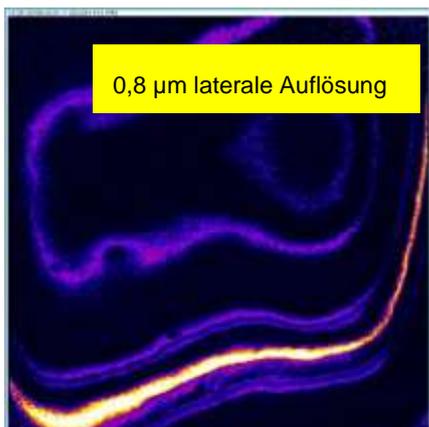


Mit Lichtquelle B sind alle einzelnen Schichten in der Multilayerfolie sehr gut erkennbar. PET, SiO_x , Kleber, Basisfolie 1, Basisfolie 2, Basisfolie 3.

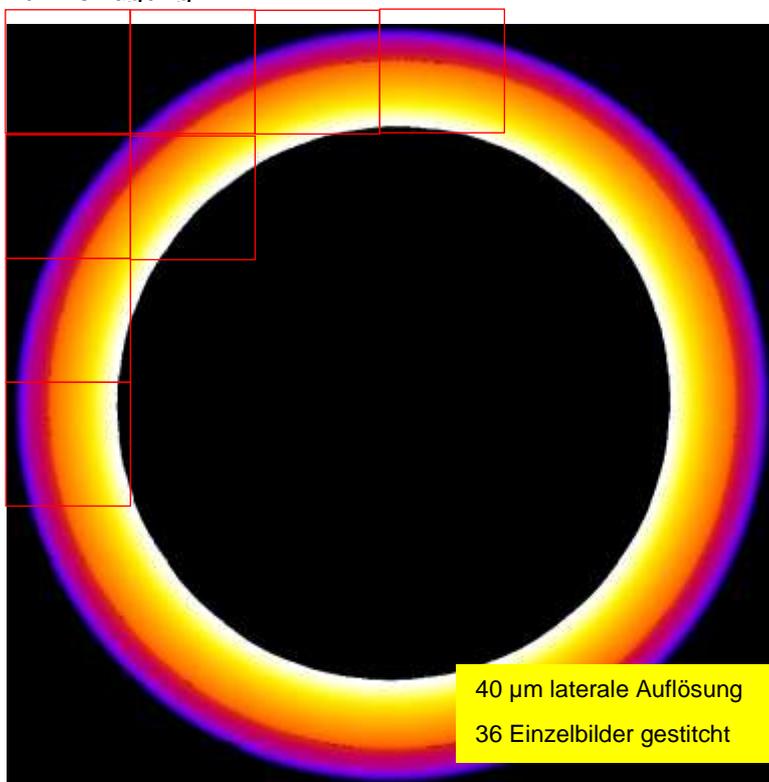
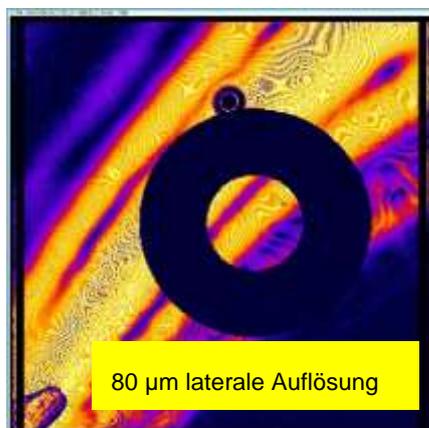
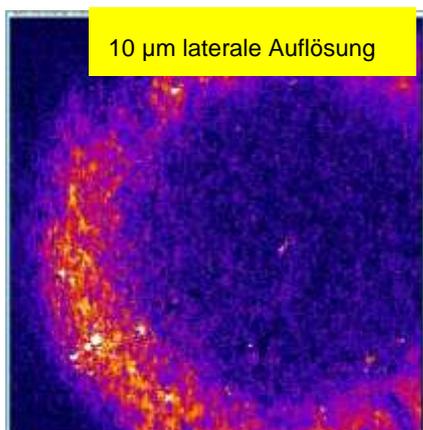
Gesamtdicke der Folie	200 μm
PET Schicht	12 μm
SiO_x	nm. Bereich, nur Reflektionsschicht erkennbar.
Kleber	4 μm
Basisfolie 3- schichtig 1,2,3	10 μm , 149 μm , 25 μm

3.6.2. Laterale Ortsauflösung in z- Richtung

Weil beim OCT- Verfahren die laterale Ortsauflösung nur von der Apertur der verwendeten Optik abhängt, können bei gleichem Kameramodul verschiedene laterale Auflösungen genutzt werden. Die kleinste laterale Auflösung liegt im bei etwa $0,8 \mu\text{m}$. Linsen mit einer lateralen Auflösung (Grösse eines einzelnen Bildpunktes im OCT- Bild) von $0,8 \mu\text{m}$ bis $80 \mu\text{m}$ wurden schon in industriell eingesetzten OCT- Anlagen eingebaut.

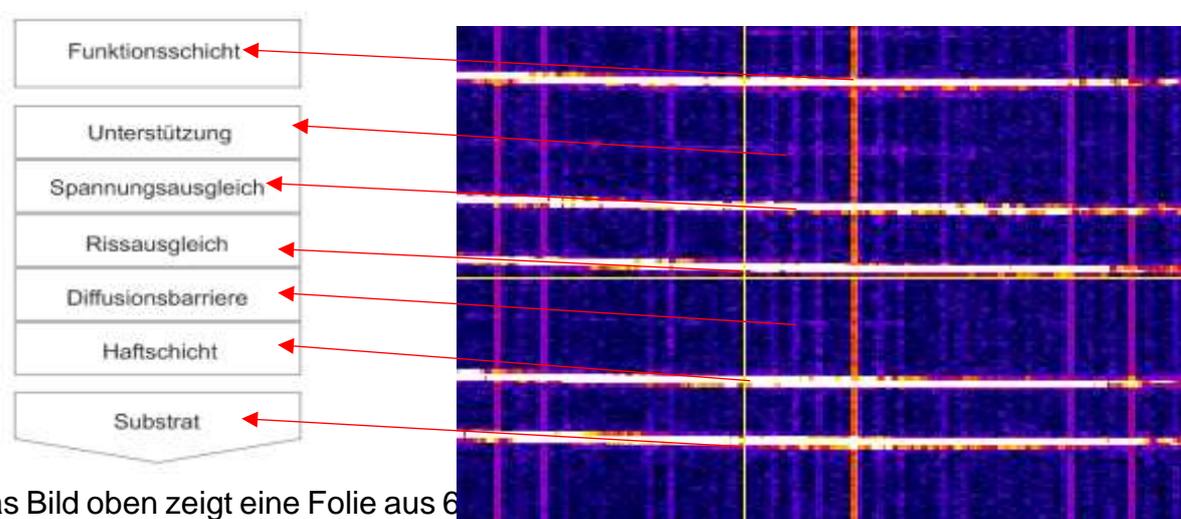


Bei grossen Bauteilen, werden einzelne OCT- Bilder zu einem Gesamtbild zusammengefügt (Gesticht) und der Auswertung zugeführt. Dadurch stehen dem Ingenieur bereits in der Verfahrensentwicklung flächige OCT- Daten oder auch 3D- Bilder mit höchster geometrischer Auflösung zur Verfügung.



4. Schichtdickenmessung

Im BMFT- Abschlussbericht „Folienbeschichtung“ haben Europäische Hersteller von Folien erkannt, dass durch eine konsequente Weiterentwicklung der Folien für die Verpackung von Nahrungsmitteln ein grosses Potential zur Kosteneinsparung erschlossen werden kann. Während Folien auf dem aktuellen Stand zwischen 70 – 80 Mikrometer dick sind können zukünftig Folien mit einer Dicke von 50 bis 60 Mikrometer erzeugt werden, welche mindestens gleiche, wenn nicht bessere Anforderungen erfüllen. Moderne Verpackungsfolien bestehen aus mehreren Schichten. Die Schichten werden direkt warm ineinander produziert sodass am Ende der Produktion eine einzelne Folie entsteht, die aus mehreren Schichten besteht.



Das Bild oben zeigt eine Folie aus 6 Materialverbrauch produziert man auf einer modernen Anlage effizienter und erschliesst sich hohe wirtschaftliche Vorteile wenn man bedenkt, dass eine Schicht, die nur um 1 Mikrometer zu dick hergestellt wird, jährlich zu einem Kunststoff- Mehrverbrauch von fast 40 Tonnen führt.

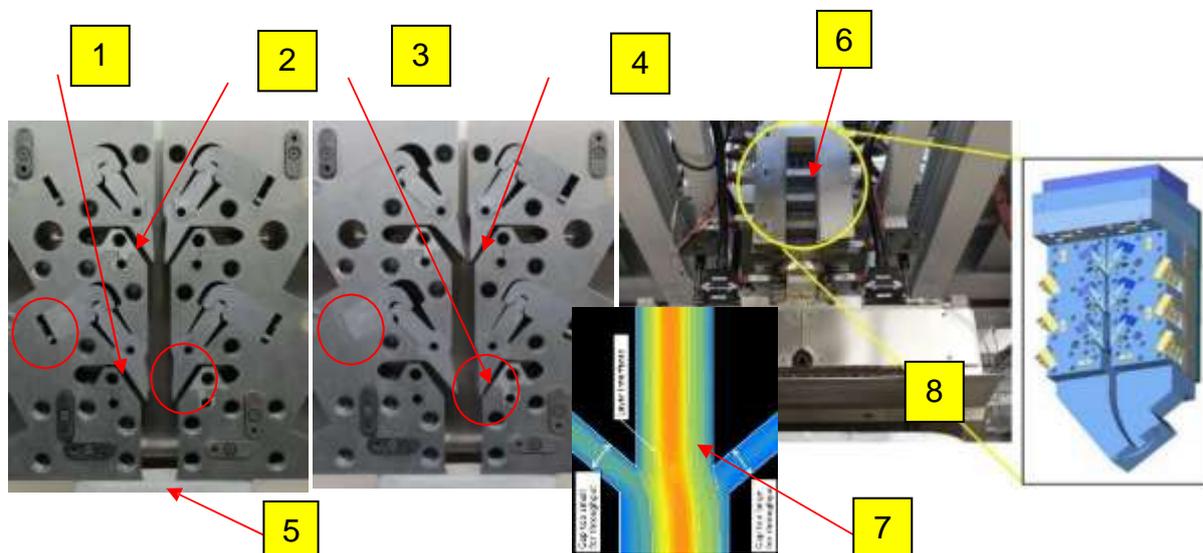
Nicht nur Folienhersteller, auch Verpacker von Nahrungsmitteln sind gefordert, denn eine undichte Siegelnaht in einer Nahrungsmittelverpackung führt zu schier unkontrollierbaren Kosten. Sei es als **Kunde** als **Verteiler**, als **Verarbeiter** oder als **Erzeuger**, jeder ist daran interessiert, dass die Funktion der Folien jederzeit sichergestellt ist und die Verpackung die Haltbarkeit des Produktes auch jederzeit gewährleistet.

4.1. Herstellen von Folien:

Verschiedene Produkte werden aus einer mehrschichtigen Kunststoff- Folie geformt. Die Folien bestehen aus unterschiedlichen Kunststoffen denen auch Recycling- Material eingestreut wird. Die Herstellung der Verbundfolien erfolgt über eine Breitschlitzdüse, der Material über verschiedene Extruder zugeführt wird. Die unten stehenden Abbildungen zeigen das Prinzip von Reifenhäuser, um mehrlagige Folien aus einzelnen Kunststoffen warm zu einer ganzen Folie zusammen zu fügen.

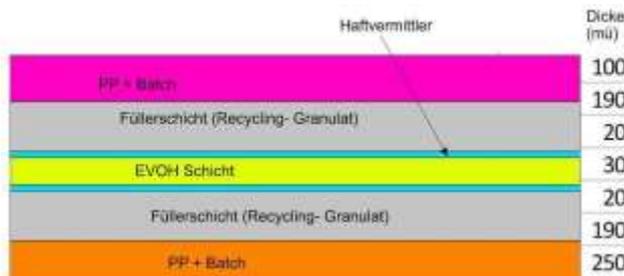
Die Zonen, bei welchen die erhitzte Kunststoffmasse dem Prozess zufließen (1, 2, 3,4), können durch Veränderung des Querschnitts über die Stellschrauben (6) so eingestellt

werden, dass jeder Schicht auch die gewünschten Kunststoffmassen aus dem Extruder zufließen. Am Ausgang des Extruders (5) treten die Kunststoffschichten als Gesamtschicht, die aus warm ineinander produzierten Einzelschichten besteht, der Breitschlitzdüse (8) zu.



Durch die Messung der einzelnen Schichten können die Dicken der Folien optimal produziert werden. Bei einer Gesamtdicke einer 7-schichtigen Folie von 800 µm sind die einzelnen Schichten wie folgt:

Aussenschicht PP		100 mü
Mahlgut (Mix)		190 mü
Haftvermittler EVOH		20 mü
Schicht Haftvermittler		30 mü
Mahlgut (Mix)		20 mü
Innenschicht, PP		190 mü



Aus der mehrschichtigen Folie werden in der Folge Gebrauchsartikel (Kapseln für Kaffee oder Nahrungsmittelschalen) geformt. In der „Verpackung“ in Form einer Kapsel wird Recycelmaterial als Mahlgut, das aus einem Gemisch der einzelnen Kunststoffarten besteht, als Füllmaterial verwendet.

4.2. Gasbarrieren in Folien

Folien werden unterschiedlich hergestellt. Einige der heute gebräuchlichen Folien sind in der Folge aufgeführt. Grundsätzlich müssen bei der Herstellung die Materialdicke, die Dicke der Gasbarriere und die Lage derselben bekannt sein.

Ist die Gassperrschicht im Innern einer Folie zwischen Recyclingmaterial eingebettet, liefert das OCT Verfahren keine Informationen mehr, weil oft das Füllprodukt stark streut.

Hier wird ein Verfahren mit einer grösseren Wellenlänge eingesetzt. H-FUS (Hochfrequente Ultraschalltechnik) Die Gasbarriere liefert ein reproduzierbares Signal woraus die Dicke ausgewertet werden kann.

4.2.1. Messresultate

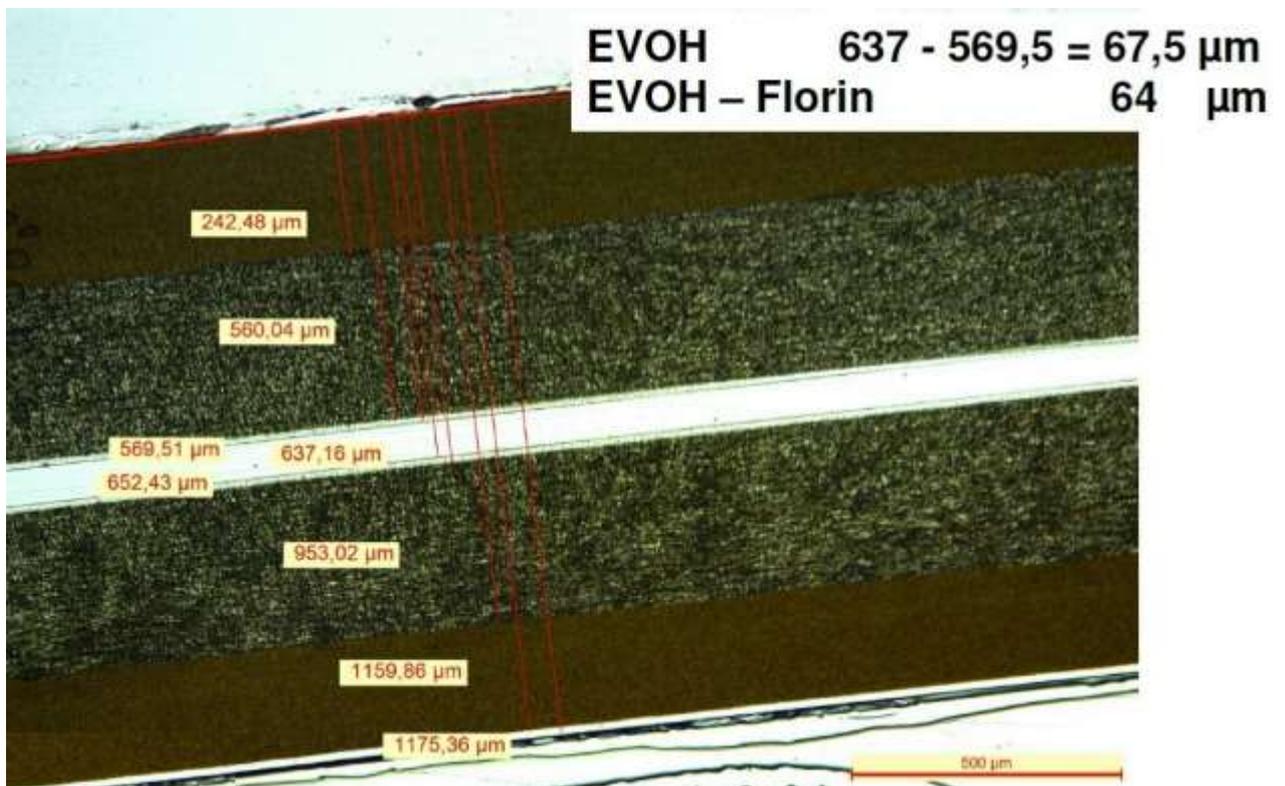
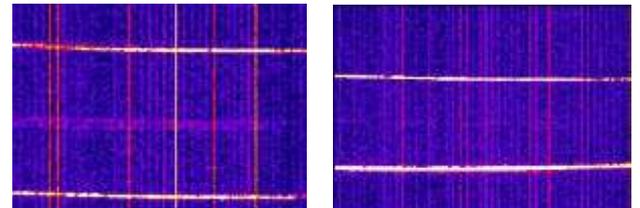
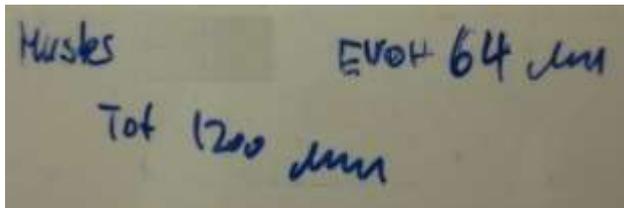
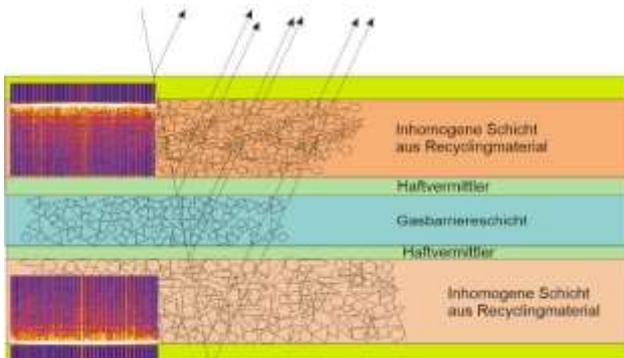
Wir haben mehrlagige Folien welche zur Produktion von Kapseln und Schalen verwendet werden, mit unseren neuen Systemen zerstörungsfrei vermessen. Zur Bestätigung der Resultate hat wurden Mikrotomschnitte erstellt und die Messresultate bestätigt.

4.2.1.1. Beispiel 1, Folie Creme

Bei dieser Anordnung ist die Gassperrschicht im Innern der Folie zwischen Mahlgut eingebettet.

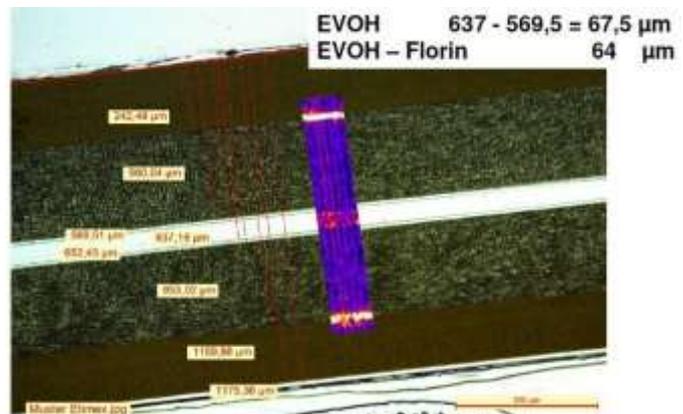
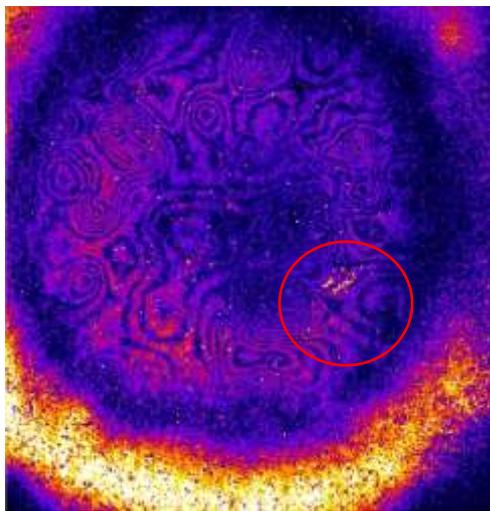
Im Bild links sind die Schichten dargestellt, unten links ist das Messresultat angegeben und unten ist der Mikrotomschnitt mit den Resultaten.

Die Dicke der Folien wird mit einem einzigen Lichtpuls gemessen. (Bilder unten)



4.2.1.4. Vermessung der Gasperrschicht in einem Kunststoff- Bauteil.

(Folie, Kaffeekapsel, Cup oder Behälter)



OCT Datensatz

OCT- Resultat der Vermessung der Dicke der Gasperrschicht in einem Kunststoff- Film
Die Dicke jeder Schicht in einer Folie die aus mehreren Schichten besteht kann mit einem einzigen Lichtpuls gemessen werden.

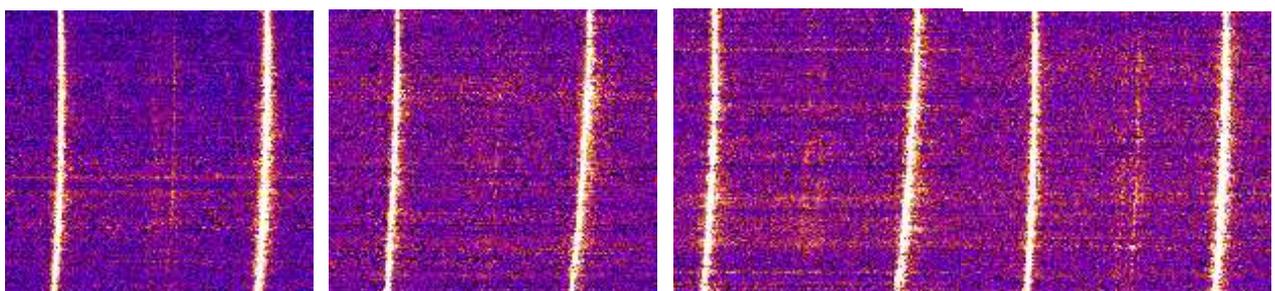
Ob Folien für Nahrungsmittelschalen, für Kaffeekapseln, für Esswaren oder für hochwertige Kunststofffilme, in jedem Falle sind bei der Herstellung Informationen zur Dicke der einzelnen Schichten im Schichtstapel erwünscht.

Zur Messung der Dicke von einzelnen Schichten in Mehrschichtfolien lassen sich spezielle optische Verfahren einsetzen die auch bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten und bei flatternden Folien die Dicke jeder Schicht messen.

Um den Materialeinsatz zu minimieren, aber die Funktionen des Produktes in jedem Falle zu gewährleisten, sind Hersteller gezwungen, die Schichten in den Folien mit immer geringerer Dicke und mit höchster Genauigkeit zu produzieren. Die Dicke von Klarlackschichten, von Gasperrschichten oder von Haftvermittlerschichten sind Qualitätskriterien, die überprüft, nachgewiesen und bei Abweichungen, dokumentiert oder sogar korrigiert werden müssen.

4.2.1.5. Gasperrschichten nach dem thermischen Umformen.

Die Gasperrschicht im OCT Bild erscheint sehr different. In der Folge sind einige Rfesultate aus realen Messungen enthalten. Sie zeigen gut ausgebildete Gasperrschichten und solche, die stark ausgedünnt sind.



Sperrschicht vorhanden

Sperrschicht minimal

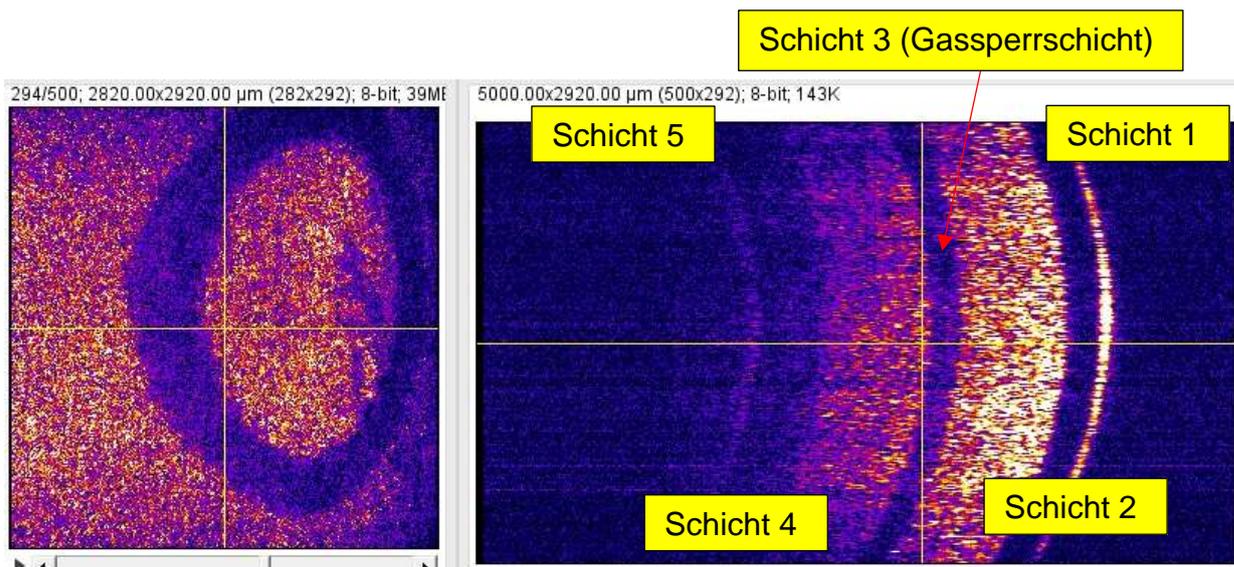
Sperrschicht ausgedünnt

Sperrschicht vorhanden

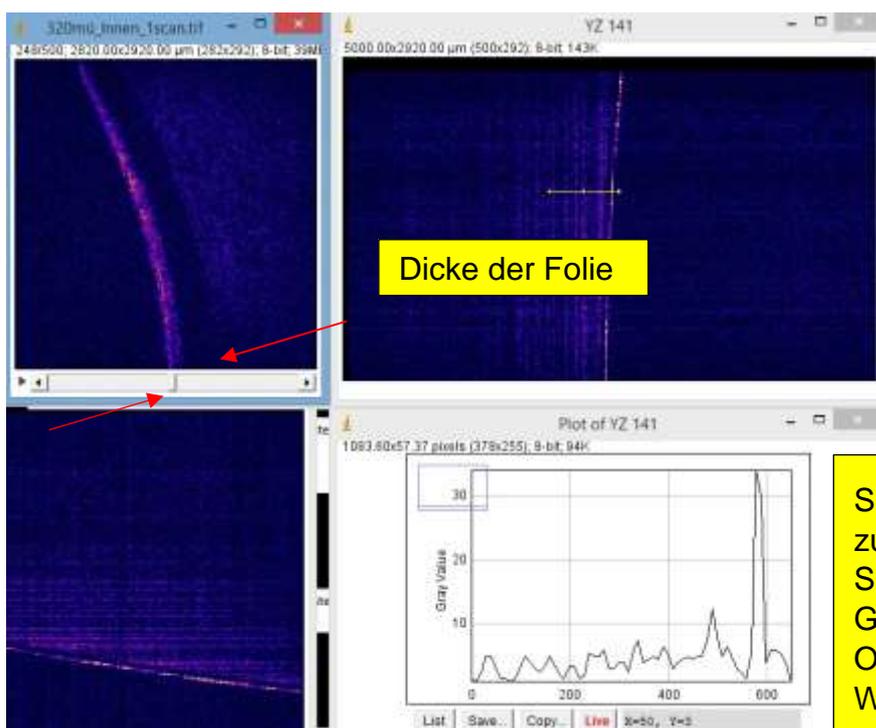
4.2.1.6. Folien für Kaffeekapseln und Nahrungsmittelschalen

Mit der Erkundung der Dicke der Gassperrschichten öffnet sich eine neue Möglichkeit zur Steigerung der Wertschöpfung an bestehenden Anlagen.

Das OCT- Bild wurde an einer fertig ausgeformten, nicht transparenten Kaffeekapsel aufgenommen und zeigt die Dicke der äusseren Schichten sowie die Dicke der einzelnen Schichten in der Folienkonstruktion und auch die Dicke der Gassperrschicht. Der Haftvermittler wurde in dieser Aufgabenstellung nicht gemessen.



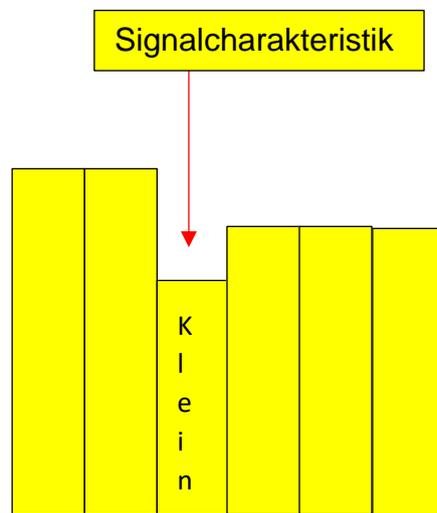
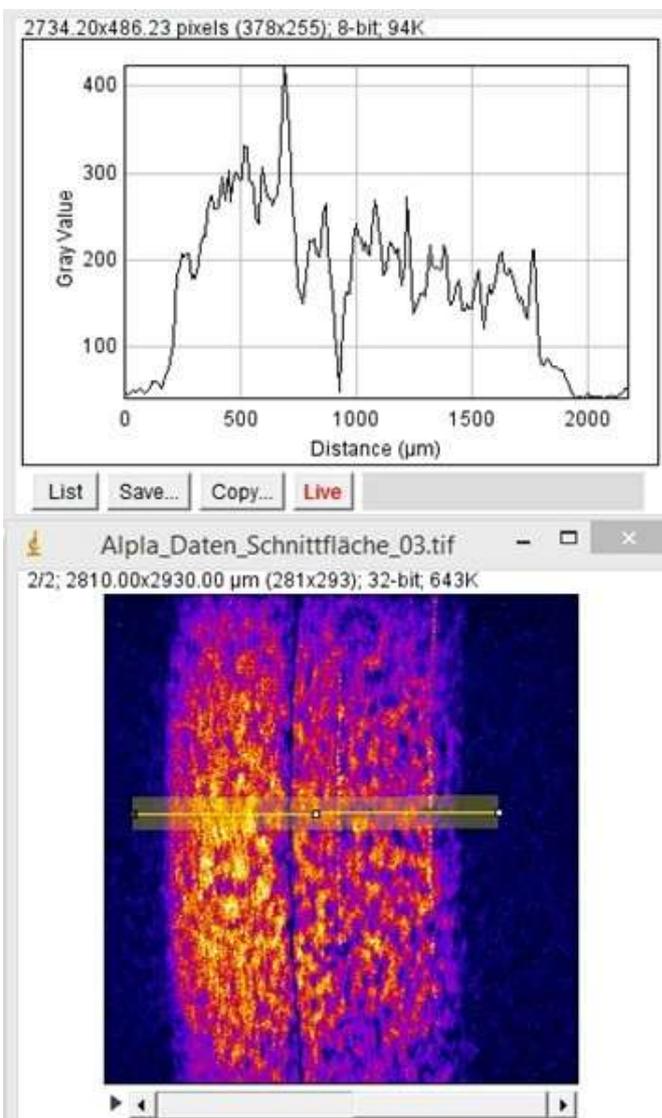
Weil die Schichtfolgen zum Teil sehr unterschiedlich sind und damit die Identifikation einer Ursache mit grosser Sicherheit gelingt, werden OCT Messungen von beiden Seiten der Kapsel (Respektive der Folie) vorgenommen. Zudem wird die Lichtquelle den gestellten Anforderung angepasst.



Sie finden viele Informationen zur Schichtdickenmessung zur Siegelnahtinspektion und zur Geometrievermessung mit dem OCT Verfahren auf unserer Webseite.

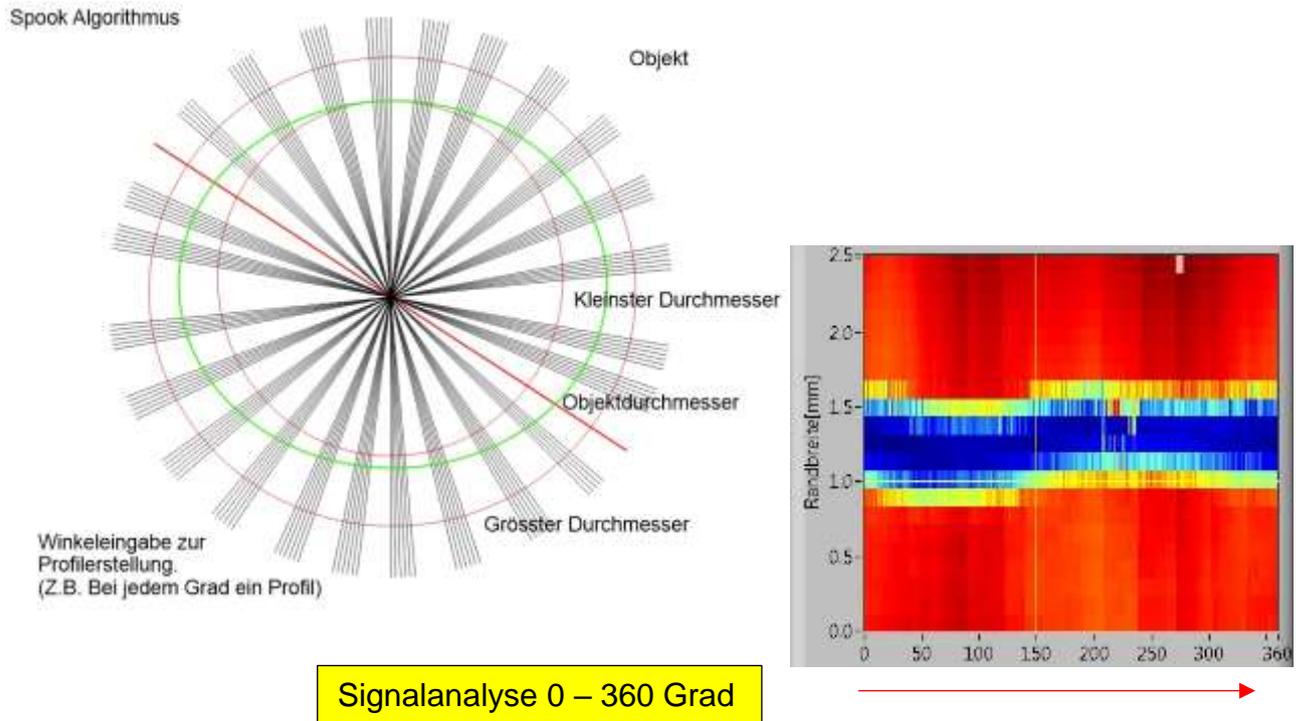
4.2.1.7. Feststellen von Ziehstreifen in der Gasperrschicht in einer Folienkonstruktion!

Bei der Produktion von mehrlagigen Folien muss die Gasperrschicht überwacht werden um sicherzustellen, dass kein „Ziehstreifen“ die Schicht unterbricht. Da die Materialien um die Gasperrschicht herum ähnlich sind und Unterbrüche von 100 µm noch festgestellt werden sollen, ist eine objektive Prüfung durch die ganze Konstruktion hindurch kaum möglich. Deshalb werden in zeitlich festgelegten Abständen Proben aus der Produktion aufgeschnitten, sodass der Querschnitt unter dem OCT- Messkopf vermessen werden kann. Während die Kunststoffschichten nur schwach unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen hebt sich die Gasperrschicht jedoch deutlich ab. Das schmale, schwarze Band im OCT Flächenscan zeigt die Breite der Gasperrschicht.



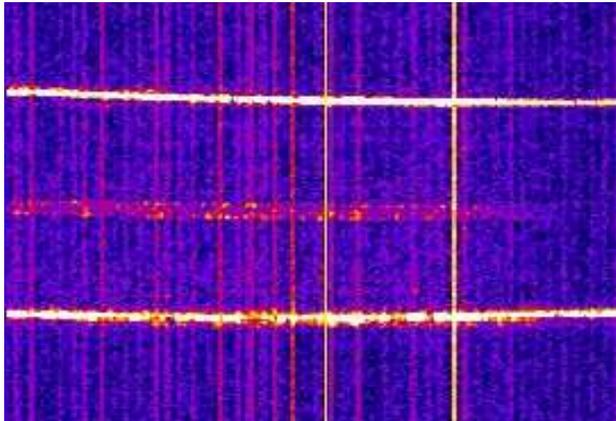
Oben ist das Querprofil des zurückreflektierten Lichts aus dem Querschnitt des Behälters entlang der horizontalen Linie im OCT- Flächenbild dargestellt. Im Bereich der Gasperrschicht ist das Signal klein. Abstände von 50 Mikrometer werden noch sicher erkannt. Zur Auswertung der Signale empfehlen wir den Spoke Algorithmus von

0- 360°, den wir bereits bei der Vermessung von Kaffeekapseln zur Feststellung von Fehlern im Siegelbereich anwenden. Die Auswertekriterien werden den realen Anforderungen angepasst.

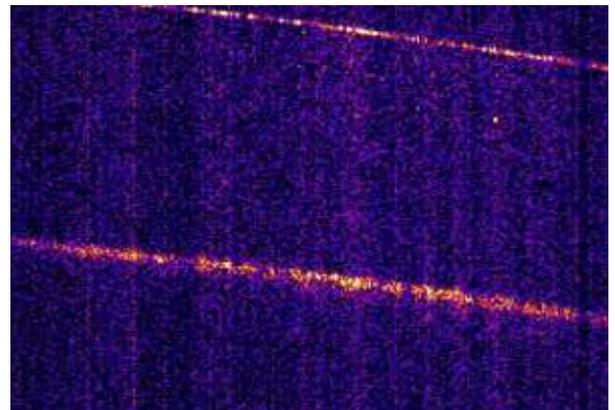


Weil die Vermessung mit hoher geometrischer Auflösung erfolgt, werden fehlende Gassperrschichten von 100 Mikrometer sicher erkannt.

4.2.1.8. Wir messen berührungslos und zeigen sofort auf!



Gasperrschicht vorhanden



Gasperrschicht nicht vorhanden

Wir vermessen die Dicke von Gasbarriere- oder Haftsichten zwischen Folien. Die zwei OCT- Bilder oben zeigen eine vorhandene Gasperrschicht (Bild links) und eine fehlende respektive stark ausgedünnte Gasbarriereschicht Bild rechts).

Die Mikroskopaufnahmen unten zeigen die Situation im Normalbild. Bei fehlender Gasbarriere- oder Haftsicht fallen die Schichten nach dem Umformen auseinander.



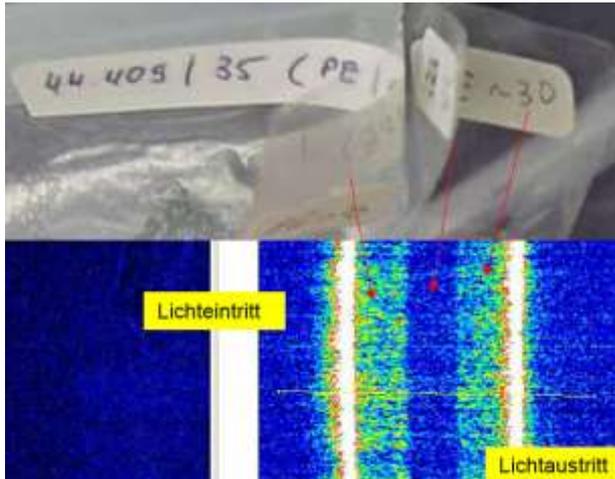
Vorteile der OCT- Messverfahren

- Berührungslos
- Zerstörungsfrei
- Hohe Störsicherheit (passiv wie aktiv)
- Hohe geometrische Auflösung
- Schnelle Datenerfassung
- Geringer Platzbedarf

4.3. Nahrungsmittel- Verpackungsfolien

Ist die Schichtdicke einer Folie nicht bekannt oder fehlt eine Folie in einem Folienverbund, kann sich das auf unterschiedlichste Art und Weise auswirken. (Gasdiffusion, Festigkeit, optische Erscheinung)

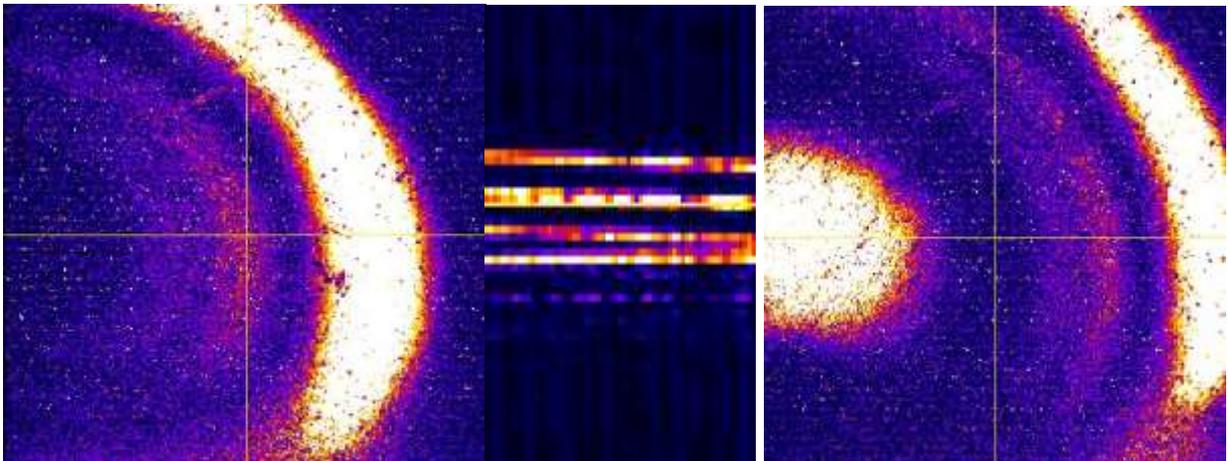
Bei Verpackungsfolien die aus mehreren Lagen bestehen ist es notwendig, dass die Eigenschaft jeder einzelnen Folie gewährleistet ist. Dieser Nachweis gelingt nur mit modernster Messtechnik



Ist die Schichtdicke einer Folie nicht bekannt oder fehlt eine Folie in einem Folienverbund, kann sich das auf unterschiedlichste Art und Weise auswirken. (Gasdiffusion, Festigkeit, optische Erscheinung)

Bei Verpackungsfolien ist es notwendig, dass die Eigenschaft jeder einzelnen Folie nachweislich gewährleistet werden kann. Dieser Nachweis gelingt vollständig nur noch mit absolut modernster Messtechnik.

Ein einziger Lichtpuls genügt bereits um jede Schicht in einer Folie völlig berührungslos und „Mikrometergenau“ zu vermessen.



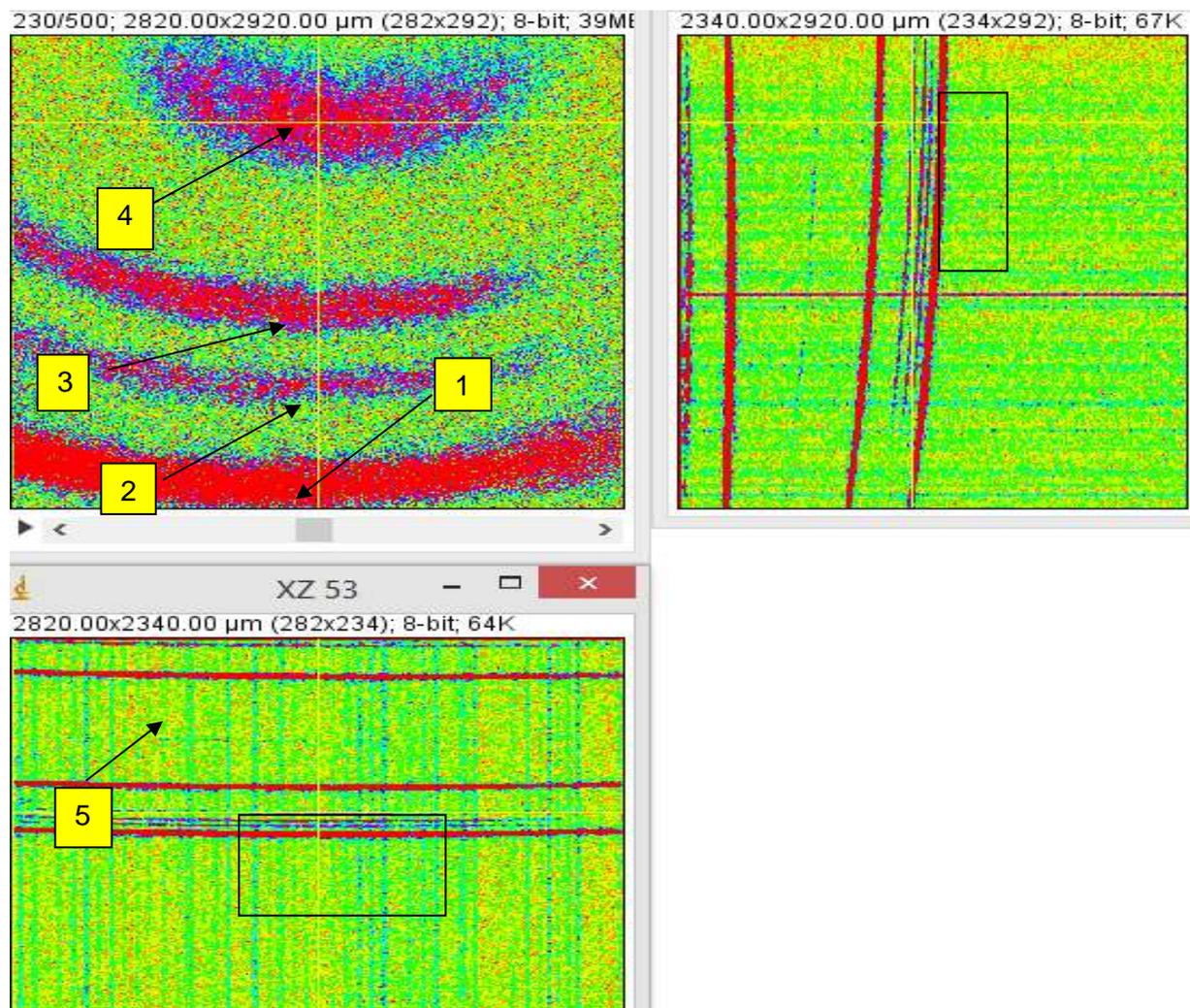
Die Bilder oben zeigen das Messresultat auf einer Folie die wie folgt zusammengesetzt ist: **PA-HV-PA-EVOH-PA-HV-LD-LD-LD**.

Bild links zeigt die Lichtfront beim Eintritt, das Bild rechts zeigt die Lichtfronten im Innern der Schicht und das Bild in der Mitte zeigt einen Schnitt durch den Stack von 500 Bildern. Jede „Lichtfront“ zeigt an den Übergängen zwischen den Schichten partiell mehr oder weniger reflektierte (oder gestreute) Photonen mit Lichtgeschwindigkeit. Aus der Laufzeit der Photonen wird die eigentliche Schichtdicke berechnet.

Die Laufzeitmessung mit Schall ist aus der Akustik längst bekannt. Die Lichtlaufzeitmessung ist modernste Messtechnik, sie ist 1000-mal schneller und 1000-mal exakter als akustische Verfahren.

Messungen an mehrlagigen Folien

Bei dieser Folie handelt es sich um eine Mehrschichtige Folie bestehend aus 4 einzelnen Folienlagen. Als dicker breiter Streifen sieht man den Lichteintritt, die Oberseite der ersten Folie (1), darauf folgend die mittleren drei "Lichtspuren". Der Abstand zwischen den "Lichtfronten" entspricht der Foliendicke in Mikrometer.

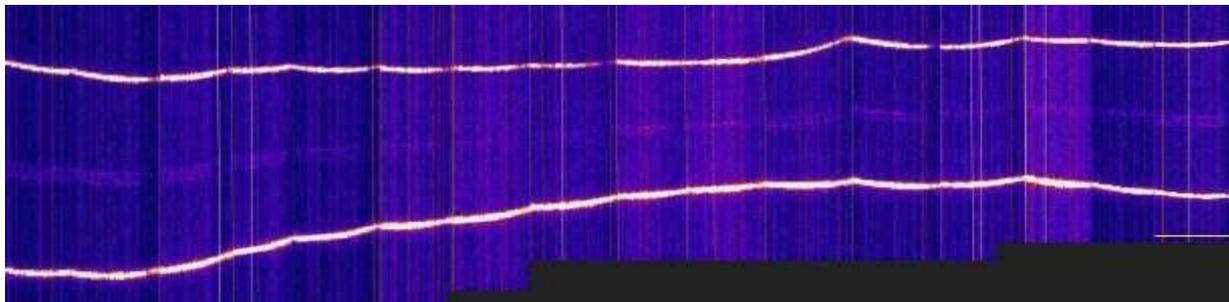


Bedenkt man, dass eine um 1 Mikrometer zu dicke Schicht jährlich mehrere 10'000 Euros kostet, erkennt man, dass die selektive Schichtdickenmessung an Kunststoff-Folien folgende Vorteile erschliesst:

- ➔ Minimalen Rohstoffverbrauch
- ➔ Maximale Nutzung der Produktionsmaschinen
- ➔ Bedeutende Steigerung der Wertschöpfung
- ➔ Höhere Rendite
- ➔ Bessere Nutzung der personellen Ressourcen

4.4. Messung der EVOH Schicht in einer Nahrungsmittelschale

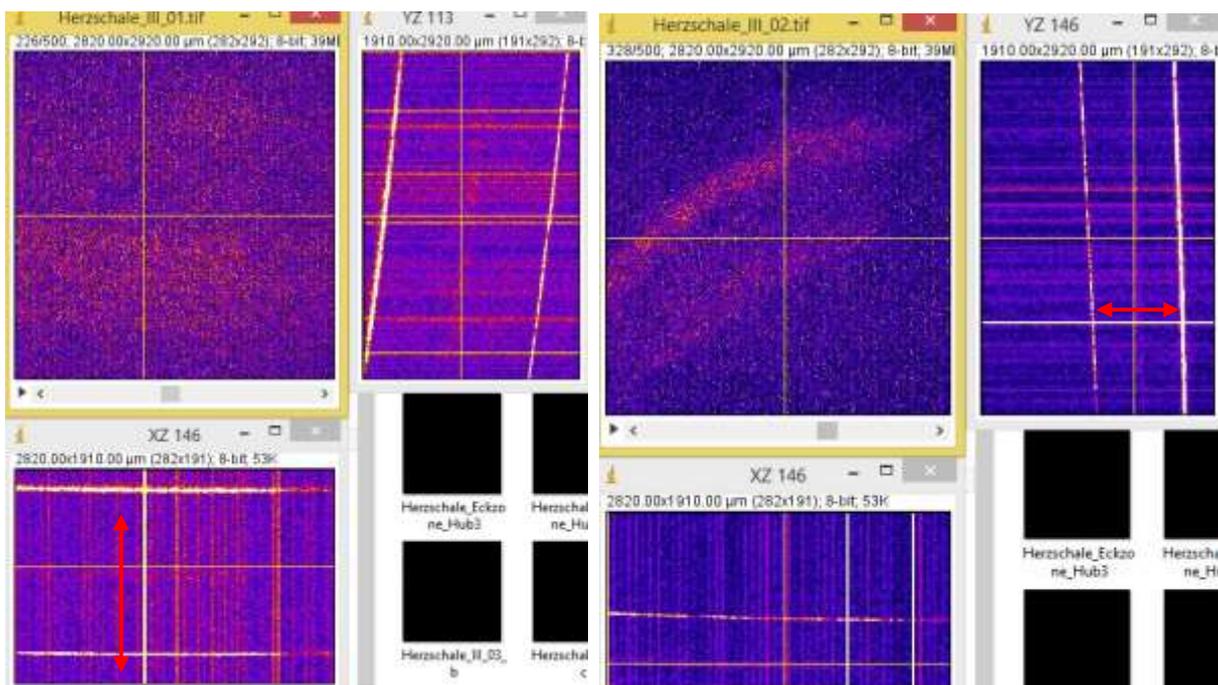
Die Messung an der geformten Schale zeigt, dass die Schale deutliche Unterschiede in der Gesamtdicke aufweist. Zudem liegt die EVOH Schicht nicht exakt zwischen den Aussenflächen der Folie.



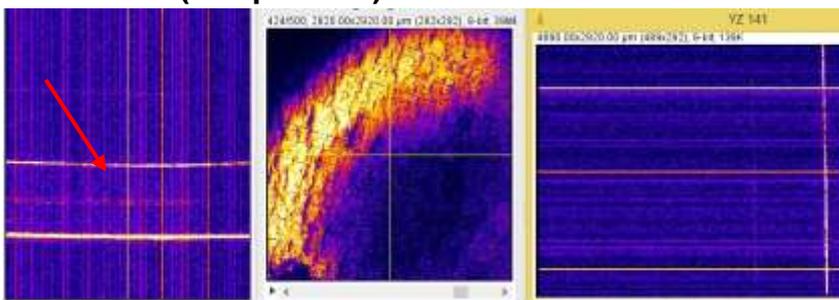
Das OCT Bild oben besteht aus 16 Einzelbildern und zeigt die Verteilung der Foliendicke in einem thermisch umgeformten Bauteil sowie die Dicke und die Lage der eingebauten EVOH Schicht. Datensätze aus den Messungen an verschiedenen Positionen auf der Nahrungsmittelschale zeigen:

Position 1 (850 μm dick)

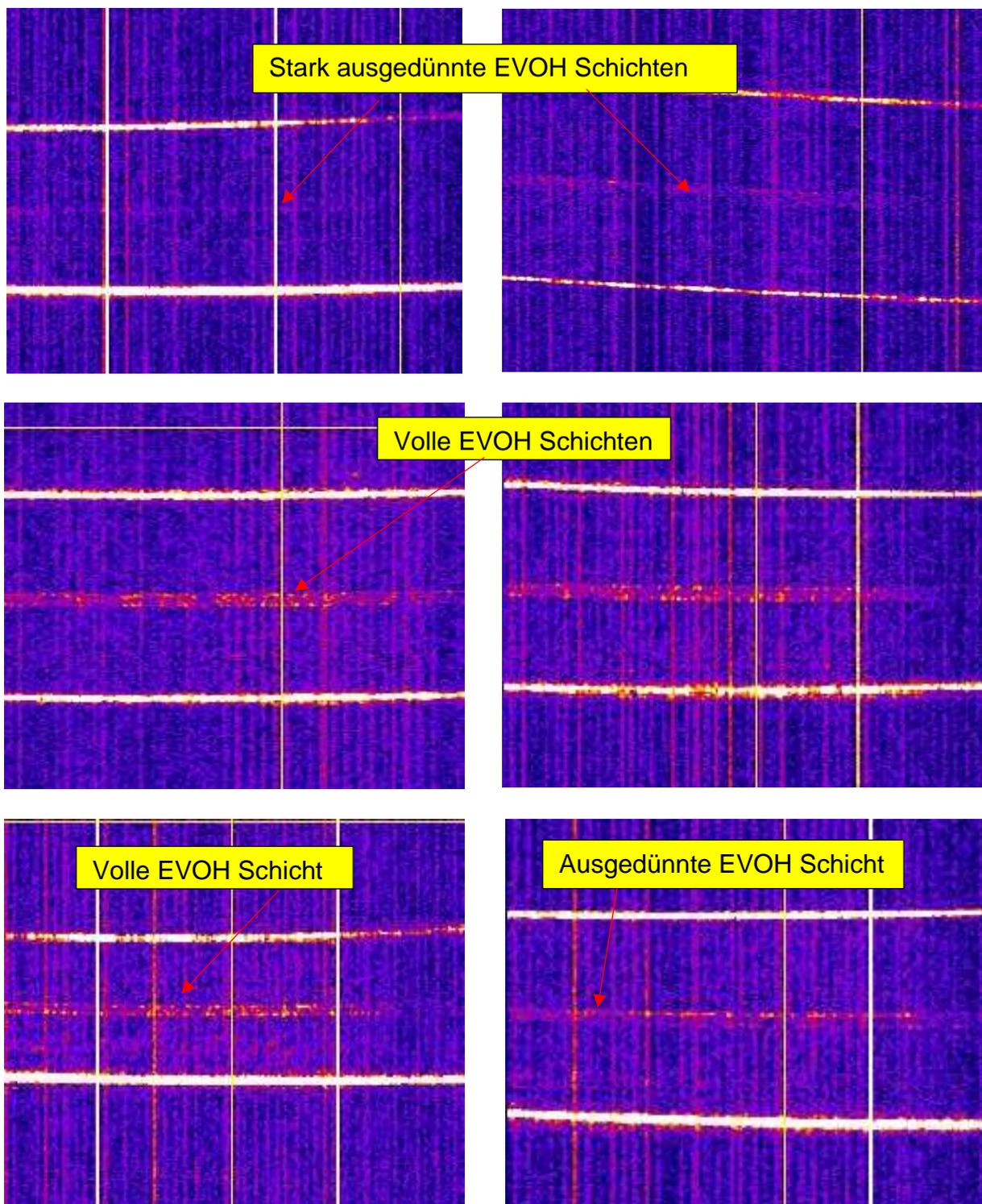
Position 2 (680 μm dick)



Position 3 (660 μm dick)



In der Folge sind die Gesamtdicke einer Folie die aus mehreren Lagen besteht sowie die Lage und Dicke der Gasbarriere- Schicht im Folienverbund dargestellt. Man erkennt Unterschiede in der Gesamtdicke der Folie sowie in der Dicke der EVOH Schicht. Die Variationen betragen teilweise mehr als 100% der Solldicken.



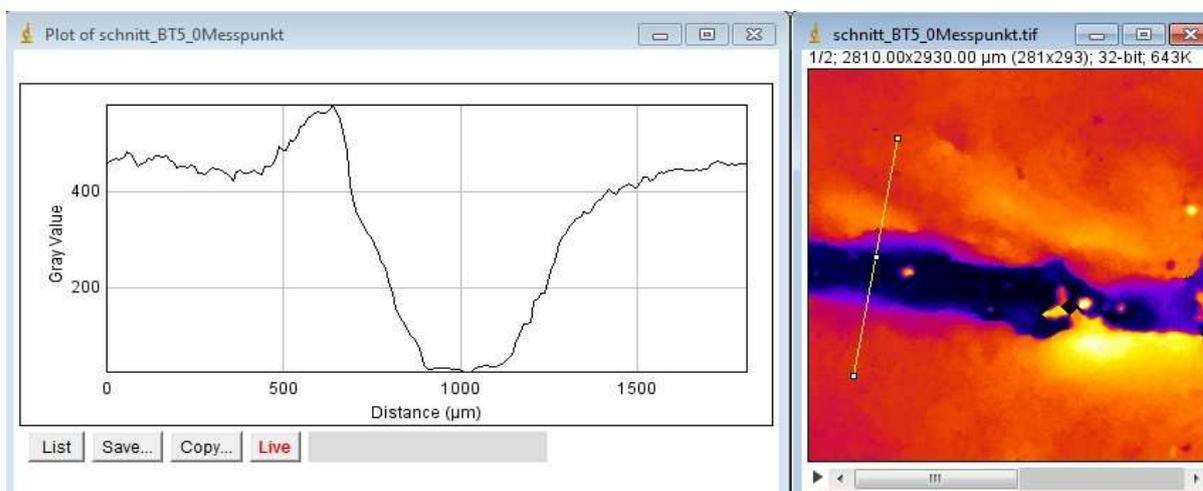
Die EVOH Schicht ist an der dünnsten Stelle weniger als 20 μm dick und 65 μm an der dicksten Stelle. Die Gesamtdicke ist an der dünnsten- 650 μm und 900 μm an der dicksten Stelle.

Die Messreihe an einer realen Nahrungsmittelschale zeigt, dass die Kräfte bei der Verformung von mehrlagigen Folien nicht homogen verteilt sind und zu Schichtverdünnungen, zu einer Schichtablösung oder gar zu einem Schichtabriss führen können. Den gleichen Effekt kennt man auch in der Kaltumformung von Blechen. Beginnende Loslösungen zwischen einzelnen Schichten zeigen sich am Streuverhalten beim Lichtdurchgang, weil sich da weniger Molekülketten verbinden.



4.5. Messung der Schichtdicke mit Averaging

Durch die Mittelung einzelner Messungen bekommt man eine Information zur Oberflächentopografie und zur Dicke der Schicht. Da das Beschichtungsmaterial ungleichmässig in den Sandkern eindringt weist die eigentliche Schichtdicke eine Unsicherheit auf. Das Profil links zeigt zwei Trennschichten, gefolgt von einer dritten Schicht. Wir denken dass dies das eingedrungene Beschichtungsmaterial ist.



Mit einem Flächenscan wurde das Tiefenprofil auch aus der Topografie vermessen. Dazu wurde die Beschichtung aufgeritzt und ein Tiefenprofil vermessen. Die Dicke der Beschichtung beträgt mehr als 400 Mikrometer. Die Verteilung des Beschichtungsmaterials im Sandkern selber wird aus der Penetrationsmessung ermittelt.

4.6. Beispiele aus der Praxis

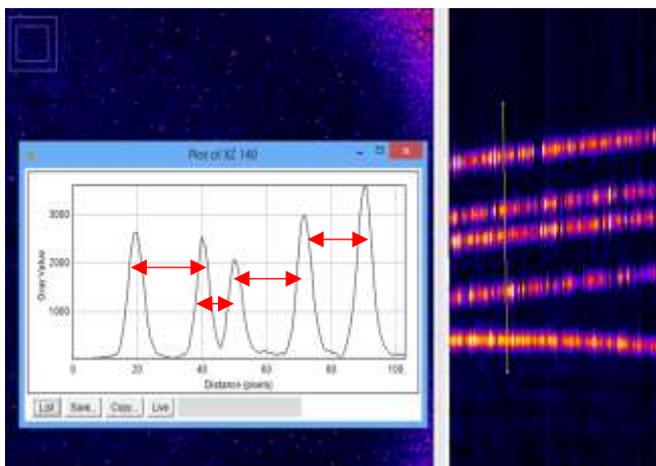
Jede Art der Schichtdickenmessung an transparenten oder nicht transparenten Bauteilen lässt sich mit modernen Messverfahren schnell und zuverlässig vermessen.

Der zeitliche Unterschied zwischen den Lichtfronten liefert die Information zur Dicke des Bauteils. Einzelne- oder mehrere aufeinanderfolgende Schichten werden in einem Arbeitsgang untersucht.

4.6.1. Die Messung der Dicke einer Folie (Genauer als 1 Mikrometer)

Bei jedem Schichtübergang werden Photonen reflektiert oder gestreut, sodass aus der Menge der gemessenen Photonen und der Laufzeit auf die Dicke der durchdrungenen Schicht geschlossen werden kann.

Der hoch integrierte CMOS-Sensor liefert die Photonensignale von mehreren hundert 2D-Datensätzen an den Rechner und erstellt daraus ein Volumenbild.



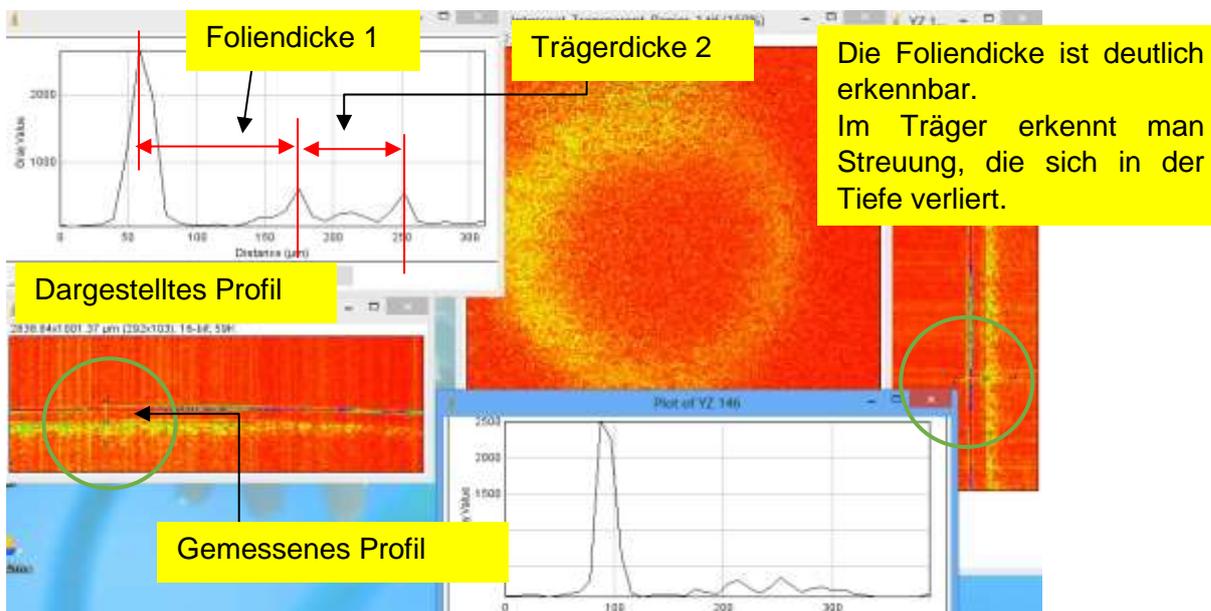
Multifolie- Verpackungsfolie.

In einer Folie die aus 4 einzelnen Schichten besteht, wird die Dicke jeder einzelnen Folie mit einer einzigen Messung berührungslos und genauer als 1 Mikrometer gemessen.

Die Messresultate sind kaum durch die Bewegung der Folie oder durch Vibration am Messort beeinflusst.

Wenn die Solldicke einer Schicht durch gravimetrische Messungen ermittelt wird, so ist in der Regel unbekannt, wie die einzelnen Folien am Gesamtgewicht beteiligt sind. Messungen mit dem Lichtlaufzeitverfahren in der realen Produktionen haben aufgezeigt, dass die Schichtdicke mehr als 20 % dicker ist als die Sollschichtdicke.

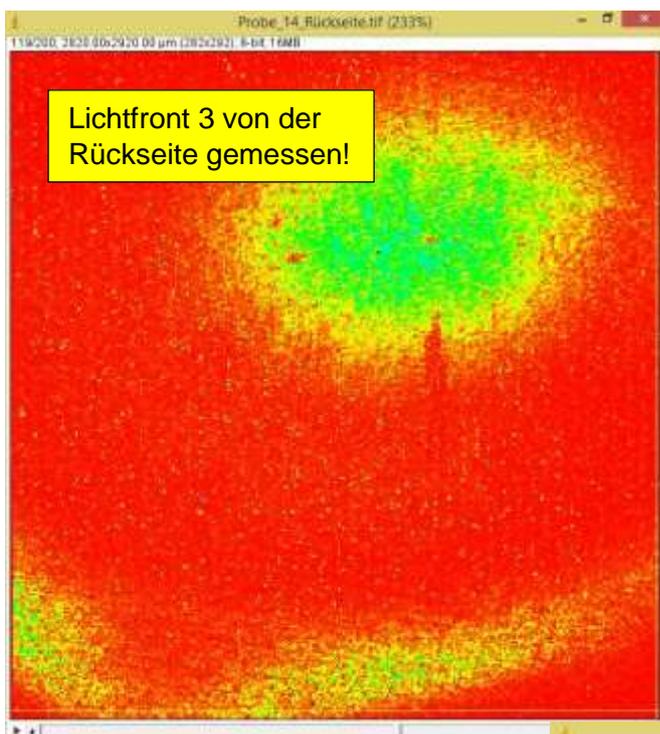
4.6.2. Beispiele aus der Praxis, Transparente Folie auf Papier



4.6.3. Dreischichtige Folie

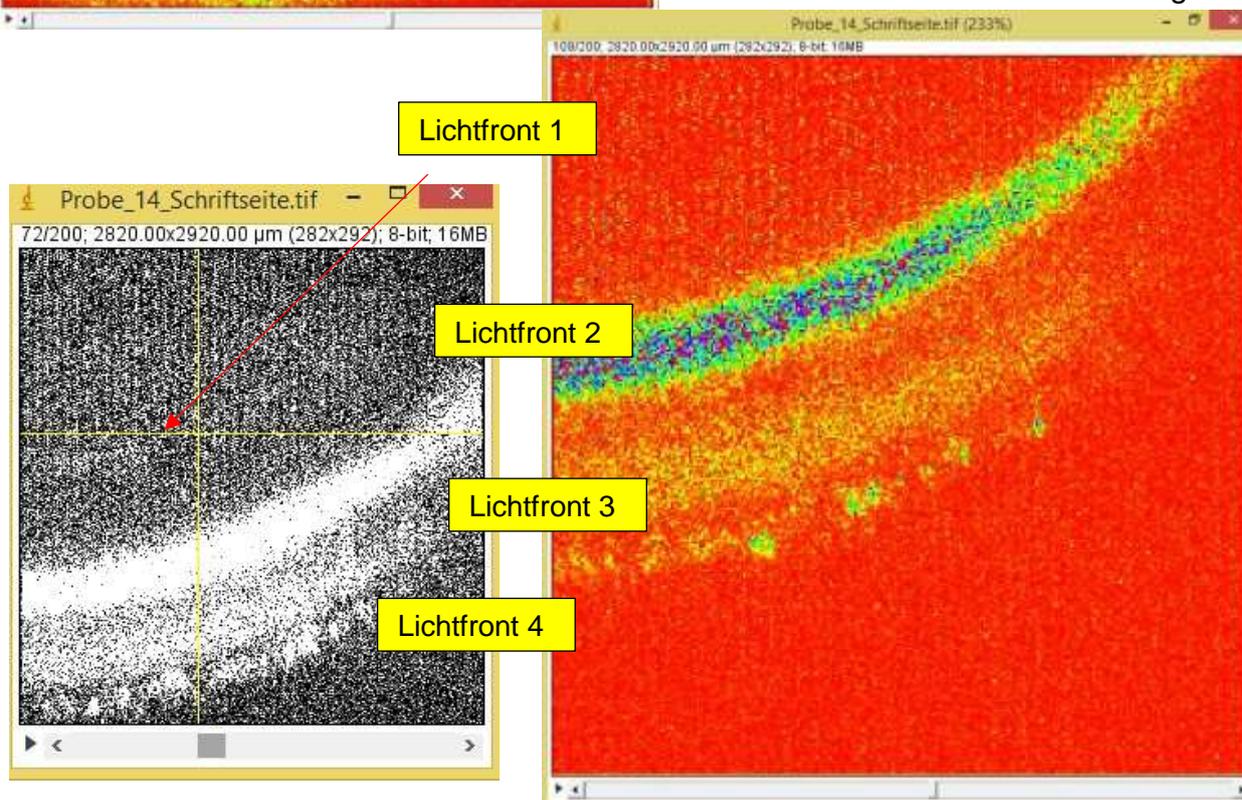
Die Resultate bei Messungen von beiden Seiten einer Probe sind nicht immer gleich. Die Messungen von der Schriftseite zeigen 3 Schichten, die von der Rückseite nur deren 2. Die Ursache liegt in den spektralen und optischen Eigenschaften der Folien im Verbund. Die Dicken in dieser Folie wurden mit 10 μm , 12 μm und 19 μm gemessen.

Daten der Rückseitenmessung



Die Messung der Folie von der Rückseite zeigt bloss 2 Schichten (Bild links) während die Messung der Folie (unten) von der Schriftseite insgesamt 3 Schichten zeigt.

Resultate der Frontmessung

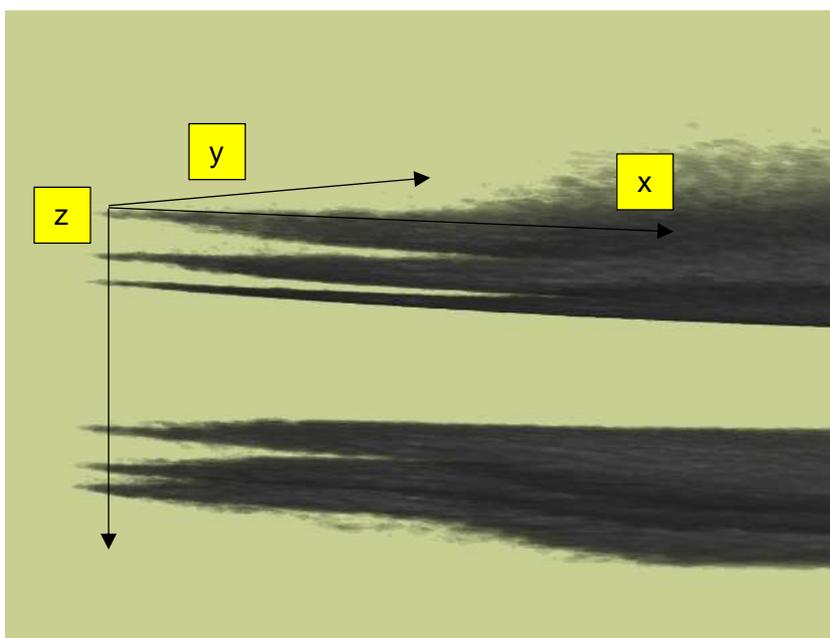
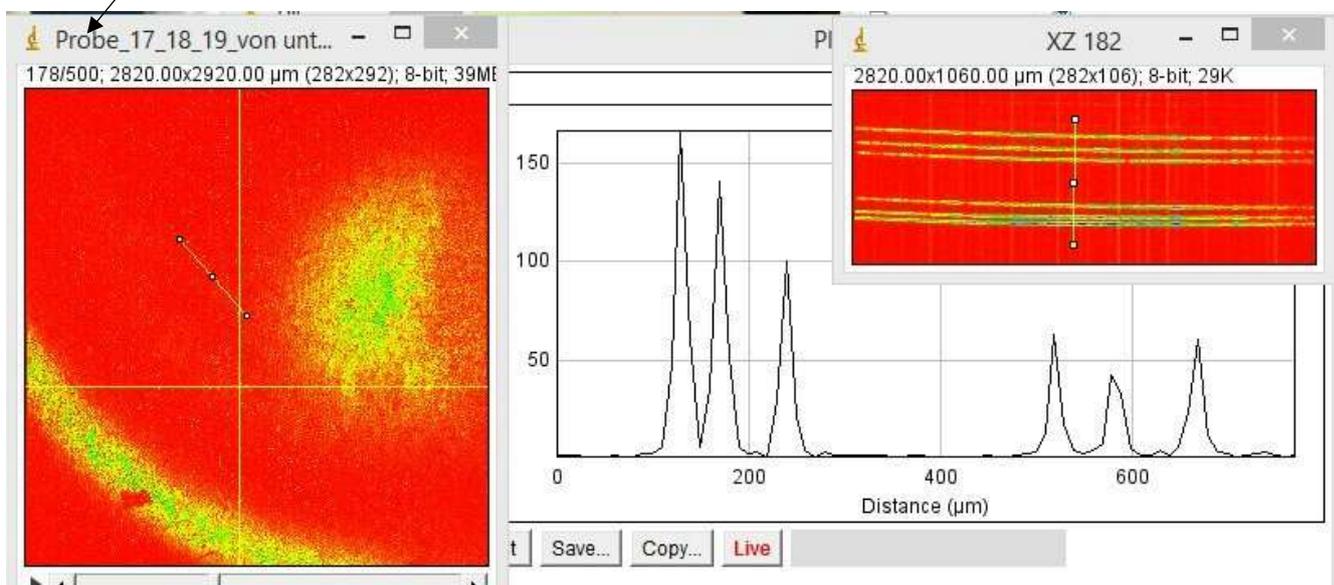


4.6.4. Verbundfolie, bestehend aus verschiedenen Einzelfolien

Die einzelnen Folien sind deutlich erkennbar. Die zweidimensionale Darstellung der Resultate in einzelnen Bildern ist oben dargestellt. Das Bild unten zeigt den ganzen Stack. Die gelben Streifen im 3D- Bild zeigen die Ebenen, an denen Licht gestreut oder reflektiert wird.

Das Bild Nr. 178 aus dem Stack ist als Einzelbild dargestellt.

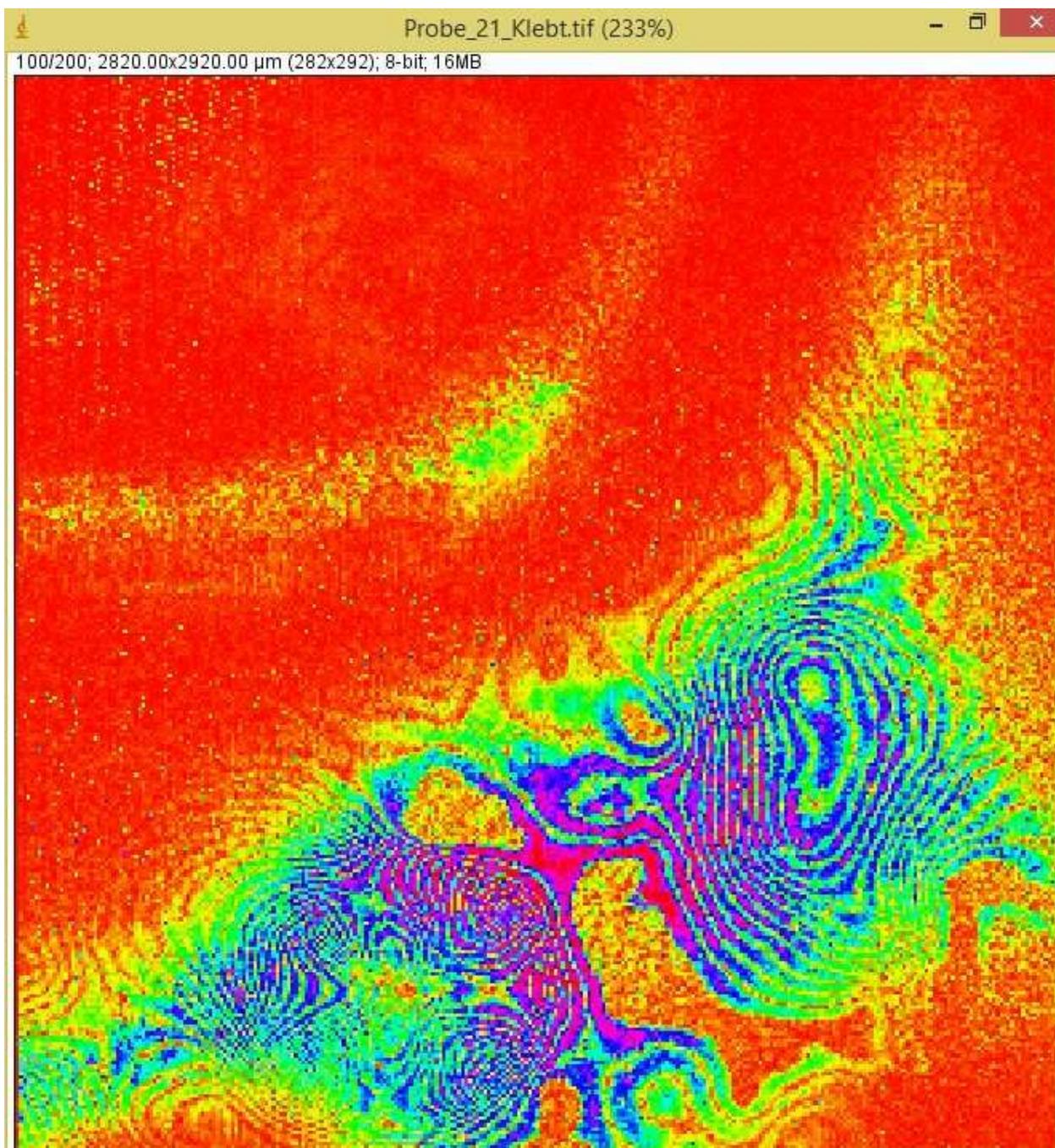
Dieser Stack besteht aus 500 Einzelbilder und ist in wenigen Sekunden



In z- Richtung Hochauflösende OCT Daten zeigen einzelne Schichten im Submikrometerbereich!

4.6.5. Verklebte Verbundfolien, bestehend aus verschiedenen Einzelfolien

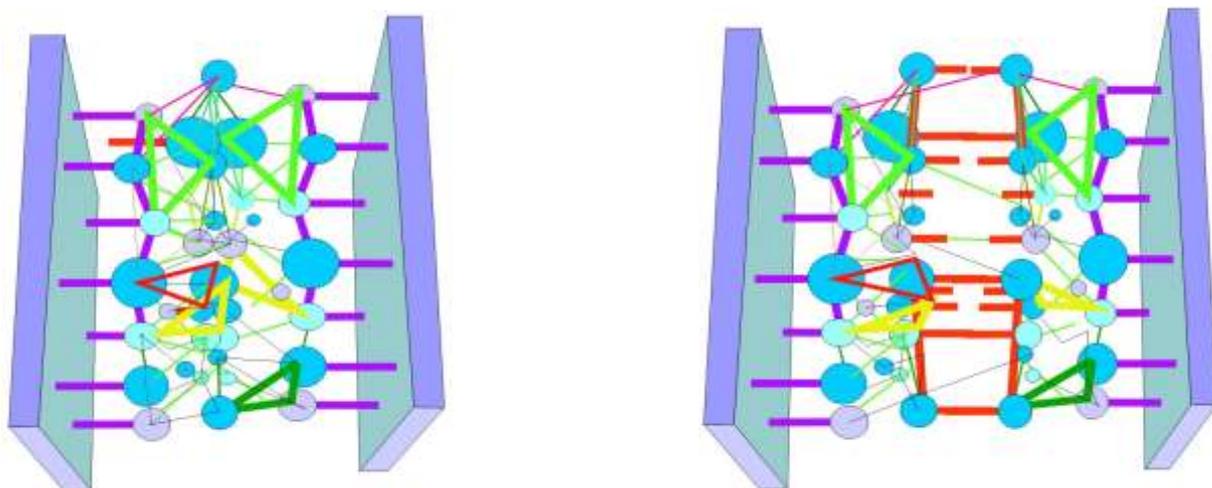
Die Probe 21 besteht aus mehreren Schichten und zeigt einen Klebfilm der sogar im Folieninnern zu Interferenzen führt. Interferenzen in einem Folienverbund treten dann auf, wenn die Filmdicke und die Brechzahl in einer Funktion zum Licht das zur Messung verwendet wird steht.



5. Haftungsschwächen und Entlaminierung

Durch thermische Einwirkungen oder durch die Verformungskräfte entstehen im Interface zwischen zwei Schichten zum Teil undefinierte Zustände. Das Material im Innern einer Folie beginnt zu gleiten oder es verdünnt sich oder kann sogar abreißen. Was aber geschieht in der Verbindung zwischen zwei Schichten, z.B. dem Haftvermittler und der Gasbarriereschicht?

Durch das „Verschmelzen“ des Haftvermittlers mit der Gasbarriereschicht entstehen Verbindungen, die nur wenige Moleküllagen dick sind. Mit dem Verfahren der Lichtlaufzeitmessung können Mikroskopisch kleine Unterschiede infolge erhöhter Streuung in diesem Bereich festgestellt werden.



Ist keine Verbindung zwischen zwei Schichten, so zeigt sich dies an der Reflexion des Lichtstrahls an den einzelnen Schichten. Ist die Verbindung schwach, also nicht fest genug, so zeigt sich dies an der Streuung einzelner Photonen in der Verbindungsschicht. In der Folge wurden verschiedene Zustände in einer Folie mit dem OCT System vermessen. Die Resultate stützen die These, dass die Haftung zwischen zwei Schichten mit dem OCT System aufgrund von Streueffekten bei einer Haftungsschwäche zerstörungsfrei erkannt wird.

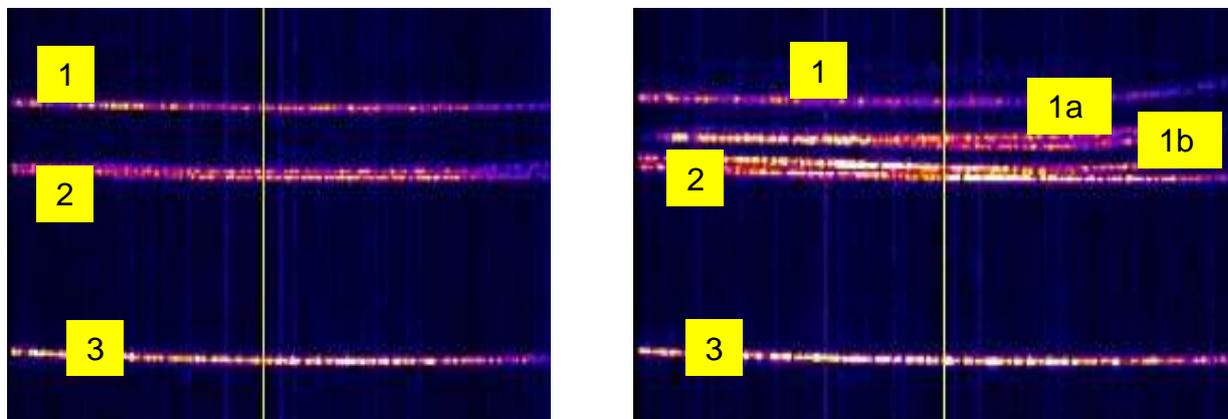


Bild links zeigt die 5 - schichtige Folie ohne Haftungsschwäche, das Bild rechts zeigt, dass sich die zweite Schicht (Von oben her betrachtet) von der Aussenschicht ablöst.

Die Schicht zeigt sich deutlich an den örtlich ausgeprägten Lichtreflektionen im Innern der Schicht. Bei den Folien werden zu 5 Schichten erkannt.

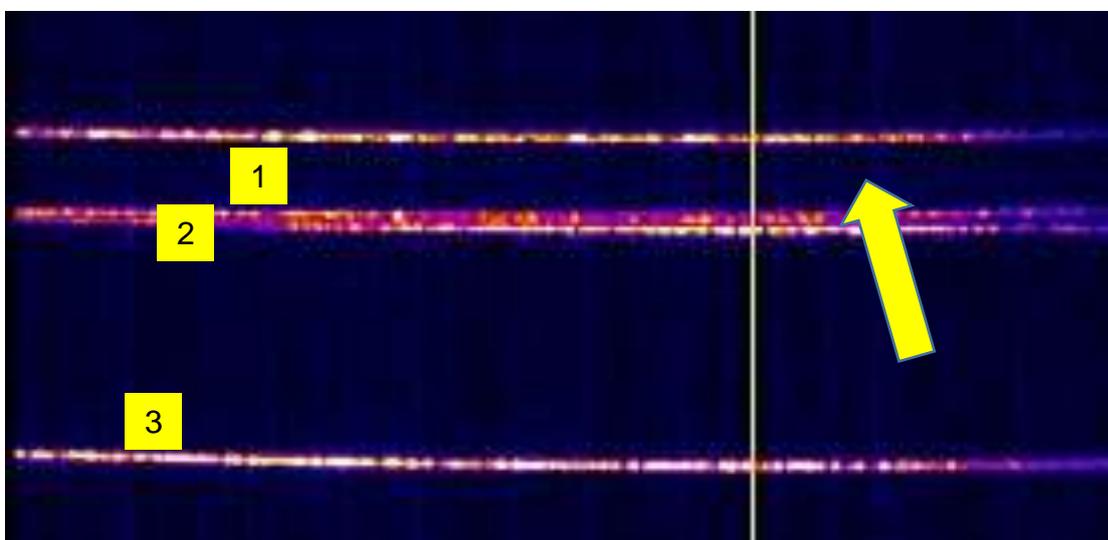
Die folgenden Bilder zeigen OCT- Daten an drei Messorten auf einer Folie in der sich eine mehrlagige Schicht löst. Die Messorte sind auf derselben Folie.

Messort 1: Schichthftung fehlerlos. Die drei Schichten der Folie sind deutlich erkennbar. (Ohne die Schichten der zwei Haftvermittler),

Messort 2: Haftungsschwäche. In der ersten Schicht tritt Streuung auf. Die Streuung liegt in der Verbindung zwischen zwei Schichten.

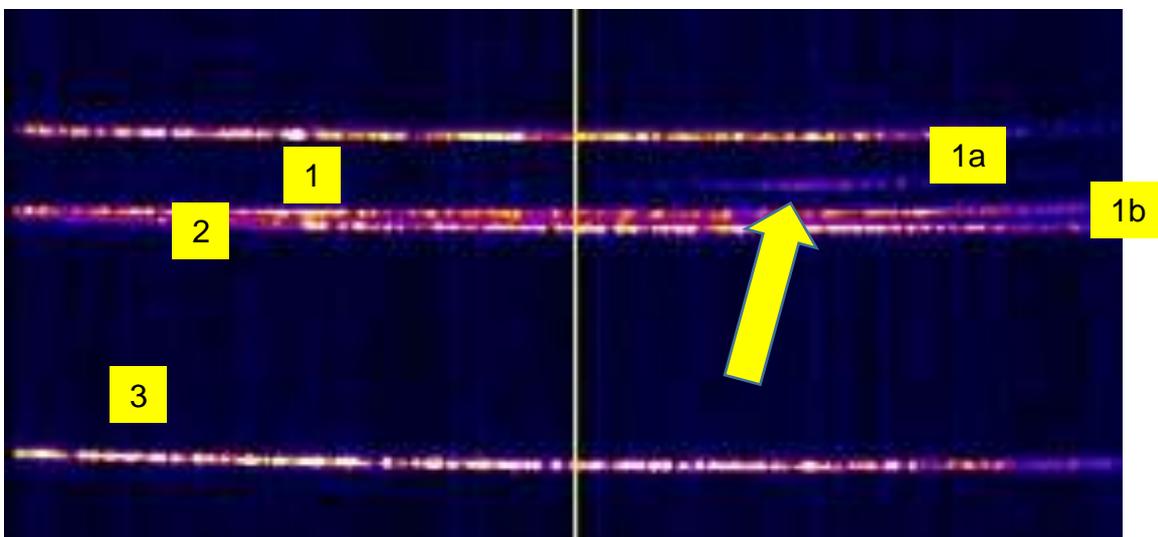
Messort 3: Entlaminierung. Die Entlaminierung zwischen zwei Schichten ist deutlich.

Messort 1: Folienverbund ohne Schwächung:



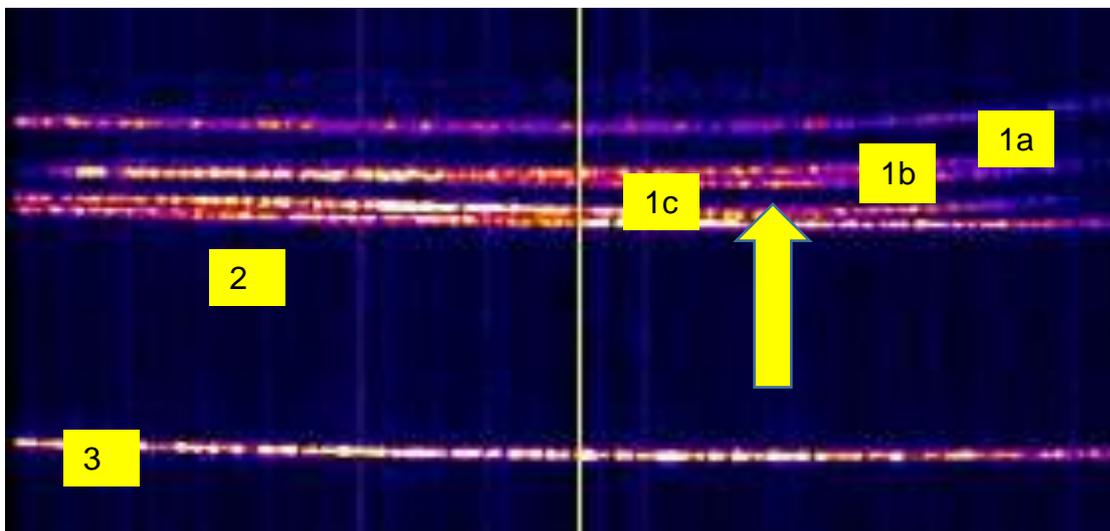
Bei dieser Folie werden 3 Schichten deutlich erkannt. Die oberste Schicht ist 100 μm dick, die mittlere Schicht 16 μm und die Trägerschicht (unten) 550 μm .

Messort 2: Folienverbund mit einer Schwächung:



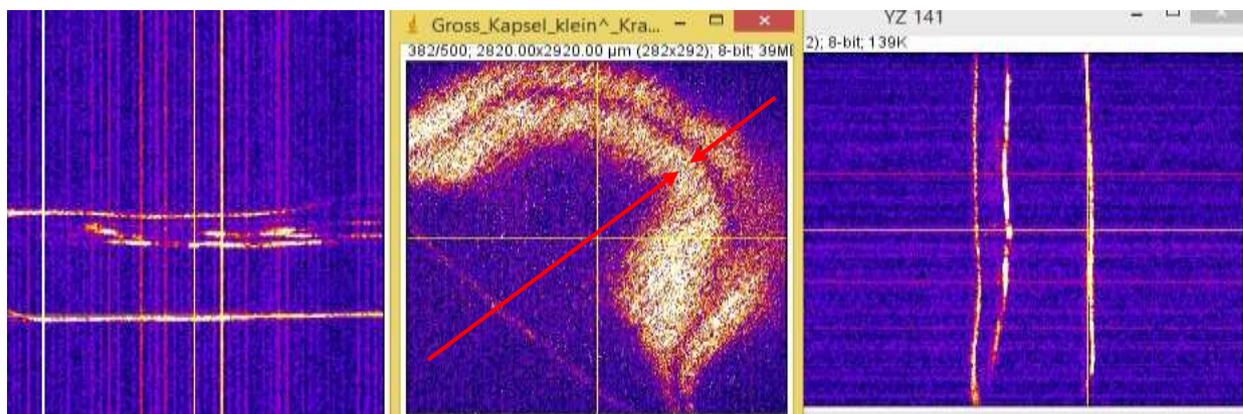
Bei dieser Folie werden auf der rechten Seite mehr als 3 Schichten erkannt. Die oberste Schicht ist 70 μm dick, Die folgende Schicht 40 μm , gefolgt von der mittleren Schicht die 24 μm dick ist (Dicker als im Bild 1). Die Trägerschicht (unten) ist 550 μm dick.

Messort 3: Folienverbund mit einer Schicht-Trennung:



Die oberste Schicht ist 70 μm dick, wie bereits im Bild vorher erkannt. Die Schicht ist offen. Die zwei Folien liegen etwa 10 μm auseinander. Es folgt die dritte Schicht mit einer Dicke von etwa 40 μm , gefolgt von der mittleren Schicht 34 μm (Dicker als im Bild 1) und der Trägerschicht (unten) 550 μm .

Detaillierte Auswertungen der Signale zeigen, dass sich das Streuverhalten bei einer Haftungsschwäche verändert. Schichtgrenzen erscheinen sehr diffus. Das folgende Bild zeigt, dass sich bei unterschiedlicher Streuung sogar zwei Lichtfronten erkennen lassen. Daraus liegt der Schluss nahe, dass das OCT Verfahren nicht nur zur Erkennung von Haftungsfehlern (Siegelnähte, mehrlagige Folien) eingesetzt werden kann, sondern auch zur Charakterisierung von Haftungsschwächen.



Wenn eine Siegelnaht mangelhaft ist sind weniger Moleküle in vernetzt und es treten mehr oder weniger ausgeprägte veränderliche Streueffekte auf.

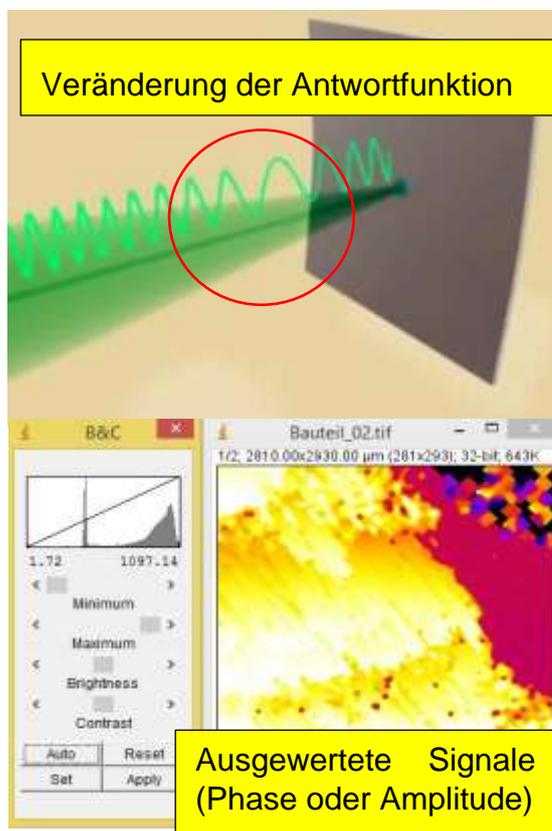
5.1. Haftungsfehler:

Zukünftige Entwicklungen in der Technologie nutzen immer mehr dünne Schichten die Funktionen in vertikaler Richtung miteinander austauschen. Die Augenlinse, ausgerüstet mit einem Chip der leistungsfähiger ist als alle Computer welche bei der Landung der USA auf dem Mond eingesetzt waren, ist technisch realisierbar und der Computer, der alle je einmal gehörten Gedanken speichert steht heute bereit. Gerade deshalb sind auch in der Materialtechnologie die zerstörungsfrei arbeitenden Systeme zum Beispiel zur Erkennung von Haftungsfehlern oder von Haftungsschwächen von Interesse.

5.1.1. Verhältnis D3/R4

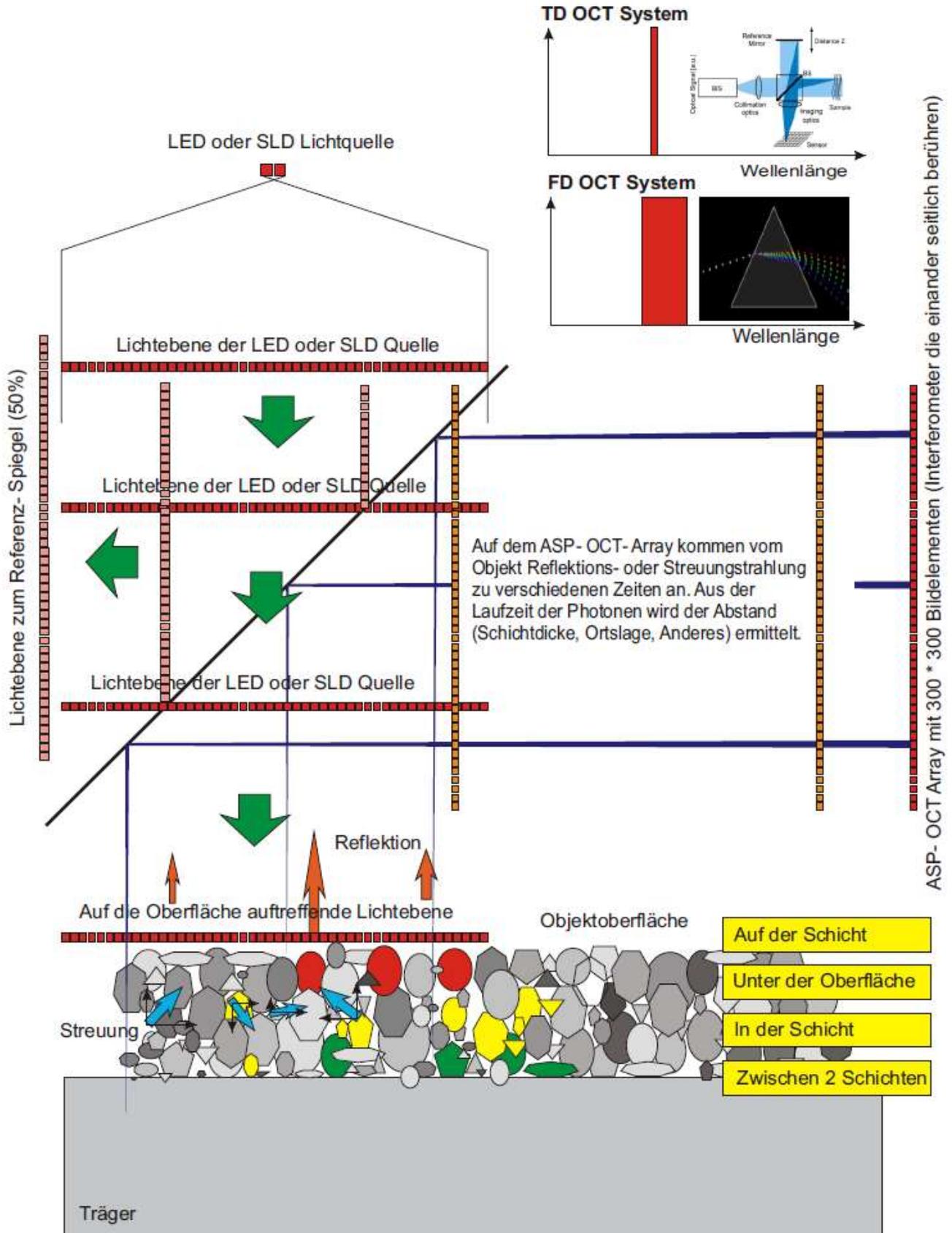
Zur Charakterisierung einer Loslösung haben wir die Berechnung einer eingespannten Scheibe zugrunde gelegt. Dabei spielt das Verhältnis der Dicke (D) und des Radius der Loslösung eine Rolle (R). Zur Feststellung der Biegefähigkeit einer runden Scheibe, die auf allen Seiten fest eingespannt ist und die Dicke D hat bedient man sich der Funktion D^3/R^4 . Die Funktion D^3/R^4 für eine Beschichtung von 300 Mikrometer ist in der Abszisse dargestellt. Aus dem Verhältnis D^3/R^4 lässt sich erwarten, dass Ablösungen einer Schicht ab einem Radius von 100 μm (bei einem Durchmesser der Ablösung von 200 μm) bei der Dicke der Beschichtung von 300 μm mit der Schwingungsmessung noch klar zu erkennen sind.

Die Messung von Schwingungen respektive von mechanischen Verformungen ist ein qualitativ messendes interferometrisches Verfahren, das sich aufgrund seiner relativen Störungsunempfindlichkeit im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung etabliert. Der Ort einer Fehlstelle wird durch die Messung der relativen Verformungsgradienten anhand inhomogener Verformungsbereiche lokalisiert.

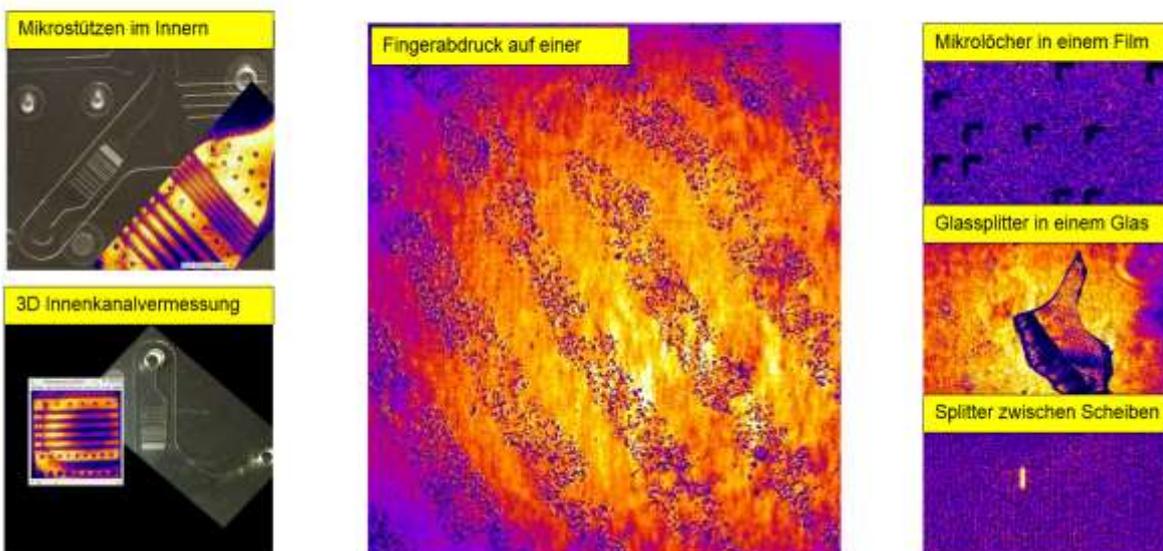


OCT- Messungen

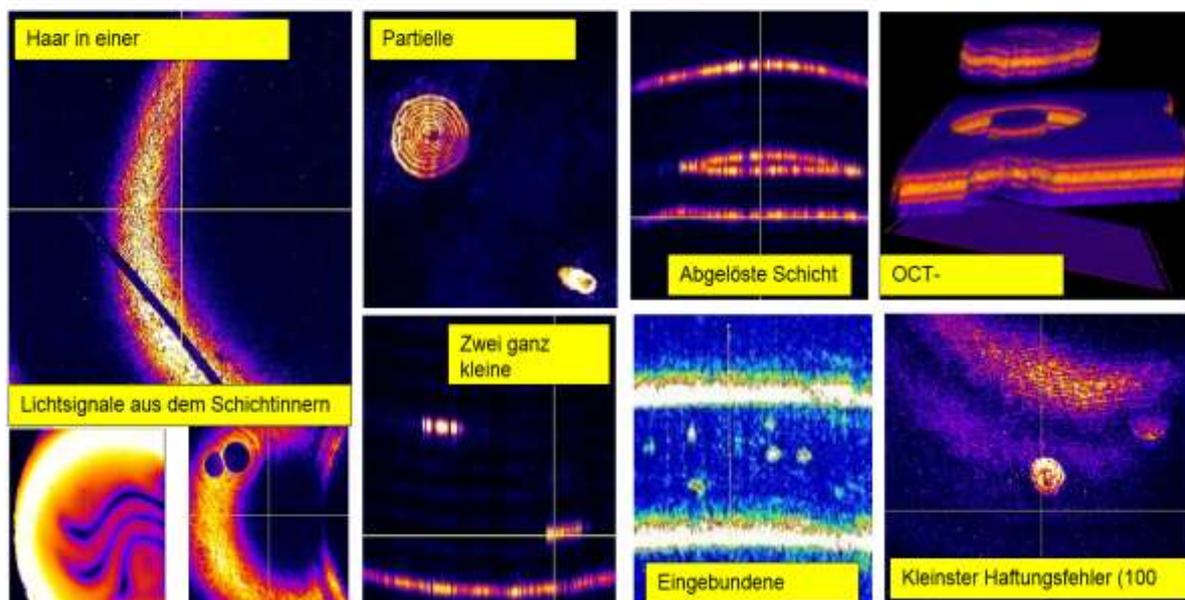
Spektrale oder monochrome Emission von Photonen aus einer Lichtquelle.



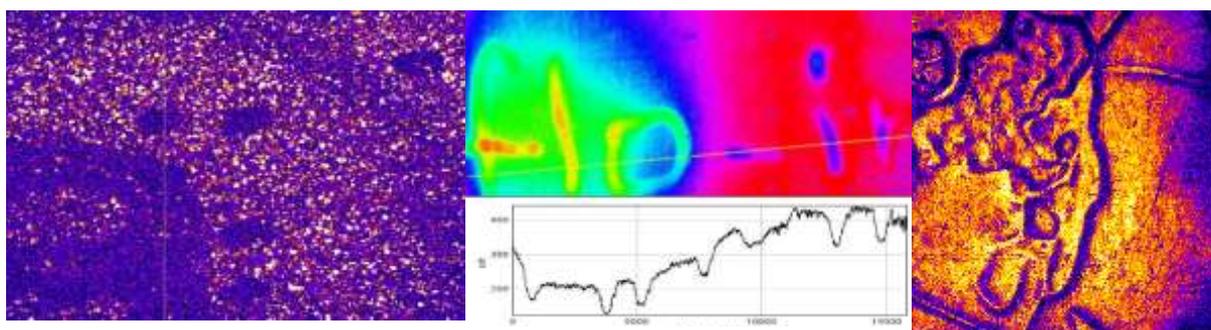
Gute Sicht - auch wenn's glasklar ist oder wenn's spiegelt!



Messen mit Licht – sehr schnell – extrem präzise – berührungslos



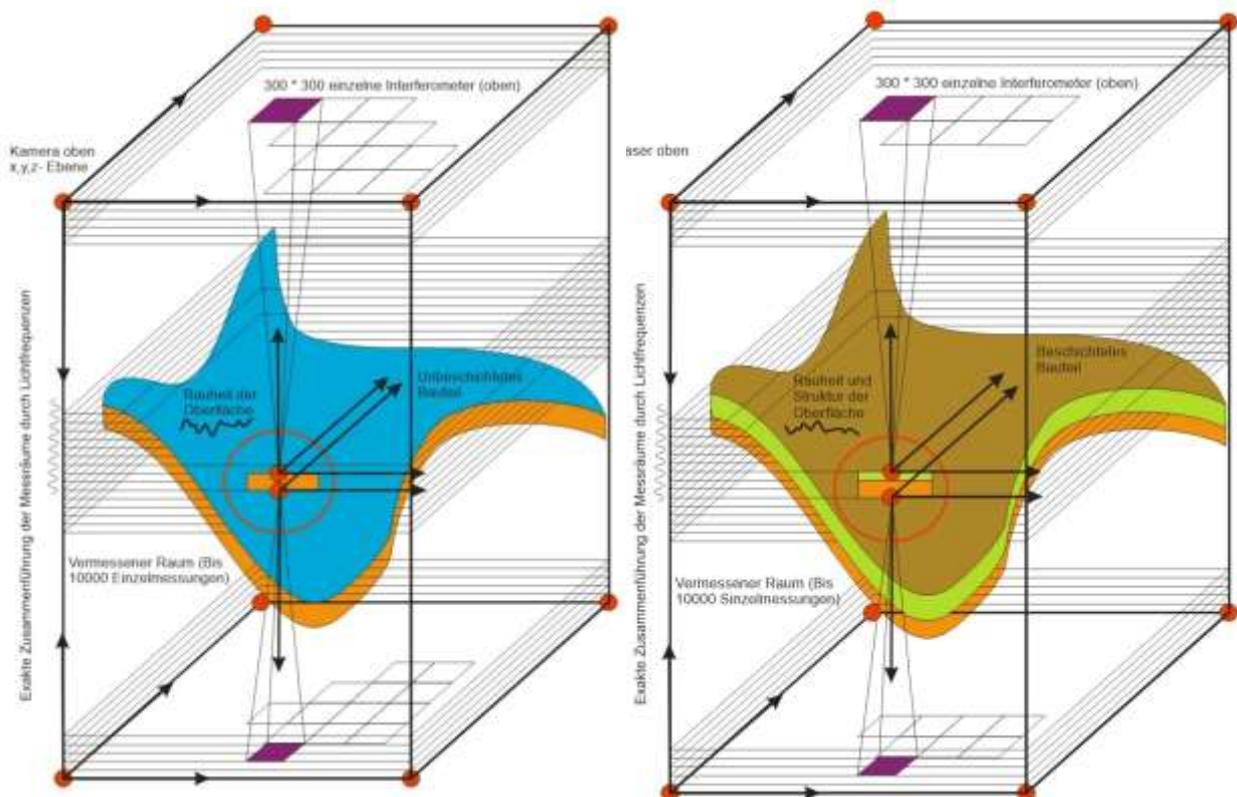
Feinheiten werden unabhängig von der Farbe oder der Oberfläche sicher erkannt.



5.2. Raue Oberflächen:

Eine Sandkernoberfläche ist sehr rau und weist erhebliche Tiefenunterschiede auf. Die „Löcher“ in der Oberfläche sind oft tiefer als 100 Mikrometer.

Um an rauen Produkten die Dicke einer Beschichtung zuverlässig vermessen zu können werden die „Täler“ im nicht beschichteten Substrat und die „Berge“ vermessen. Diese Vermessung liefert die räumlichen Referenzpunkte im Volumen das vermessen wird. Die Eckpunkte des Volumens liefern eine Information zum Abstand von Bauteilen im Sub- Mikrometer- Bereich. Es spielt dabei (fast) keine Rolle in welcher Lage das Bauteil in den Messraum eingebracht wird. Das Mess- System besteht aus 300×300 einzelnen Interferometer und erfasst die Messwerte mit 1 Mio fps. Die aktuelle Lage des Bauteils wird erkannt. Das Volumen oder die Dicke einer aufgetragenen Schicht können unter Berücksichtigung der Porosität des Substrates und der Struktur der Beschichtung exakt ermittelt werden. (Genauigkeit im Submikrometer- Bereich)

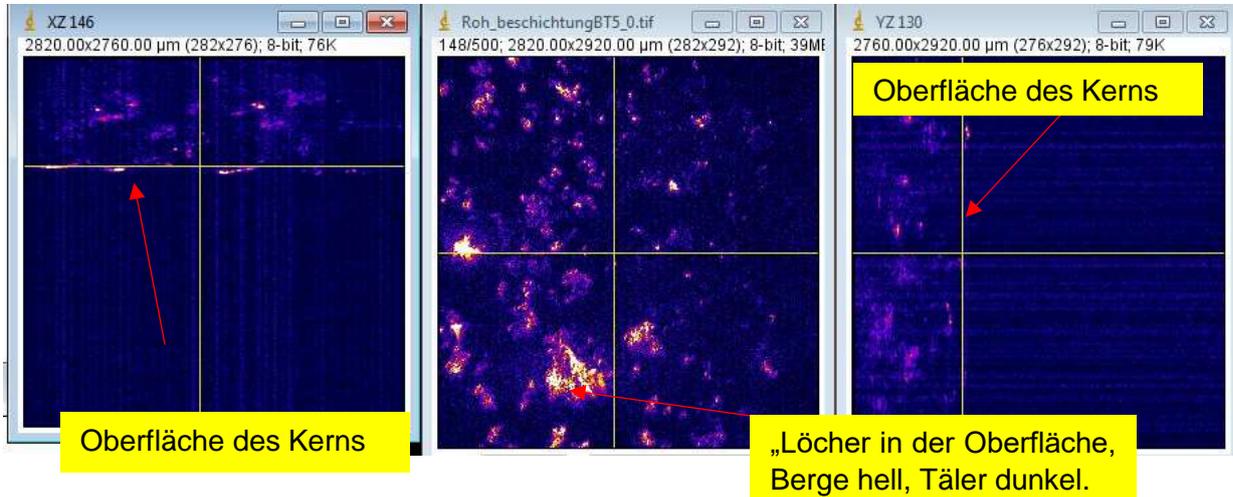


Erfolgen die Messungen über einen bestimmten Zeitraum können auch die Penetration des Beschichtungsmaterials in das Substrat oder das Schwinden aus den Messdaten abgeleitet werden.

Dieses zeitliche Verhalten einer beschichteten Oberfläche liefert zum Beispiel ein Mass darüber, wie das Beschichtungsmaterial in das Bauteil eindringt oder eine Information darüber, dass die Penetration abgeschlossen oder die Aushärtung abgeschlossen sind.

Bei der Aushärtung zeigt sich das Schwindmass.

Durch das Auftragen einer Beschichtung auf dem saugfähigen oder porösen Untergrund ergibt sich ein Höhenprofil, das sich aufgrund des Penetrationsverhaltens zeitlich verändert.



- ➔ Das Eindringverhalten des Beschichtungsmaterials wird ohne Berührung festgestellt.
- ➔ Ist die Penetration abgeschlossen lässt sich die Schichtdicke ermitteln.
- ➔ Minimale Überdeckung der “Berge” oder der “Täler” auf dem Sandkern.
- ➔ Maximale Überdeckung der “Berge” oder der “Täler” auf dem Sandkern.
- ➔ Mittlere Schichtdicke der “Berge” oder der “Täler” auf dem Sandkern.



Aus den Messungen ergibt sich das “Einsinkverhalten” der Beschichtung. Die erste Messung liefert die Oberfläche der Beschichtung. Die folgenden Messungen zeigen jeweils die Oberfläche der Beschichtung, deren Lage sich aufgrund des Eindringens des Beschichtungsmaterials in den Sandkern verändert. Diese Veränderung wird gemessen und dient zur Ermittlung der Schicht zur Basisschicht, d.h. zur Sandkernoberfläche. Durch diese Art der Messung wirkt sich die Porosität des Sandkerns nicht auf das Resultat aus.

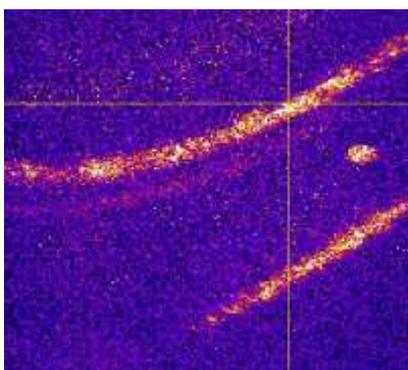
5.3. Moderne Produkte nutzen optimierte Produktkreisläufe.

Rücksichtnahme auf die Umwelt ist heute eine Selbstverständlichkeit. Das haben sich die Industrie und auch Grossverteiler schon längst auf die Fahne geschrieben und preisen ihren Kunden entsprechende Produkte an. Zum Beispiel erstellt „Climatop“ Klimabilanzen nach international anerkannten Standards (ISO 14040) und zeichnet Produkte innerhalb einer Warengruppe (Zum Beispiel Verpackungen), die eine besonders tiefe CO₂- Emissionen aufweisen mit dem Label "approved by climatop" aus. Kunststoffprodukte für Folien, Beutel, Taschen oder Schalen werden auch in Bezug auf die Effizienz und die CO₂- Bilanz bewertet. Deshalb haben Hersteller von Produkten die einen minimalen CO₂ Ausstoss nachweisen können gegenüber Andern einen Marktvorteil.

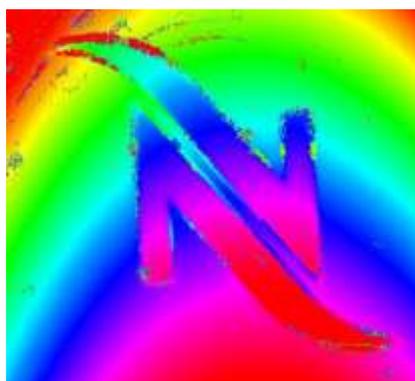
Sie können den CO₂ Ausstoss bei der Herstellung der Produkte um 20% und mehr reduzieren und sind deshalb massgeblich am Label des Grossverteilers beteiligt.

Wer Folien zur Verpackung von Nahrungsmitteln einsetzt die CO₂ arm hergestellt worden sind trägt bedeutend zum schonenden Umgang mit unserer Umwelt bei.

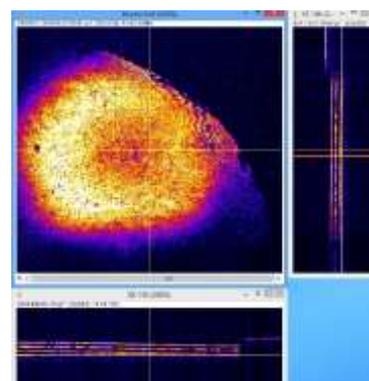
Wer als Konsument Nahrungsmittel einkauft, die in Produkten verpackt sind, welche CO₂ arm erzeugt wurden, nimmt bereits beim Einkauf Rücksicht auf die Umwelt.



Mehrere Schichten im Verbund



„N“ Neue Wege im life cycle



Exakt produzierte Folien

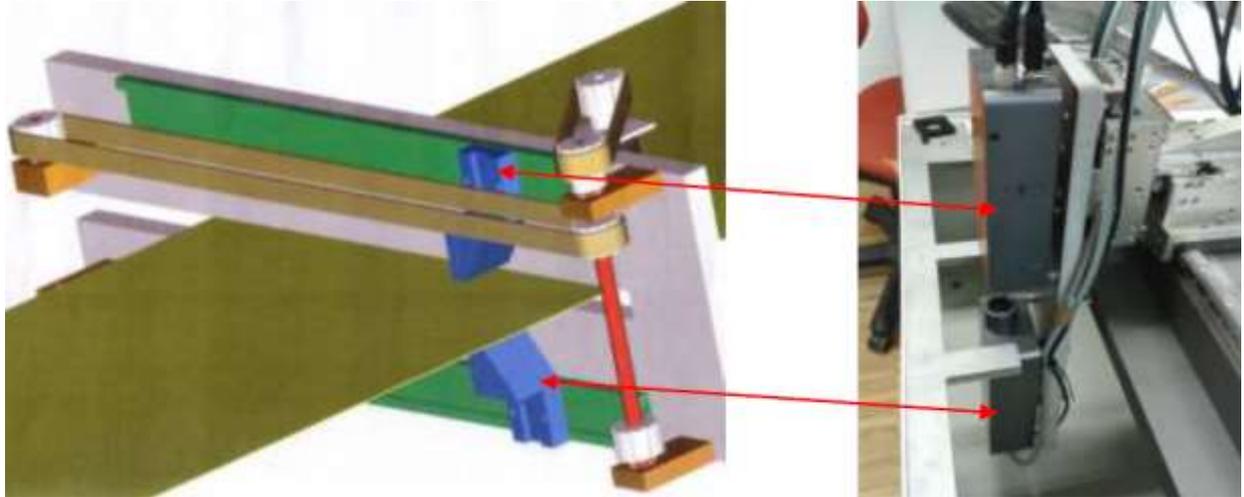
Jedes Unternehmen das sich der Verantwortung im Umgang mit den Rohstoffen bewusst ist optimiert nicht nur Teilbereiche im Lebenszyklus eines Produktes, sondern optimiert die ganze Kette vom Rohstoff, über die Verwendung bis zur Entsorgung. Wir zeigen Ihnen mit modernen Messverfahren neue Wege auf damit Sie die Wettbewerbskraft steigern und gleichzeitig Ihren Beitrag zum schonungsvollen Umgang mit der Umwelt leisten können.

5.4. Einfachere Weiterverarbeitung:

Wer die Dicke einer Folie exakt herstellt, hat kleinere Kosten für die Rohstoffbeschaffung, geringere Kosten in der Verarbeitung und in der Weiterverarbeitung. Die Bedruckung oder die Etikettierung von genau hergestellten Folien ist bedeutend einfacher und zieht kleinere Begleitkosten nach sich. Der Druck wirkt professionell, aufgebrauchte Verzierungen haften gleichmässig und Informationen, die auf eine Verpackung aufgeklebt werden, sind exakt fixiert.

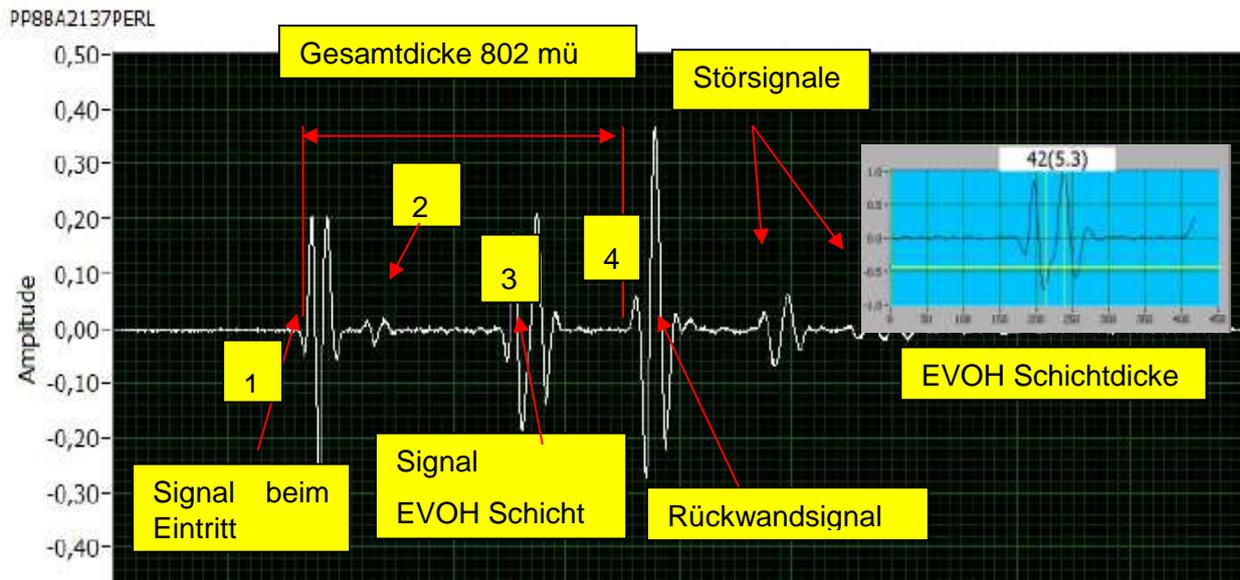
5.4.1. Prinzip der Dickenmessung der Folie

Für die Messung der Foliendicke an nicht transparenten Folien und der Dicke der PP-Schichten werden 2 OCT-Messköpfe eingesetzt. Die Messköpfe arbeiten so, dass der Raum dazwischen vermessen wird.



Die Dicken der interessierenden Schichten werden aus den Datensätzen der zwei Kameras abgeleitet. Die Vermessung der Lage und der Dicke der EVOH Schicht im Innern der Folie erfolgt mit einem problemangepassten Messkopf. Die in der unten stehenden Grafik dargestellten Signale sind aus der Vermessung einer 800 mü dicken Folie die aus 7 Schichten besteht.

Die Bedeutung der Signale ist wie folgt:

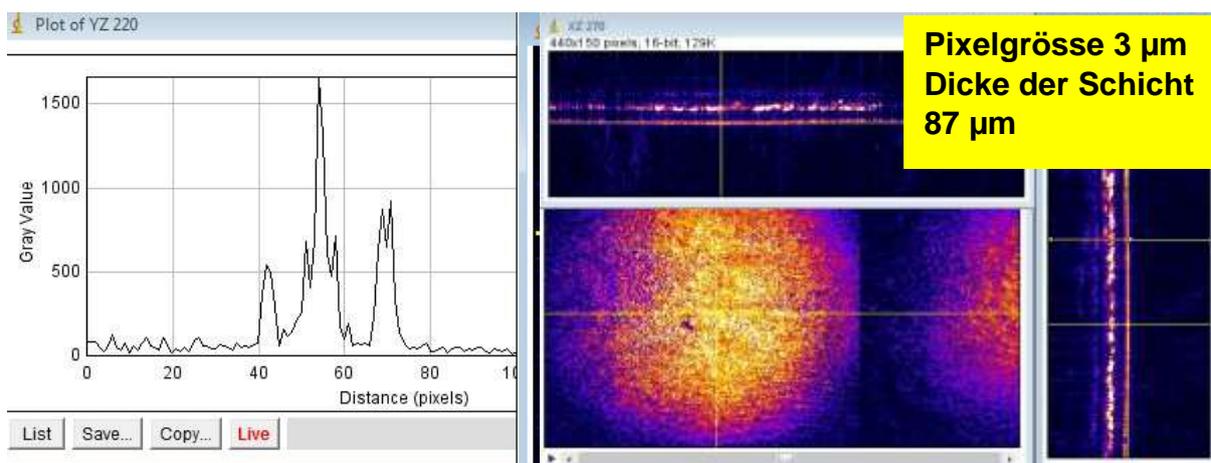


Die Gesamtdicke der Folie sowie die Dicke der äusseren PP-Schichten und die Lage sowie die Dicke der EVOH Schicht werden ohne Messkopfberührung zur Folienoberfläche vermessen. Die Dicke der EVOH Schicht ist im vorliegenden Fall 42 Mikrometer (An Stelle der vorgesehenen von 30 Mikrometer) und ist demzufolge mehr als 25% dicker als geplant. Die Dicke der Haftvermittlerschichten kann bis heute nicht gemessen werden.

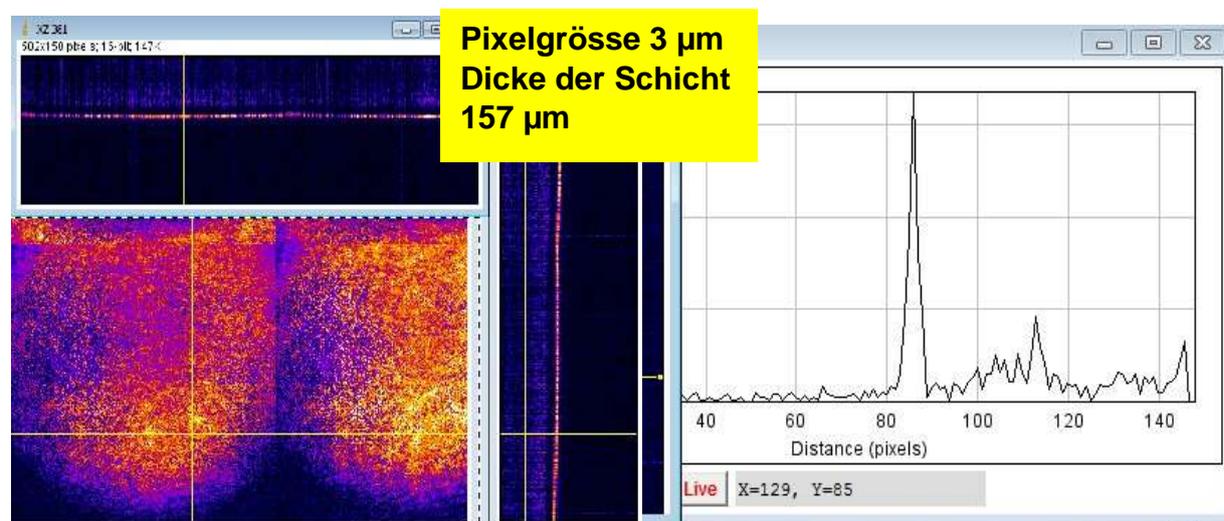
5.5. Messung der Dicke einer Pulverschicht

Probe 1 (dünne Pulverschicht) zeigt eine kurze Lichtlaufzeit und Probe 2 (dicke Pulverschicht) eine längere Lichtlaufzeit. Die Dicke der effektiven Pulverschicht wird aus dem Unterschied der Lichtlaufzeit ermittelt. Die Messung erfolgt berührungslos, mit einer Genauigkeit im Submikrometerbereich und schier mit Lichtgeschwindigkeit. Bewegungen des Objektes oder Farbänderungen stören die Messung nicht.

Dünne Pulverschicht



Dicke Pulverschicht

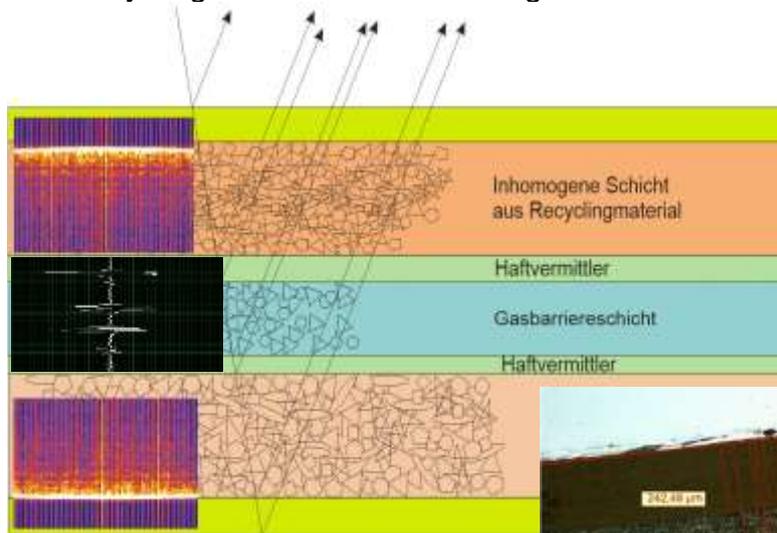


Die Dicke der Pulverschicht wird mit dem Verfahren der Lichtlaufzeitmessung mikrometergenau vermessen. Unebenheiten sowie Bewegungen des Objektes wirken sich nicht auf die Messung aus.

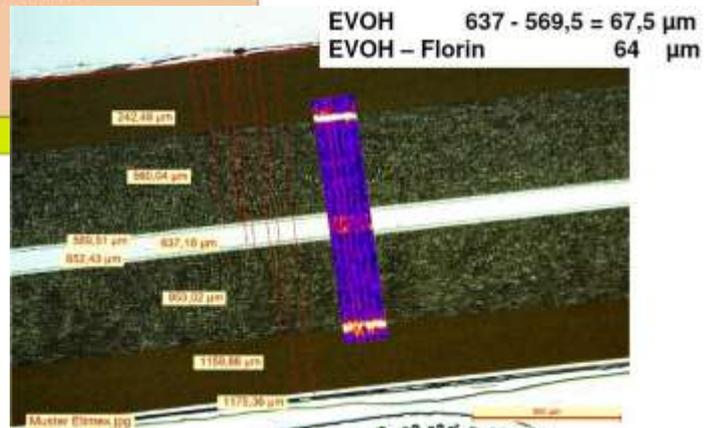
5.6. Andere Folienkonstruktionen:

5.6.1. Messung nicht transparenter Schichten

Zur Messung nicht transparenter Schichten muss ein Verfahren eingesetzt werden die das Recyclingmaterial ohne Streuung durchstrahlen.

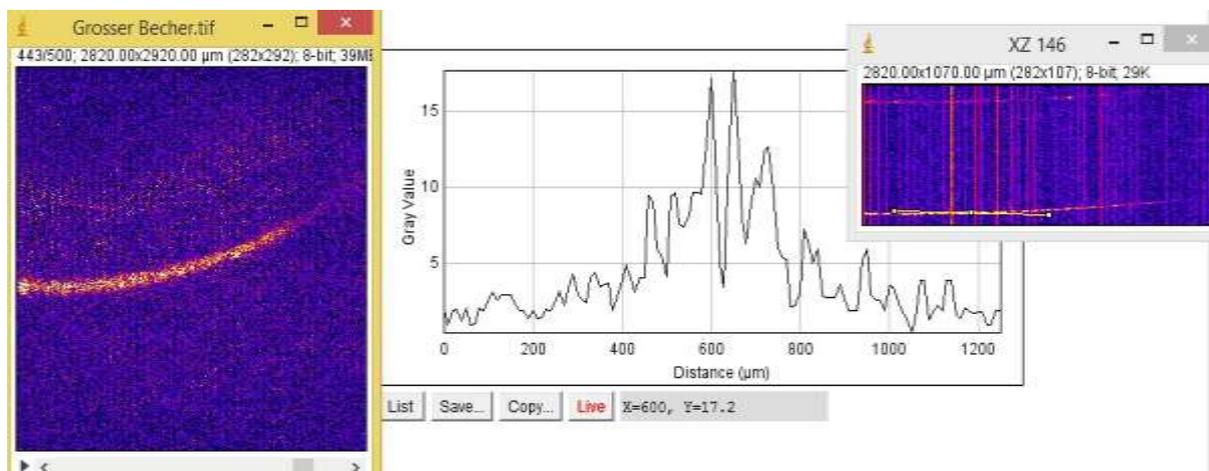


Die Dicke der Gassperrschicht in einer mehrlagigen Folie wird mit dem OCT-System ebenso genau vermessen wie mit dem Mikrotomschnittverfahren, aber berührungslos und ohne grosse Vorbereitung der Probe.

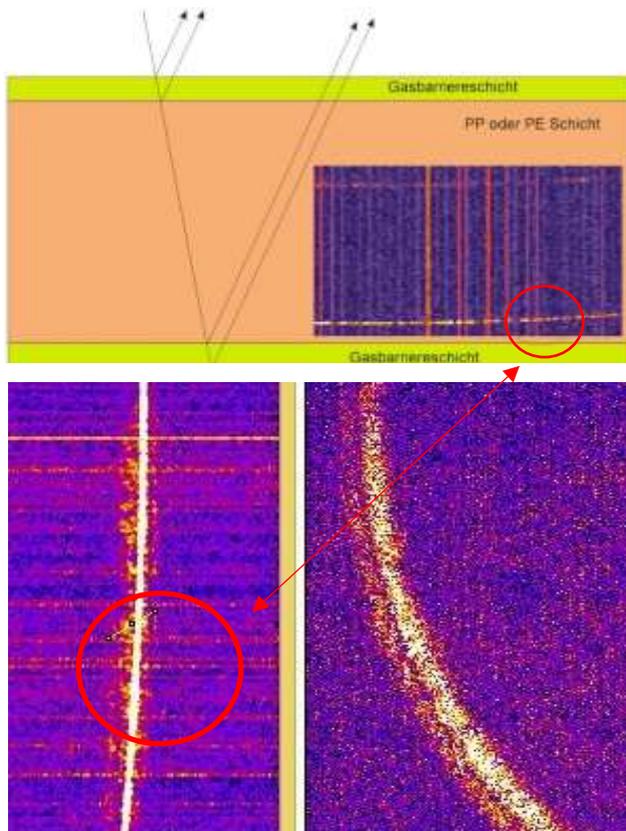


Ist die Gassperrschicht im Innern einer Folie zwischen Granulat eingebettet und ist die Folie über 0,5 mm dick, liefert das OCT Verfahren keine deutlichen Signale mehr zur Dicke der Gassperrschicht, weil das Recyclingmaterial stark streut.

Hier wird das H-FUS Verfahren (Hochfrequente Ultraschalltechnik) eingesetzt. Die Dicke der Gasbarriere kann mit dem Verfahren auch bei dickeren Bauteilen noch reproduzierbar vermessen werden



5.6.2. Aussenliegende sehr dünne Gasbarriereschichten



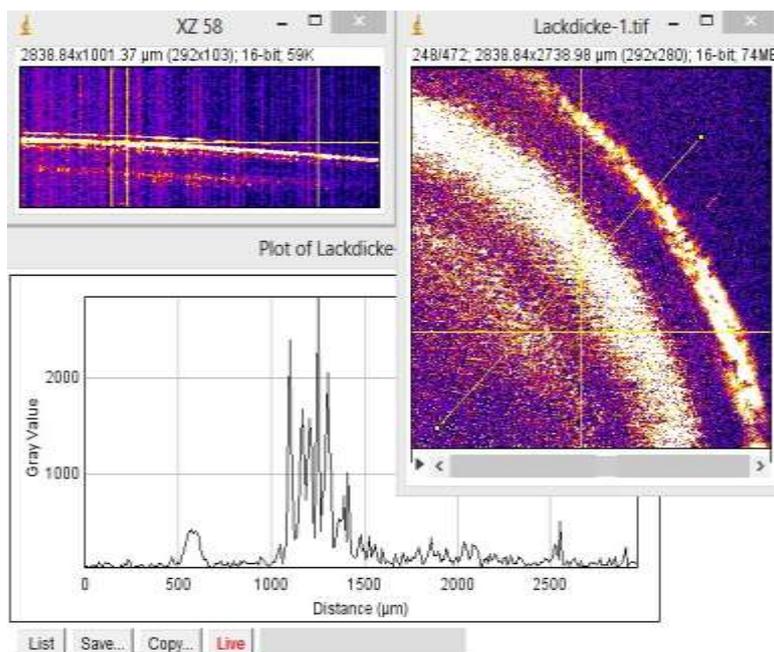
Bei dieser Anordnung ist die Gassperrschicht sehr dünn und von aussen aufgebracht.

Im Bild links sind die Schichten jeder einzelnen Folie erkennbar. Weil die Gassperrschicht sehr dünn aufgebracht wird liegen die Lichtfronten sehr nahe beieinander. Die Auswertung erfolgt über einen Missionsrechner.

Dazu wird die interessierende Zone exakt betrachtet. Die laterale Auflösung beträgt $1\ \mu\text{m}$ bis $10\ \mu\text{m}$ und die Auflösung in z- Richtung liegt unter $1\ \mu\text{m}$.

Die Schicht im neben stehenden Bild ist $7\ \mu\text{m}$ dick (Mittelwert aus mehreren Messwerten).

5.6.3. Mit Silber- Metallic Lack beschichtetes Bauteil aus der Autoindustrie



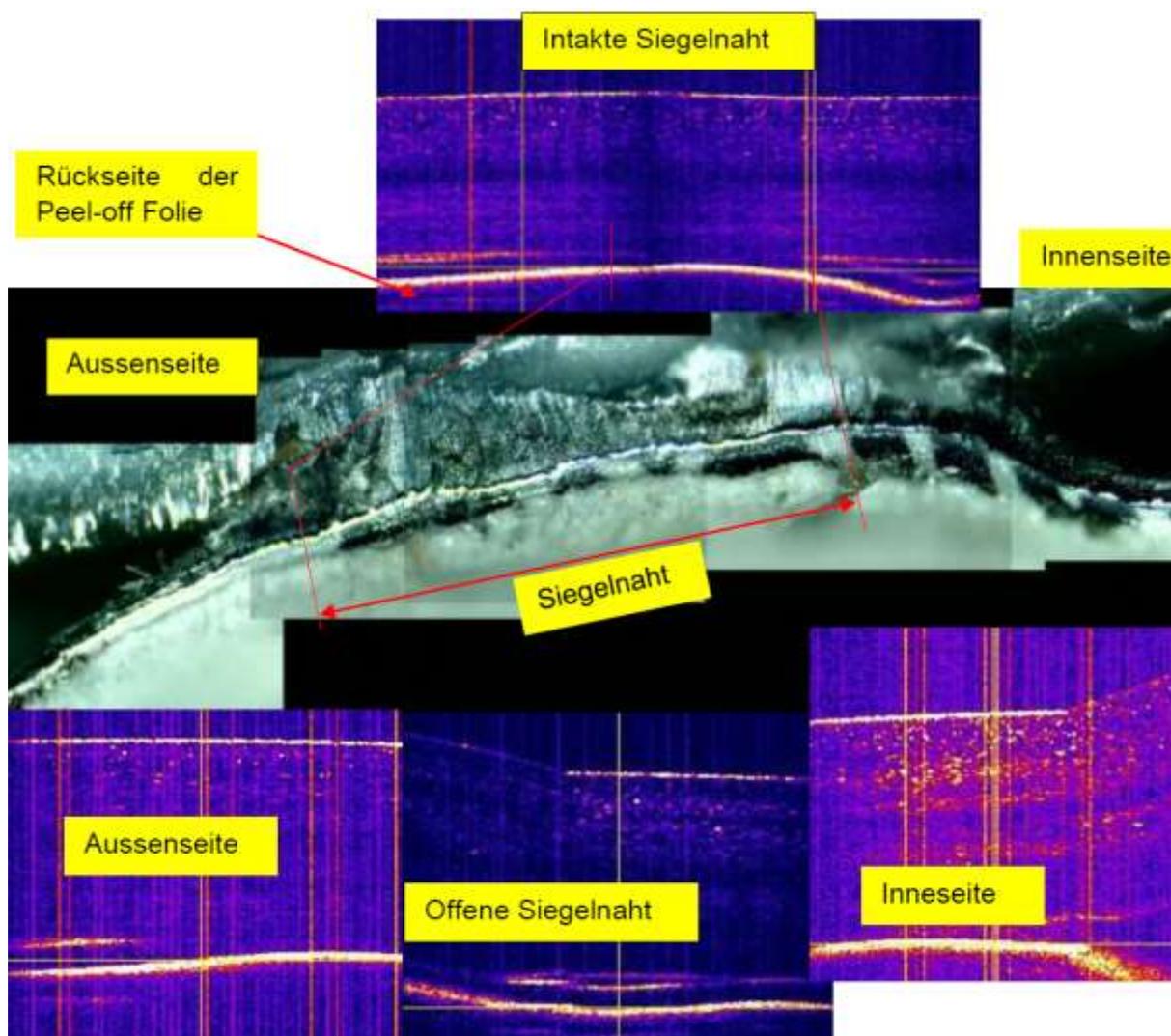
Beschichtungen schützen Bauteile vor der Zerstörung (Verderben, Korrosion, Erosion). Wir messen mit einem Lichtpuls die Dicke von Lackschichten auf eingebetteten

„Glitzerteilen“, die Lackdicke auf Kunststoffen aller Art und die Farbdicke. Aus den Messdaten lassen sich auch Beschichtungsfehler ableiten.

6. Siegelnahtinspektion:

6.1. Wir finden auch ein Haar in der Siegelnaht

Bei Verpackungen, die mit einer Deckfolie, welche vom Untergrund abgezogen werden kann, verschlossen sind, stellt sich immer wieder die Frage der Siegelnahtqualität. Erstmals ist es gelungen, sogar ein eingeschweisstes Haar mit einer robusten, für den industriellen Einsatz entwickelten Messtechnik in einer Siegelnaht zu erkennen. Das Prüfsystem erlaubt die Siegelnahtprüfung in Mikrometer-Genauigkeit bei hoher Prüfgeschwindigkeit.



Die Siegelnaht unter dem Mikroskop und im OCT-Bild. Die Siegelnaht wird von der Schichten klar und deutlich. Die Bilder zeigen „Lichtreflektionen“ in der Siegelnaht, welche erstmals eine objektive Klassierung der Siegelnahtqualität ermöglichen. Auch die Siegelnahtbreite zwischen dem Innen- und dem Aussenraum wird vermessen.

Im Gegensatz zu allen herkömmlichen Systemen zur Siegelnahtinspektion liefert die Lichtlaufzeitmessung eine klare Information über die Qualität der Siegelnaht, auch in der laufenden Produktion. Wir finden ein eingeschweisstes Haar ebenso wie Ölspritzer, Falten, Kaltschweissnähte und dergleichen. Das OCT liefert unabhängig von der Materialzusammensetzung auswertbare Informationen. Ob eine undurchsichtige Folie das Produkt schützt oder eine transparente Folie, ein Behälter mit versiegelter Oberfläche oder eine Klarfaltbox, ein Stülpedeckel oder eine Aludose, das alles spielt bei der OCT Siegelnahtprüfung keine Rolle. Die folgenden 2 Bilder zeigen das Bild Nr. 201 und das Bild 208 aus dem Stack von 500 Bildern. Da der ASP Sensor (Active Sensor Pixel Array) 1 Mfps (Million Bilder pro Sekunde) erfasst wird sogar ein Haar das in der Siegelnaht eingeschweisst ist, zuverlässig erkannt.



Was Sie bei uns standardmässig bekommen, sind eine klare Sicht in Ihre Siegelnähte und eine einzigartige Messtechnik. Ob Sie Kunststoffe versiegeln, einschichtige oder mehrschichtige Folien oder Aluminiumdosen, unsere Prüftechnik ist einzigartig.

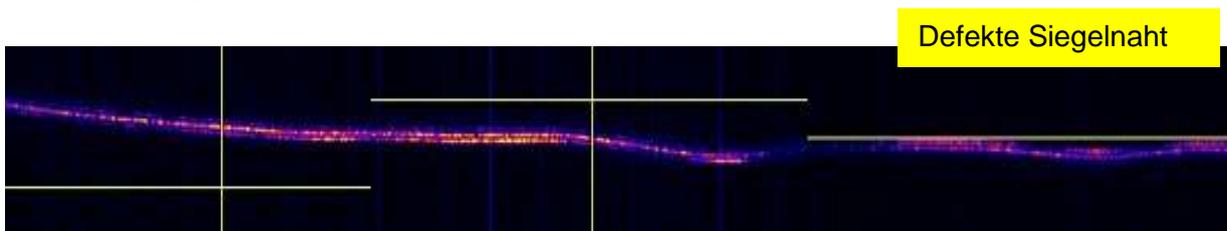
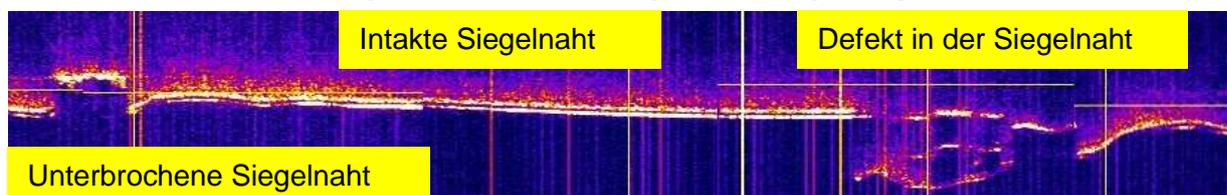


Bild oben zeigt die Siegelnaht auf einem Kunststoffbeutel (oben) und das folgende Bild zeigt einen versiegelten Peel Off Deckel auf einer Alu Dose (unten). Weil in den OCT Bildern auch die Zeit gemessen wird (Laufzeit der Photonen) können die Signale exakt einem Abstand zugewiesen werden.

Dies bedeutet, dass aus OCT Bildern unabhängig von der Geometrie- oder der Lage einer Schicht eine Aussage über die Tiefenlage eines Signals gemacht werden kann.



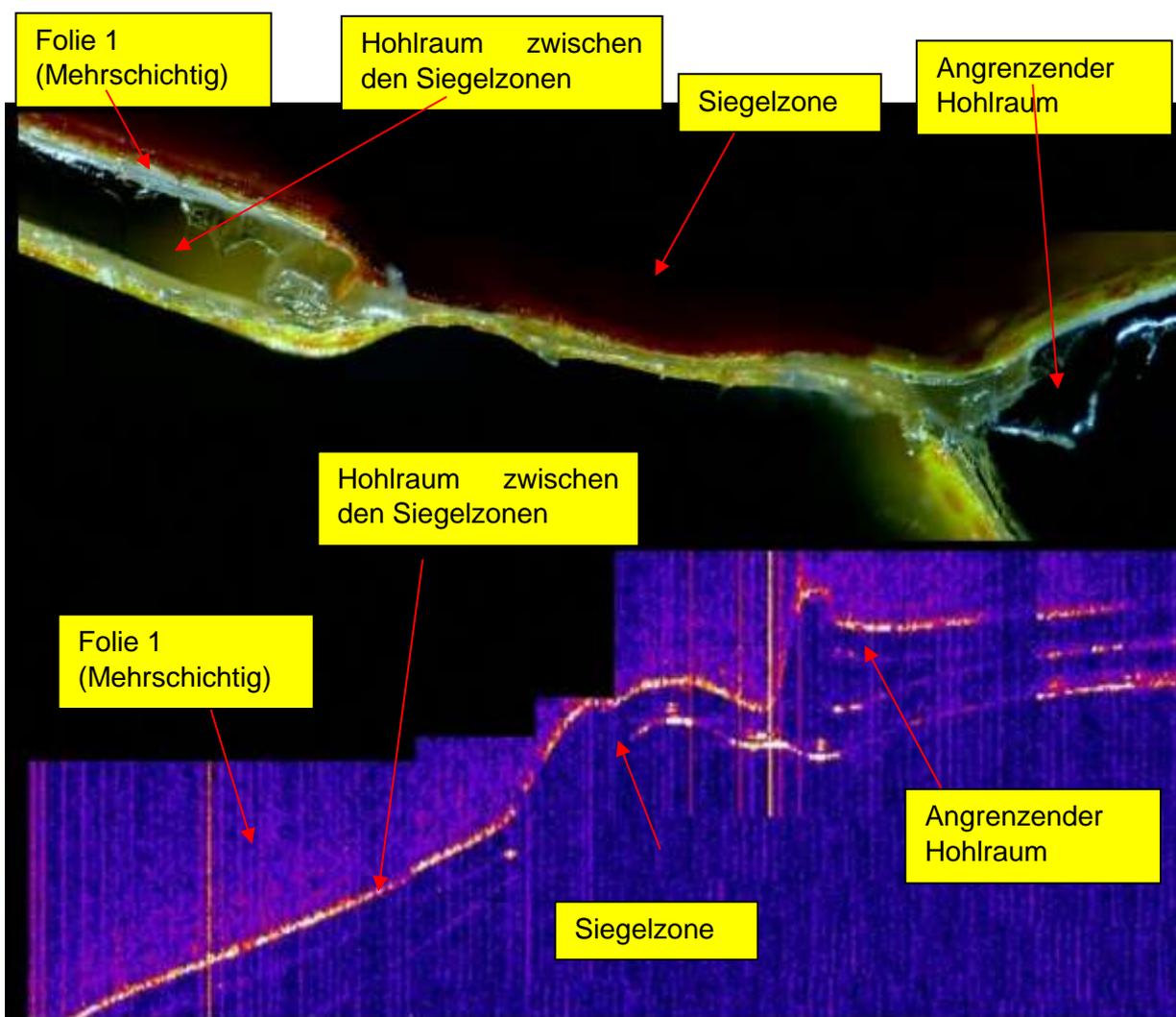
Pro Millimeter Siegelnahtlänge werden etwa 1000 Daten erfasst, dies heisst, dass pro Mikrometer Siegelnahtlänge 1 Datensatz zur Auswertung zur Verfügung steht.

Ein einzelner Punkt wird bei engsten Platzverhältnissen vermessen werden, weil die Signale über die Luft oder über Fasern übertragen werden.

Volumenscans mit dem OCT-Verfahren erreichen eine Tiefenauflösung (Achse senkrecht zur Oberfläche) im Submikrometer-Bereich.

6.2. Beispiele aus der Praxis

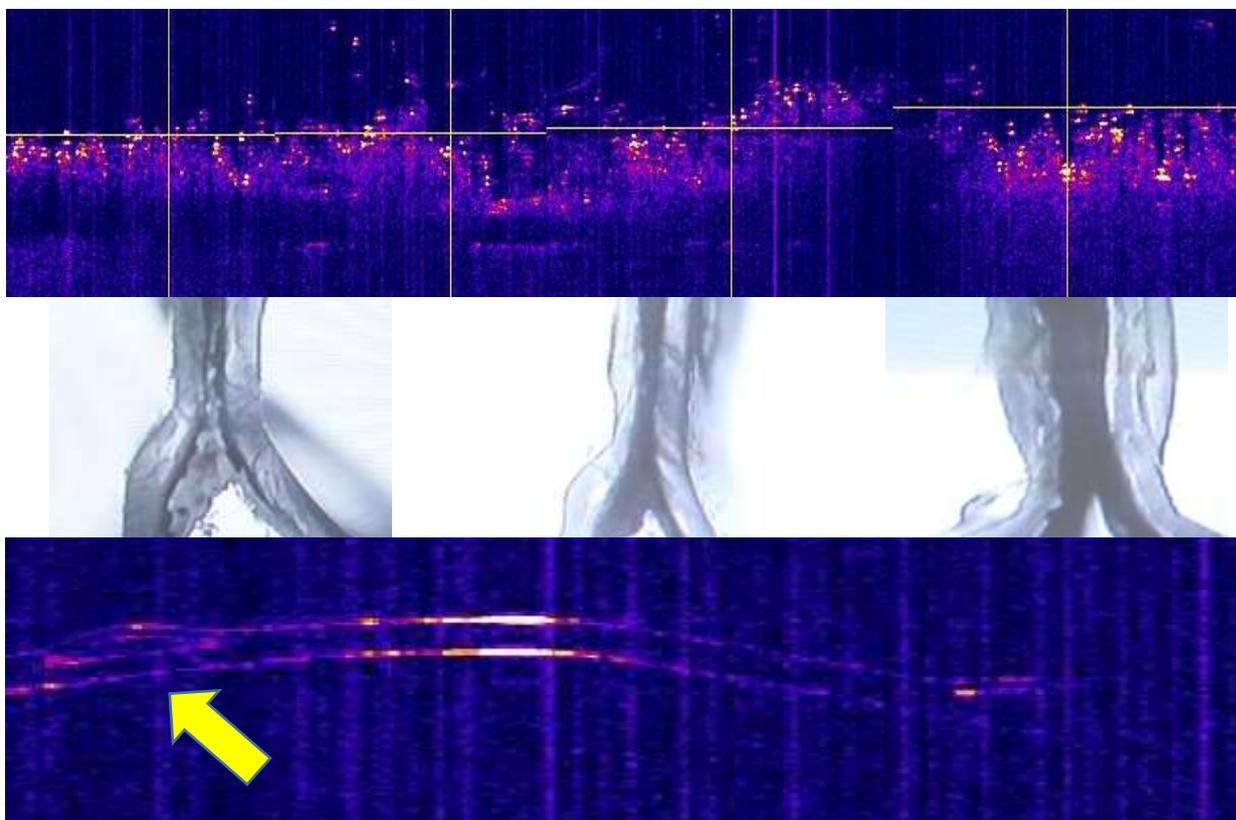
Mit dem Verfahren der Lichtlaufzeitmessung werden in einem Messvorgang die Geometrie erkannt, die Dicke einer Folie (oder mehrerer Folien) eventuell eingebaute Funktionsschichten. (EVOH oder andere)



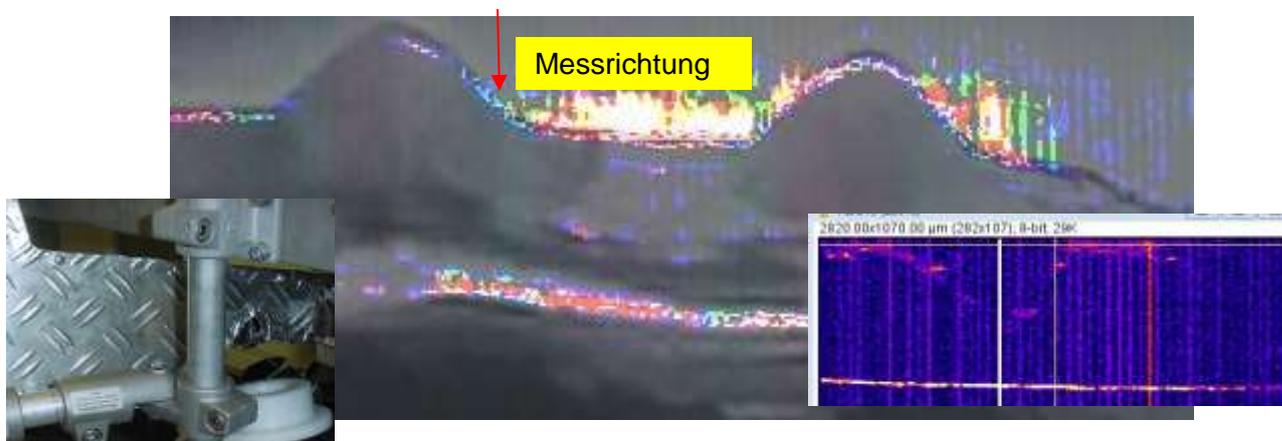
In einer gut versiegelten Zone entsteht keine Reflektion der eingestrahlichten Photonen, d.h. vom Mess- System wird keine Grenzebene erkannt. Bei offener Siegelnaht wird jede einzelne Schicht (Auch im Faltenbereich eines Beutels) zuverlässig erkannt.

6.2.1. Sicher versiegelt - einwandfrei produziert - effizient hergestellt

Die Prüfung von Siegelnähten an Tuben, Beuteln oder Schalen ist anspruchsvoll, weil die Verhältnisse in der Verbundzone nicht homogen sind. Eine gute Versiegelung weist keine Durchbrüche in der Siegelnaht auf und einzelne Schichten lösen sich nicht ab.



Um eine gute Siegelnaht zu garantieren, ist eine Prüfmethode notwendig, mit welcher jede Siegelnaht vollständig überprüft werden kann. Wir haben Messmethoden entwickelt die in der Lage sind, die Merkmale einer Siegelnaht mit Licht schnell und exakt zu messen und zu charakterisieren.



Die Charakterisierung der Siegelnaht erfolgt durch die Interpretation der gemessenen Lichtlaufzeit. Lichtpulse werden auf dem Produkt partiell gestreut oder reflektiert. Sie zeigen erhöhte Porosität im Siegelbereich, Ablösungen, Falten oder Geometriefehler. Kaum ein anderes Verfahren ist im Einsatz zur Siegelnahtinspektion derart robust und

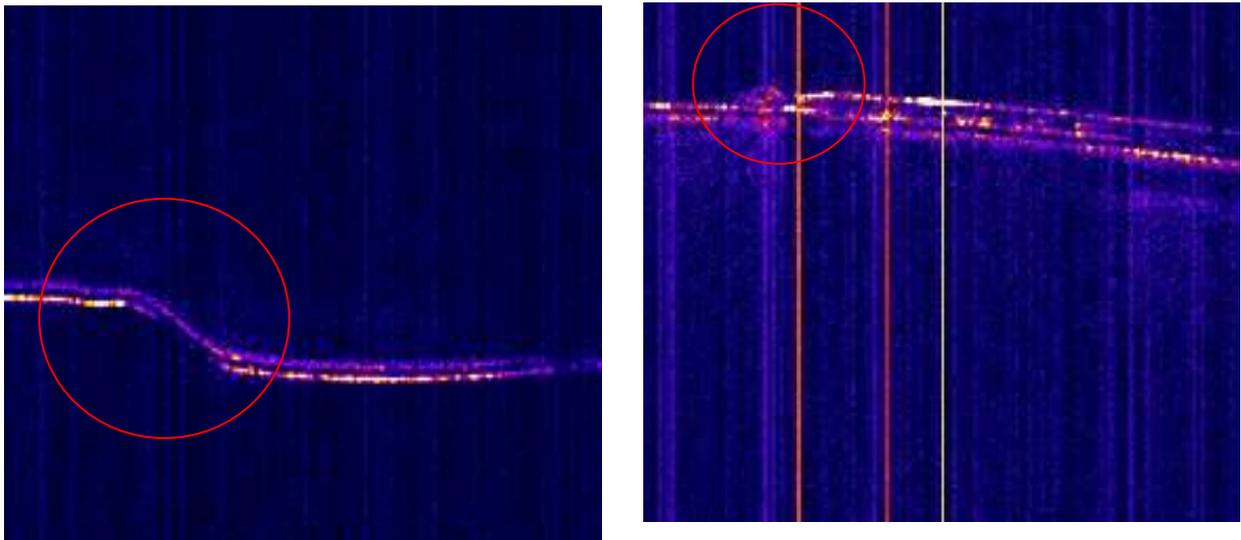
einfach wie die Lichtlaufzeitmessung. Unterschiedliche Massen im Siegelbereich stören das Resultat der Lichtlaufzeitmessung nicht und Unebenheiten oder Bewegungen des Produktes wirken sich kaum aus. Das folgende Bild ist die Überlagerung des Normalbildes mit dem Signalbild.

Bei der Lichtlaufzeitmessung zeigen sich unterschiedliche Reflektionen auf der Oberfläche des Produktes (ohne Auswirkung auf das Resultat) und im Bereich der Siegelnaht (horizontal verlaufende Zone).

Die Bedingungen in der Produktion können kaum geändert werden, weshalb sich technische Prüfsysteme diesen Anforderungen stellen müssen. Das Verfahren der Lichtlaufzeitmessung funktioniert berührungslos und schnell, was die Kontrolle nicht nur nach der Produktion, sondern auch während der Produktion ermöglicht womit teure und zeitaufwändige Messungen im Labor vor- oder während der Produktion entfallen.

6.2.2. Rohdaten aus einer Siegelzone

Im Detailbild (unten) aus dem Originaldatensatz (Siegelzone an einer Verpackung mit einer Alu Schicht) sind keine deutlichen Lichtreflektionen festzustellen. Die Streueffekte die entstehen lassen sich aufgrund der Erscheinung charakterisieren.



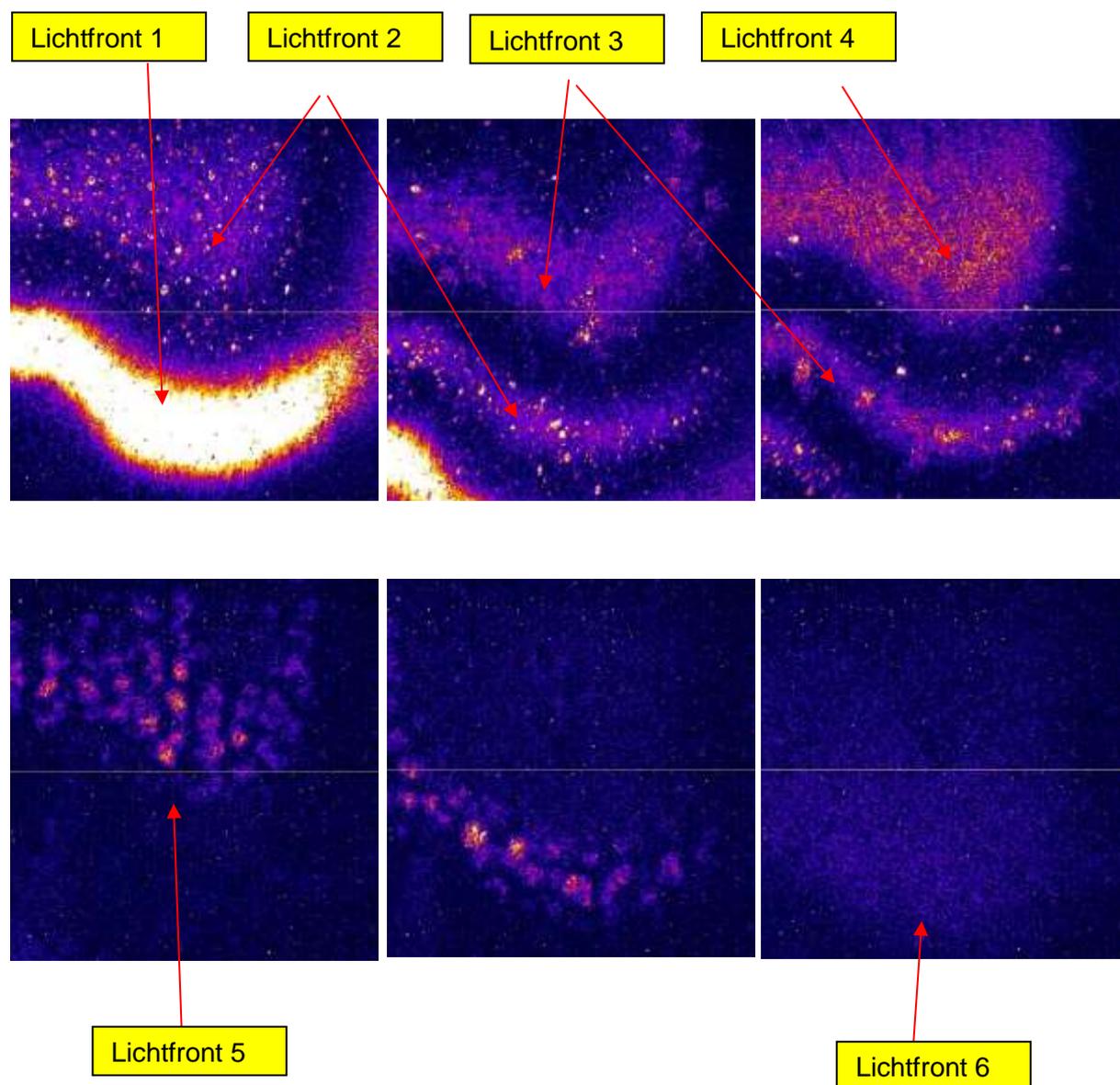
Die Dicke einer Schicht oder die Feststellung der Anzahl Folien in einem Folienverbund wird in einem Messvorgang festgestellt.

6.2.3. Jeder Schichtübergang liefert ein Lichtsignal.

In der folgenden Bilderserie sind die einzelnen Lichtfronten die bei einer einzigen Messung erfasst werden, dargestellt. Die erste Lichtfront (Bild links) zeigt die Oberfläche der Verpackungsfolie, gefolgt von den weiteren Lichtfronten. Die dunklen Zonen sind die Bereiche zwischen den einzelnen Folien. Ist eine Siegelnaht nicht vorhanden oder schlecht, so wird in den dunkleren Bereichen auch Licht reflektiert oder gestreut.

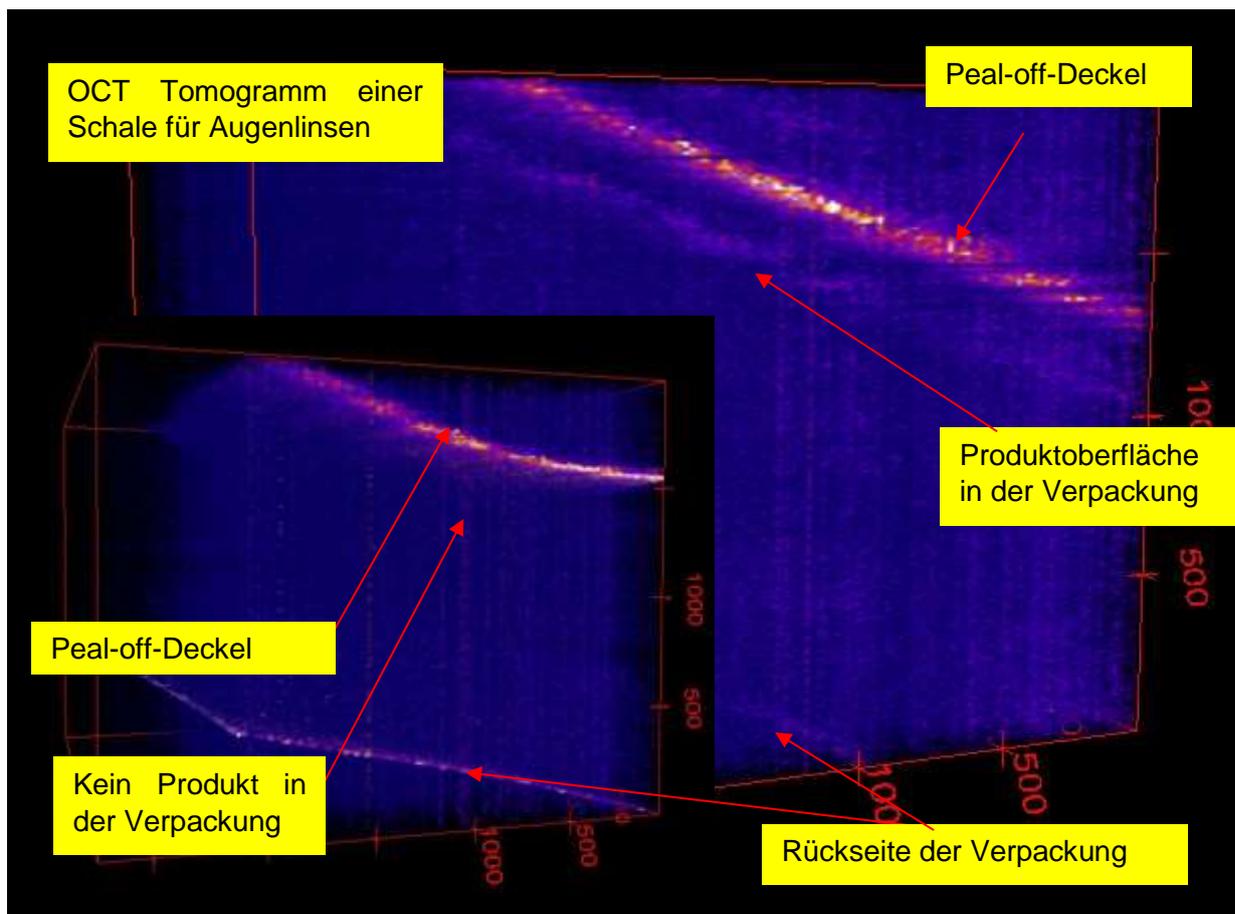
Das System misst mit einer geometrischen Auflösung zwischen 0,1 Mikrometer bis 100 Mikrometer und in z- Richtung deutlich unter 1 Mikrometer. Die Messkamera erfasst 1 Mio Bilder pro Sekunde. Ein grosser Teil der Daten wird direkt auf dem Sensorchip verarbeitet was den Auswertearbeit erheblich reduziert.

Überall wo Produktionsprozesse überprüft werden müssen, stellt sich die Frage, welches Verfahren sich am besten dazu eignet. Vielfach fällt der Entscheid auf „Überwachungskameras“, welche aber den Ansprüchen zur Lösung gestellter Aufgaben nur in Teilbereichen genügen.



Mit der OCT-Technologie steht robuste Technologie bereit, welche in einem Arbeitsgang mehrere Fragestellungen beantwortet. Das Verfahren haben wir eingesetzt um Material zu charakterisieren, um eine Geometrie zu vermessen, die Dicke einer Schicht oder eines Schichtverbundes und vieles mehr.

Das OCT-Verfahren eignet sich überall wo konventionelle Verfahren nicht mehr eingesetzt werden können.

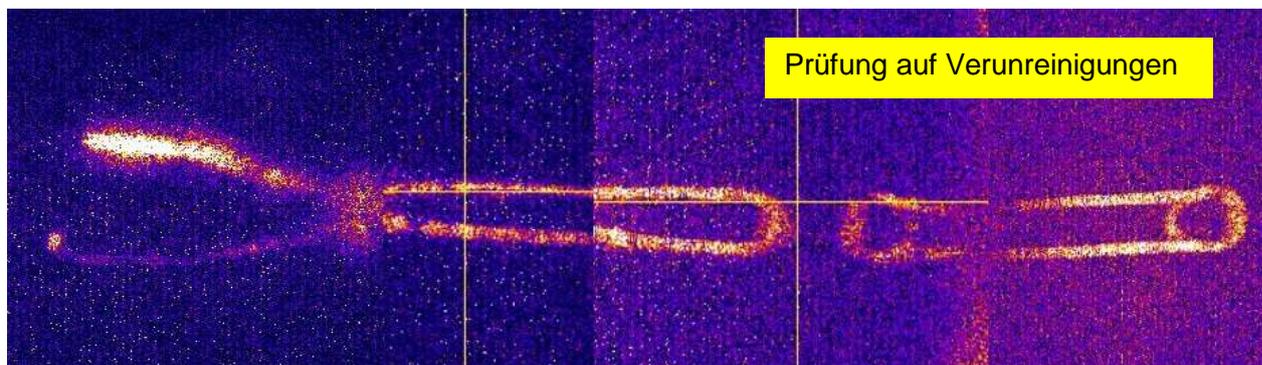


Das gestreute Licht aus dem Innern einer Verpackung fehlt im Bild unten links. Dies bedeutet, dass das Produkt fehlt.

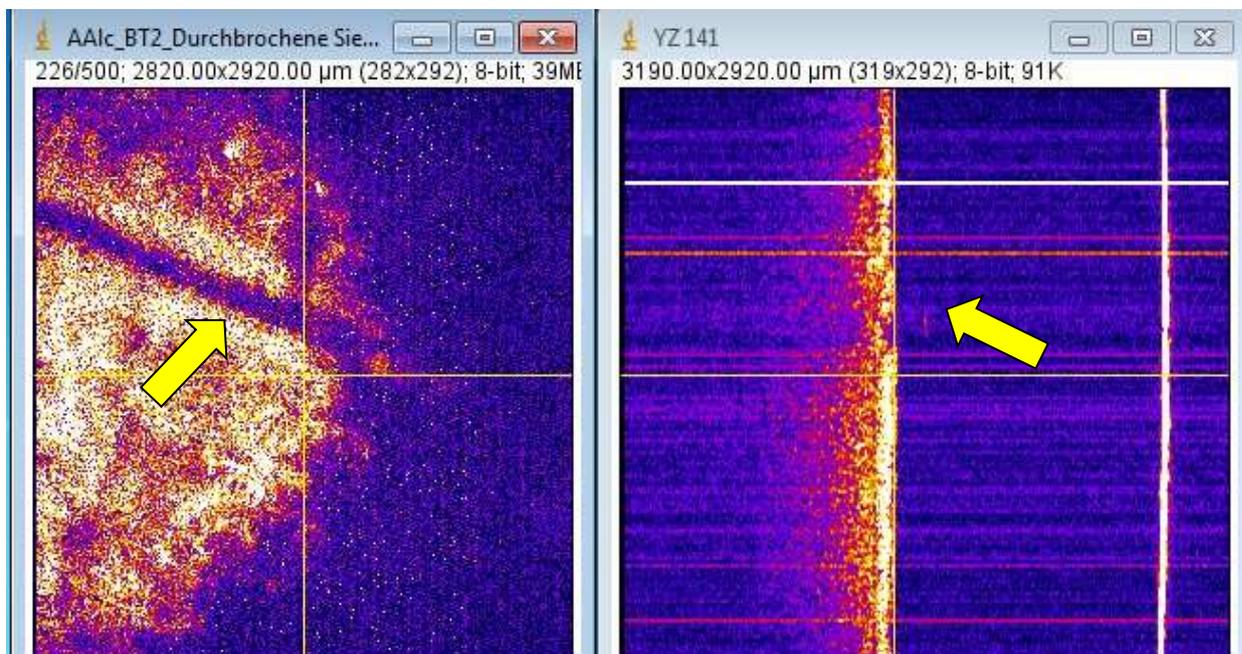
Die Prüfung mit der OCT-Technik erlaubt auch den Blick in das Innere einer Verpackung, wenn diese transparent oder halbtransparent ist.

6.2.4. Werkzeug in der Verpackung

Die verschlossene Verpackung wurde so untersucht, dass das Werkzeug in der Packung vom Prüfsystem immer im Fokus abgebildet werden konnte. Die hellen Konturen sind Reflektionen des Messlichtes.



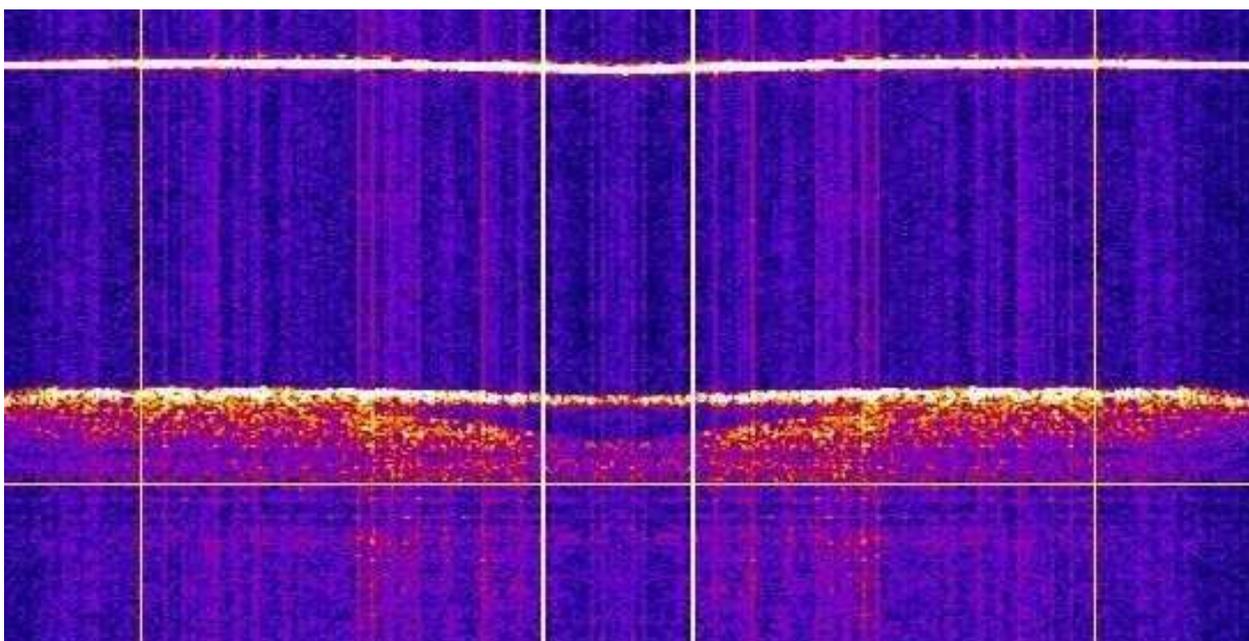
6.2.5. Siegenaht mit feinstem Durchbruch.



Wird die Siegelnaht verletzt so erscheint die Verletzung wie ein Kanal. Der Kanal kann im Bedarfsfalle auch vermessen werden. (Tiefe und Breite) Der Durchbruch ist etwa 90 Mikrometer im Durchmesser.

6.2.6. Siegelnahtfehler

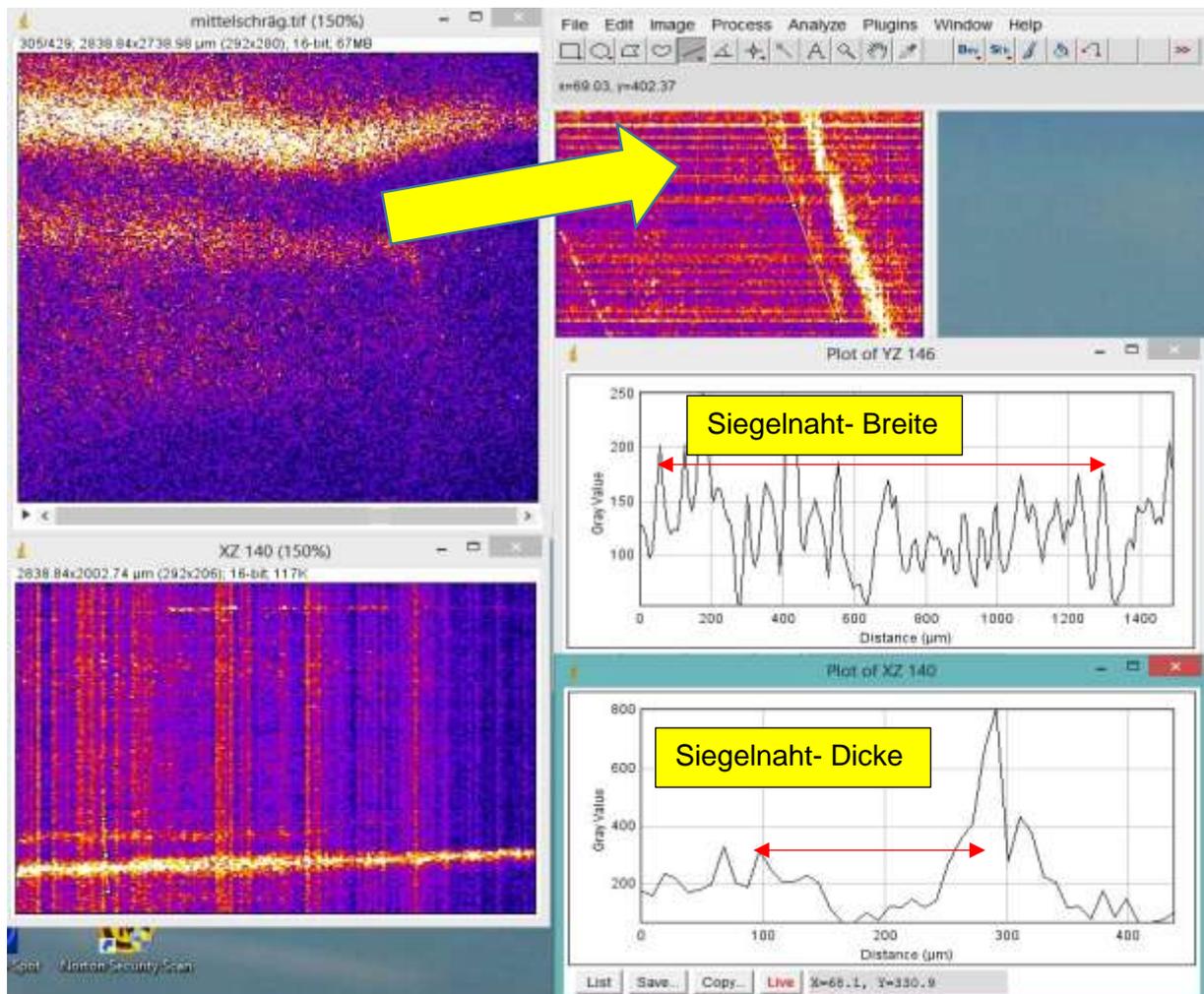
Die Siegelnaht wurde mechanisch beschädigt. (Messerspitze in die Siegelnaht eingetrieben).



Der Fehler in der Siegelnaht ist unübersehbar. Die grobe Verletzung zeigt sich abstrakt.

6.2.7. Breite einer Siegelnaht

Die Vermessung der Breite einer Siegelnaht erfolgt mit dem OCT- System während der Inspektion der Siegelnaht, weil sich die Breite an der Haftvermittlerschicht zeigt. Im folgenden Bild sind die Dicke der Siegelnaht sowie deren Breite vermessen.



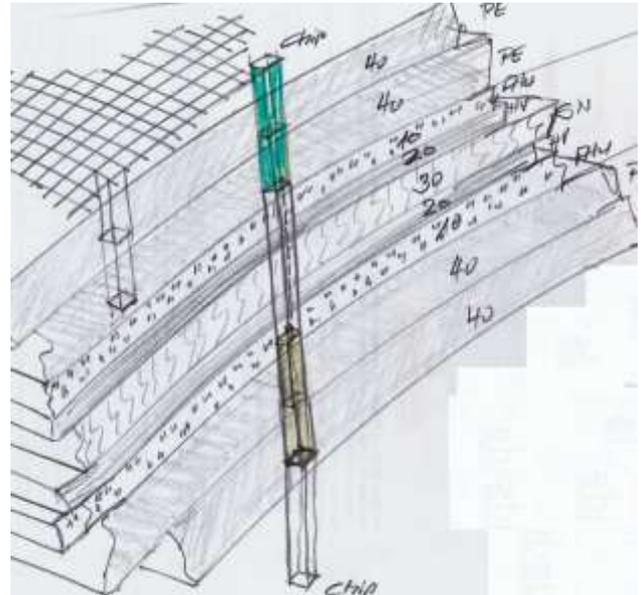
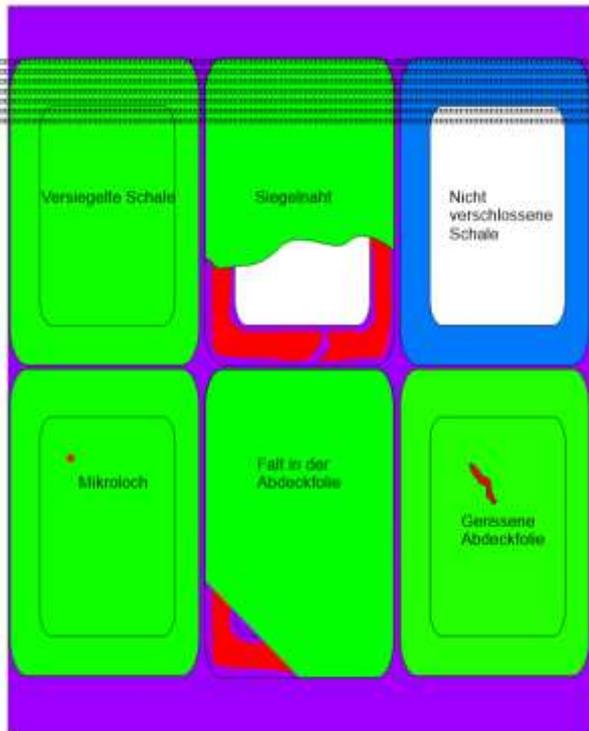
Von Fall zu Fall muss das zu vermessende Bauteil optimiert positioniert werden weil das OCT System die ganze Siegelnaht erkennen muss.

6.2.8. Anlage zur Geometrievermessung

Eine Prüfanlage zur Inspektion der Siegelnaht besteht aus einer OCT- Kamera, welche die verschlossenen Schalen inspiziert. Das Verfahren eignet sich besonders gut zur Inspektion der Siegelnaht in der laufenden Produktion bei transparenten oder halbtransparenten Abdeckfolien. Der wesentliche Vorteil des OCT- Verfahrens liegt darin, dass die geometrische Auflösung in der Ebene (Laterale Auflösung) von der Auflösung in z- Richtung entkoppelt ist. Die laterale Auflösung ist durch die Apertur der Optik bestimmt und kann eine Bildpunktgrösse zwischen 1 Mikrometer bis 1 mm erreichen. **Im Vergleich mit Visualisierungssystemen liefert das OCT- Verfahren**

auch genaue Informationen über die Tiefe einer Erscheinung, abhängig von der äussersten Oberfläche.

Dies bedeutet, dass sich nicht nur eine Siegelnaht inspizieren lässt, sondern auch „Mikrolöcher“ in der Abdeckfolie, Falten oder Risse. Die Genauigkeit der Abbildung in der Tiefe liegt bei 1 – 4 Mikrometer, abhängig von der eingesetzten Lichtquelle.



Folgende Kriterien werden vermessen.

- Ist die Abdeckfolie richtig positioniert
- Sind Fehler in der Abdeckfolie?
- Ist die Siegelnaht vollständig?
- Wie breit ist die Siegelnaht?
- Wandstärke im Radius (Kompromiss)
- Siegelranddicke
- Ebenheit der Siegelebene.
- Gesamthöhe
-Weiteres nach Bedarf

Die Vermessung der Siegelnaht wird in der gewünschten Genauigkeit zugesichert. Die zu erwartende Genauigkeit liegt bei +/- 10 Mikrometer.

Bei 500 mm Anlagebreite und bei einer Produktionsgeschwindigkeit von 500 mm/s werden folgende Spezifikationen erreicht:

Auflösung in z- Richtung (Tiefe)	1 – 2 Mikrometer
Laterale Auflösung	0,15 mm * 1,66 mm

Durch mehrere Sensoren (z.B. durch die Aufteilung der Sensoren auf eine einzelne Bahn) lässt sich die laterale Auflösung bei gleichen Anforderungen reduzieren.

6.3. Versiegelte Verpackungen

Die Validierung von versiegelten Verpackungen beschäftigt die Fachleute, denn aufgrund gestiegener Qualitätsanforderungen muss sich künftig jeder Hersteller von Produkten und jeder Verteiler umfassend mit dem Qualitätsmanagement befassen.

Es macht kaum Sinn, in der Sicherstellung der Hygiene in der Produktion und Verarbeitung von Nahrungsmitteln grosse Anstrengungen zu unternehmen, wenn anschliessend die Verpackung eine mangelhafte Siegelnaht aufweist.

Um den Anforderungen auch beim Versiegeln gerecht zu werden muss der Anwender sicherstellen, dass die eingesetzte Prüftechnik eine professionelle Validierung der Anforderungen nach EN 868-5 erlaubt. Wer Anlagen zur Herstellung von Siegelnähten herstellt, muss die Norm ISO 9000:2000 (ersetzt ISO 8402) beachten.

Darin heisst es:

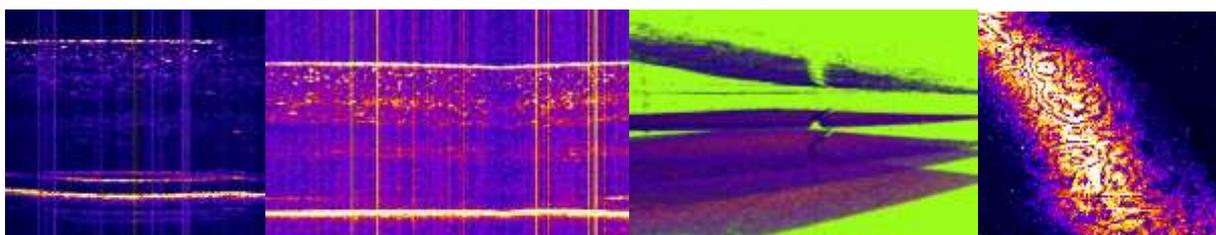
"Bestätigung durch Untersuchung und Bereitstellung eines objektiven Beweises, dass die besonderen Anforderungen für einen speziellen vorgesehenen Anwendungszweck erfüllt werden".

Das bedeutet:

- Identifikation der kritischen Parameter (Installation Qualification).
- Beweis der Übereinstimmung von Prozess und Parameter (Operation Qualification).
- Demonstration der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse (Process Qualification).
- Bereitstellung eines Systems zum Beweis der Folgerichtigkeit (Process Control)

Die sorgfältige Analyse der Materialspezifikation wie z.B. Beschaffenheit, Dicke, Seitenfalte oder keine Seitenfalte etc. ist wichtig für die richtige Einstellung der Siegelparameter. Die Verwendung von Folien verschiedener Hersteller darf die Gewährleistung der Siegelqualität nicht in Frage stellen. Um nichts zu unterlassen, was zu einer Qualitätsminderung führt, ist eine Prüfung an der fertigen Siegelnaht notwendig. Ob eine undurchsichtige Folie das verpackte Produkt schützt oder eine Klarsichtfolie, ein Behälter mit versiegelter Oberfläche oder eine Klarfaltbox, eine Hülle oder ein Peel Off Deckel aus Aluminium, spielt für uns keine Rolle.

Die Siegelnahtprüfung mit unserem OCT System liefert Informationen über die Haftung einer Siegelnaht sowie über die Breite derselben. Mikrometergenau werden Haftungsfehler oder Inhomogene Siegelnähte berührungslos erkannt.



Jede „Lichtfront“ zeigt die Abweichungen von der ungestörten- zu einer fehlerbehafteten Siegelnaht schnell und zuverlässig. Abweichungen auf einer versiegelten Oberfläche werden genauer erfasst als 1 Mikrometer, was bedeutet, dass auch Fischverpackungen

aus Aluminium geprüft werden können. Die **Versiegelung** von Tuben, Folien, Behältern oder irgendwelcher Verpackungen erfordert **Prüfverfahren**, die **schnell** genug sind, um die erforderlichen Aussagen in der laufenden Produktion abzuleiten und die auch die erforderliche **geometrische Auflösung** haben. Weil die Verpackungsmaterialien unterschiedlich sind, ist der Wahl des Prüfverfahrens gebührend Beachtung zu schenken. Während der Verschluss von Verpackungen, die aus einer einzelnen Folie bestehen, einfach ist, erfordert die Prüfung von Folien mit metallischen Einlagen oder mehrschichtige Verpackungen einen deutlich grösseren Aufwand.

6.4. Merkmale die mit dem OCT System lokalisiert werden:

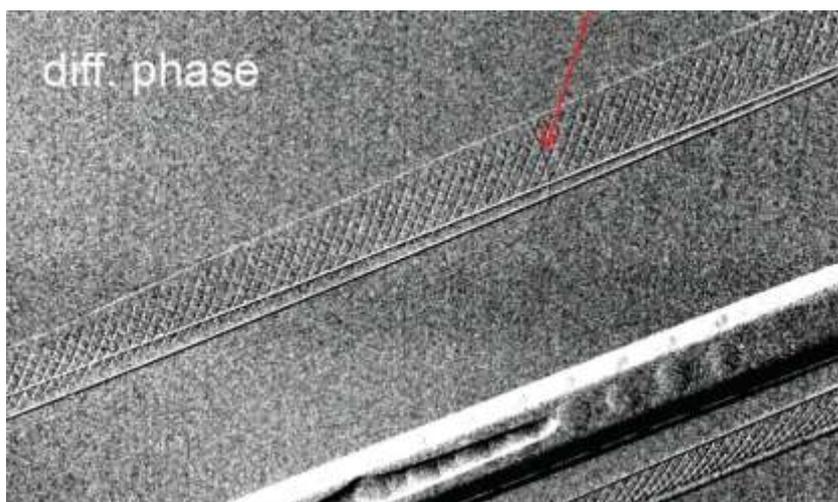
Zum Beispiel bestehen folgende Anforderungen:

Fehlerart	Beschreibung
Folie	Bestehen Löcher, Risse, Folie Lücken oder micro holes?
Folie	Sind alle Lagen in der Folie vorhanden?
Folie	Wie dick sind die einzelnen Schichten in der Folie?
Gassperrschicht	Ist die Gassperrschicht vorhanden und wie dick ist diese Schicht?
Haftvermittler	Ist der Haftvermittler vorhanden?
Verschmutzung	Sind Fremdkörper in der Siegelnaht eingebettet?
Verschmutzung	Sind Teile oder Verschmutzungen in der Kalotte (Rauhe oder glatte Oberfläche)?
Verschmutzung	Sind Schmutzpartikel oder Fremdkörper in der Füllung von einer versiegelten Verpackung?
Partikel	Sind noch Restpartikel in der Kavität (Kunststoffe, Glas oder sonstige Fremdprodukte)?
Falten	Bestehen Falten in der Folie?
Ausrichtung	Sind das Produkt, die Kavität oder die Abdeckung richtig ausgerichtet?
Dichtung	Ist die Dichtung richtig auf der PP-Schale? Ist die Dichtung zentriert?
Dichtung	Ist die Abdichtung zwischen der Schale und dem Verschluss richtig oder bestehen Unzulänglichkeiten? (Schwächere oder nicht sauber verschlossenen Siegelnaht).
Schalenschaden	Sind die Schale oder Teile davon gebrochen, gerissen, verbogen, defekt oder verschmutzt?.
Luftblasen	Bestehen Hohlräume in der PP-Schale in der Siegelnaht? (Kaltverklebung).
Fehlende Kalotte	Fehlen Kalotten oder mehrere PP-Shells in einem Blisterstreifen?
Siegelnaht	Bestehen Nahtfehler, Wrinkles, Kanäle oder andere Unregelmäßigkeiten in der Siegelnaht?
Siegelnaht	Wie breit ist die Siegelnaht und wie ist diese qualitativ bewertet? Schwache (Nicht gut haftende) Siegelnaht, Breite der Siegelnaht (<1 mm bis > 1,5 mm) oder offene Siegelnaht.
Siegelnaht	Bestehen in der Siegelnaht kleinste Durchbrüche (Haare, kleinste Krümel)?
Siegelnaht	Ist der Siegelrand eben oder parallel zur Siegelebene?

6.5. Andere verfügbare Technologie

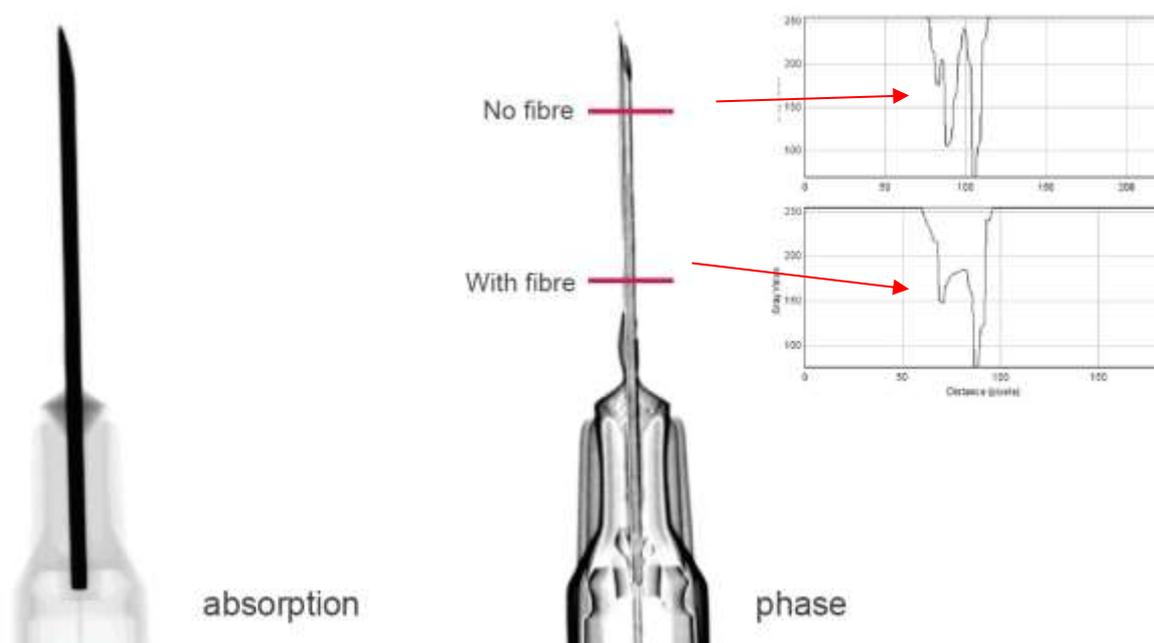
Neben der OCT Verfahrenstechnik ist die Phasenkontrast- x Ray Technologie nicht zu vergessen. Es ist die höchste Technologie, welche heute für besonders anspruchsvolle Messaufgaben verfügbar ist.

Das Verfahren ist nach heutigem Stand der Technik das sicherste Verfahren zur Siegelnahtinspektion. Die Beschaffungs- die Betriebs- und die Unterhaltskosten verhindern heute einen breiteren Einsatz des Verfahrens.

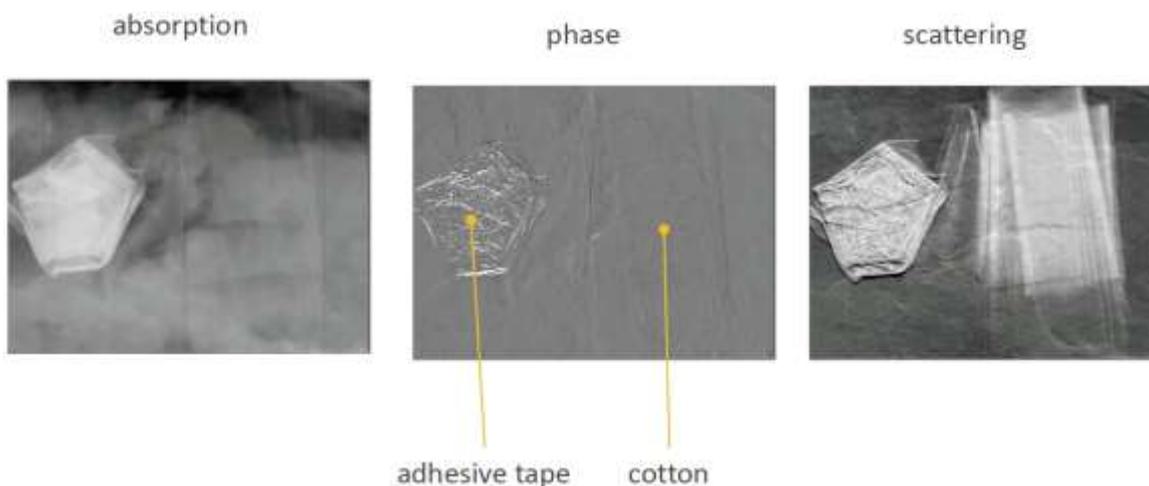


Andere Anwendungen der Phasenkontrast- x- Ray Verfahrens:

Ist in der Nadel noch ein Bruchstück oder eine Faser? In den Grafiken auf der rechten Seite erkennt man exakt wie tief die Faser in der Nadel steckt. Solche Resultate werden mit dem Phasenkontrast x- ray- Verfahren sicher und reproduzierbar erzeugt.

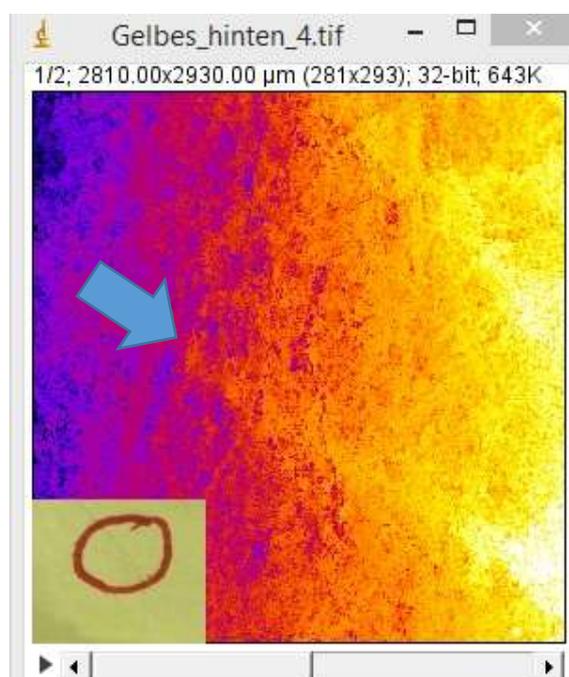
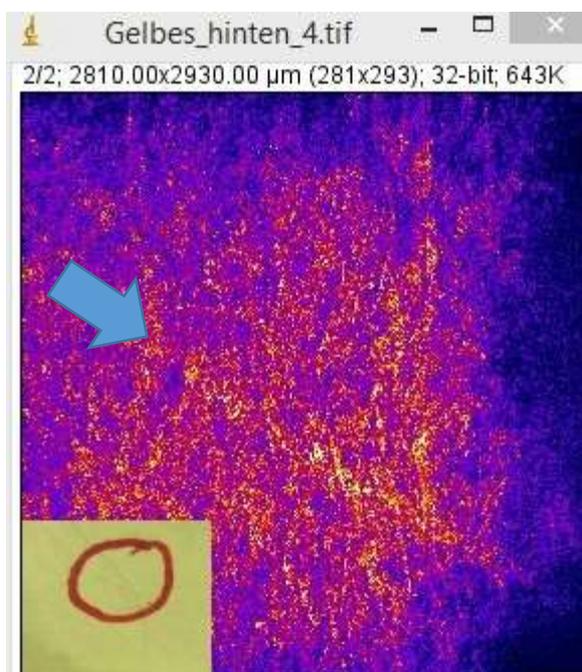


Textiles in Lasagne



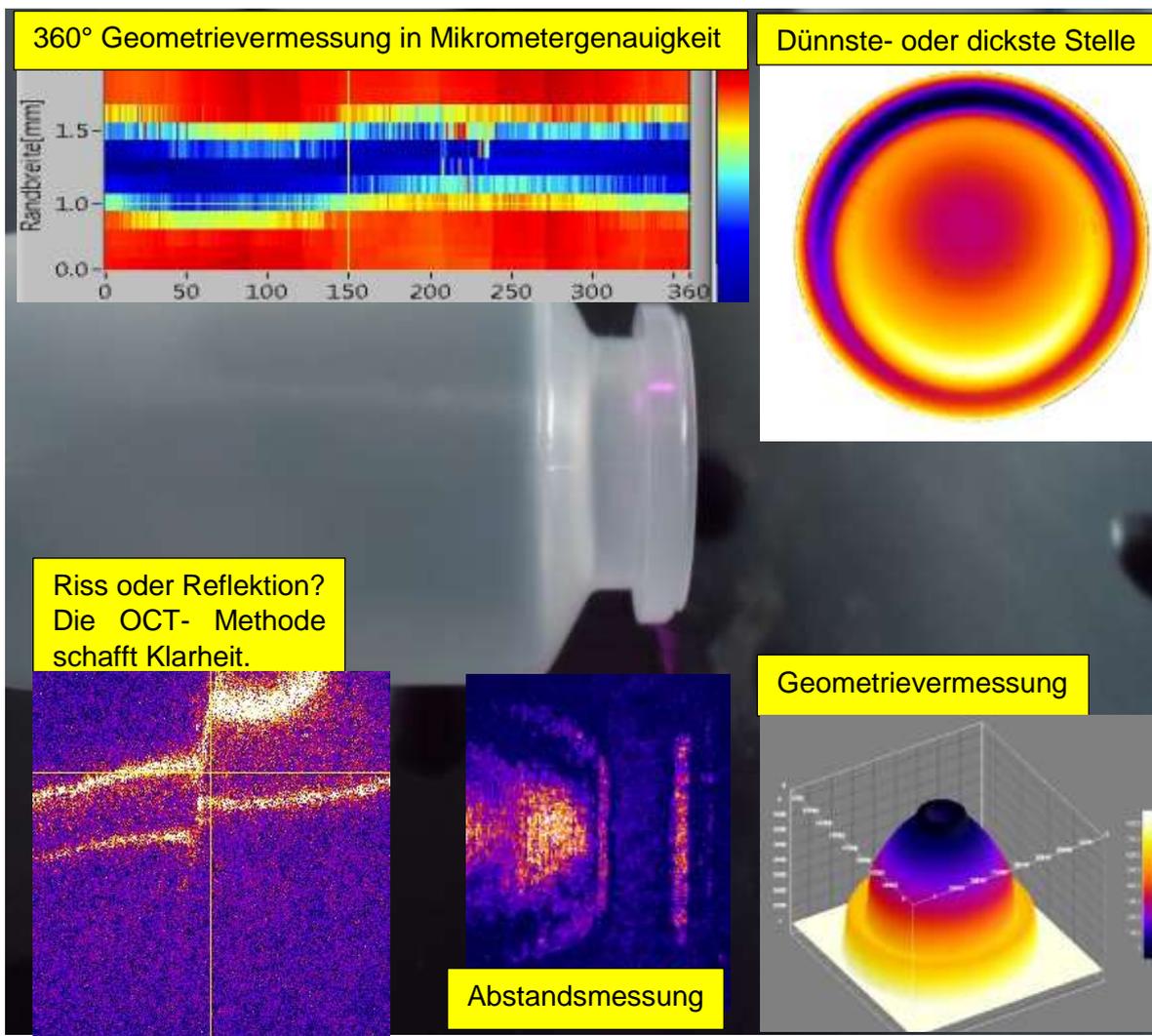
Verschiedene Situationen bei stark streuender Siegelnaht- Abdeckung.

Einzelnes Haar das in der Siegelnaht eingeschweisst wurde. Dargestellt ist das Objekt im Phasenbild (links) und im Amplitudenbild (rechts).



7. OCT Verfahren zur Prozesskontrolle mit Licht.

Mit dem OCT- Verfahren werden Mikrorisse, Materialveränderungen oder Kratzer, Abmessungen sowie die Parallelität oder die Ebenheit von Flächen zueinander eindeutig und die Dicken von Schichten schnell und völlig berührungslos im gleichen Arbeitsgang vermessen.

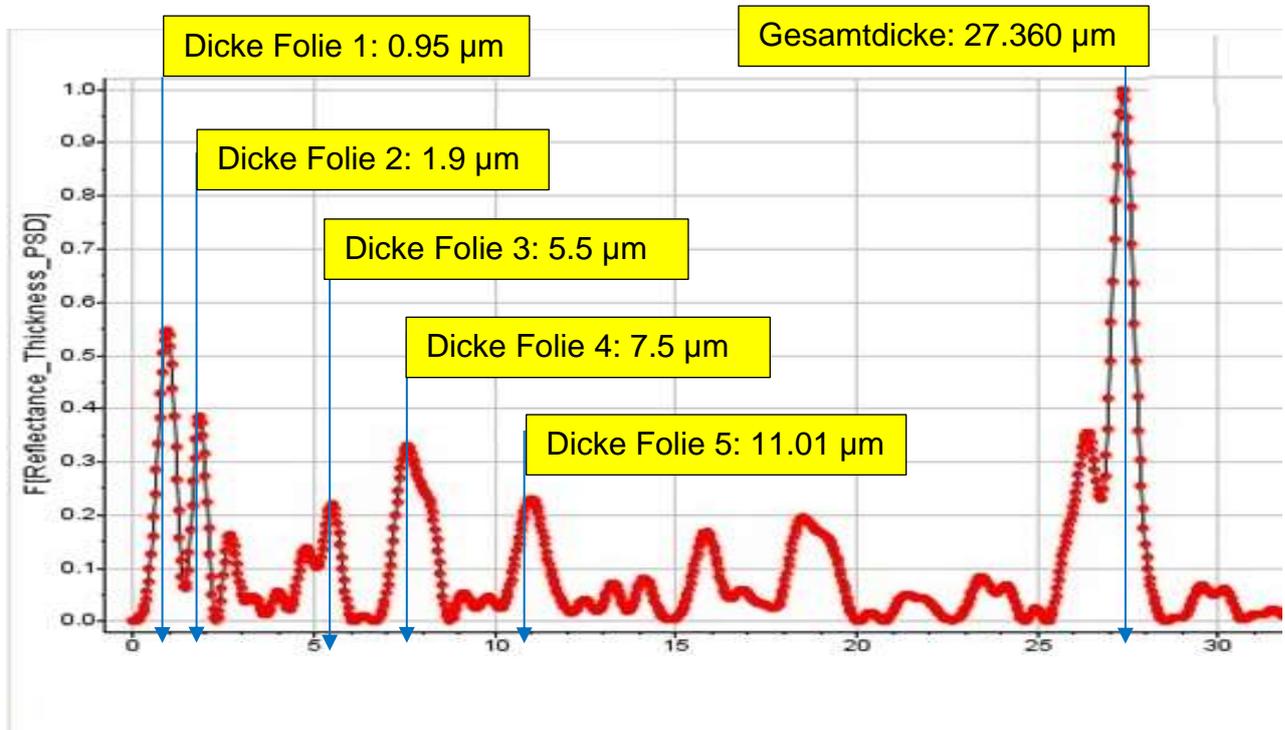


Immer wenn Licht eine Schicht passiert entsteht eine spektrale Reflexion die zu einem messbaren Signal führt, das ausgewertet werden kann. Mit Licht wird die Dicke von jeder transparenten oder semitransparenten Schicht berührungslos, sehr schnell und höchst genau gemessen, auch wenn mehrere Schichten übereinander liegen.

Die spektrale Reflexion liefert robuste Signale zur berührungslosen Vermessung dünnster Schichten mit höchster Präzision. Das folgende Beispiel zeigt einen mehrlagigen Kunststoff- Film der auf einer Alu- Folie aufgebracht ist. Die Dicke der einzelnen Schichten sowie die Gesamtdicke lassen sich höchst genau aus den Signalstapeln ableiten.

7.1. Signal- oder Bilderstapel

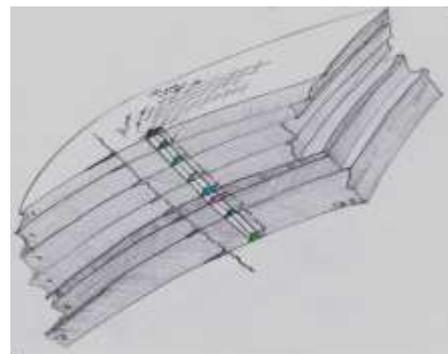
Die Dicke einer Schicht (d) oder die optischen Konstanten (n) können aus einem Signalstapel auch dann abgeleitet werden, wenn weder die Dicke noch der Brechungsindex bekannt sind.



mehrere Folienschichten übereinanderliegen. Die folgenden zwei Bilder zeigen eine reale Situation. Die auf der Alu- Schicht aufgetragenen Kunststoffschichten müssen selektiv gemessen werden um die Prozesssicherheit zu gewährleisten.



Plastifizierte Alu- Folie



Skizze einer möglichen Schichtfolge

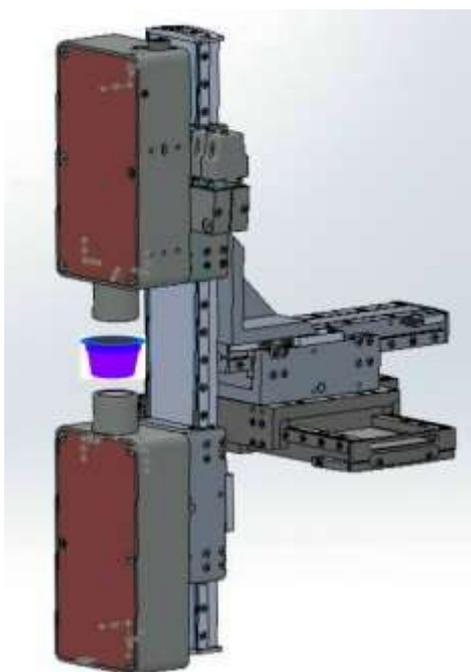
Die Anwendung interferometrischer Messsysteme ist nicht durch die Verfahrenstechnik limitiert, sondern oft (leider) durch die Geräte, welche im Handel angeboten werden, was durch eine modulare Bauweise der Messgeräte und durch die Integration der Modellierung der Schichtsysteme eliminiert werden kann.

- ➔ Die spektroskopische Schichtdickenmessung liefert exakte Resultate zur Dicke oder zum Brechungsindex bei Monofolien oder bei mehrlagigen, transparenten oder semitransparenten Schichten.

- Die Resultate sind ebenso exakt wie die Resultate, die mit der Ellipsometrie erzeugt werden.
- Die spektroskopische Schichtdickenmessung oder die Ellipsometrie sind indirekte Messverfahren, d.h. man braucht zur richtigen Auswertung ein analytisches Modell zum gemessenen Signal- oder Bilderstapel.
- Die physikalischen Parameter (Dicken, optische Konstanten) werden aus der besten Passform zwischen dem Modell und dem gemessenen Signal hergeleitet.
- Bei dickeren Schichten nimmt die Empfindlichkeit der Reflexionsmessung ab, jedoch bieten sich andere interferometrische Verfahren an.
- Mit der Reflektionsspektroskopie werden Schichten die kleiner als 5nm sind noch exakt vermessen.
- Die Messung der Dicke und der Brechungsindices erfolgt gleichzeitig, bei nicht absorbierenden Filmen. ($k=0$)
- Die Bestimmung der n , k -Werte erfolgt durch direkte Inversion von Messdaten. (Spezialfall, meistens für Substrate mit unbekanntem Material)
- Die Methode kann auch im laufenden Prozess eingesetzt werden.
- Gleichzeitig können aus den Signalstapel auch Aussagen zur Rauheit einer Oberfläche abgeleitet werden.
- Bei der Datenberechnung wird die Wechselwirkung des Lichts, das zur Messung verwendet wird, mit dem Messobjekt analysiert. Zur Analyse wird ein im Signal- oder Bilderstapel verwendet.

7.2. Schalen und Behälterproduktion:

Zur Verbesserung der Produktionssicherheit werden zum Beispiel thermisch umgeformte Bauteile direkt nach dem Entformen in einem DUAL- Messkopf Anlage vermessen. Das Bild links zeigt den DUAL- Messkopf auf der z- Achse und auf den x- y- Schienen, Bild rechts zeigt den DUAL- Messkopf auf einem Portal montiert.



Zur Vermessung stehen zwei Messprogramme zur Verfügung. Im Standard-Messprogramm werden alle Kriterien komplett vermessen wie auf der Grossanlage, wo die Kapseln Batchweise vermessen werden. Die Messzeit pro Kapsel beträgt etwa 20 Sekunden. In Schnell- Messprogramm wird eine Kapsel möglichst schnell Vermessen. Die Zeit zur Vermessung der minimal notwendigen Daten liegt bei etwa 4 – 5 Sekunden pro Kapsel.

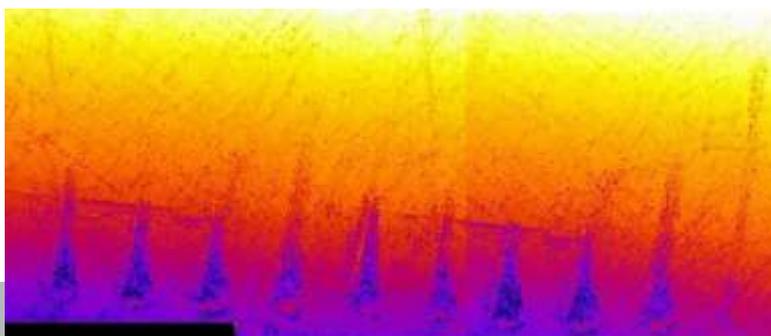
Zur Beschickung der Anlage kann ein Roboter eingesetzt werden. Zur Vermessung sind in der Regel verschiedene Messplätze verfügbar. Während ein Bauteil vermessen wird, stellt der Roboter das nächste Bauteil zur Vermessung bereit.

Die Bauteile aus einem ganzen Werkzeug werden nacheinander in die Prüfposition gebracht und in die Aufnahmevorrichtung gelegt. Der Roboter greift die Prüfplatte für die bestimmte Kapsel aus dem Kapsellager und legt die Platte auf den Prüftisch beim OCT System. Nun wird durch den Roboter das erste Bauteil aus der Aufnahmevorrichtung zum Messplatz gebracht und in die vorbereitete Kavität eingelegt. Nachdem das Bauteil abgelegt ist, beginnt das OCT- System mit dem richtigen Programm das Bauteil zu vermessen und die Kriterien in das vorgesehene Protokoll einzutragen. Der Roboter greift dem nächsten Bauteil und legt diese – nach der Freigabe durch das Mess- System - in die leere Kavität der Aufnahmeplatte. Der OCT Messkopf verschiebt sich im Position 2 und führt die Messungen nach Vorgabe des Programms wieder aus. Dieser Prozess geht solange, bis alle Kapseln aus der Aufnahmevorrichtung geprüft und vermessen sind.

7.2.1. Beschädigungen auf der Siegelebene

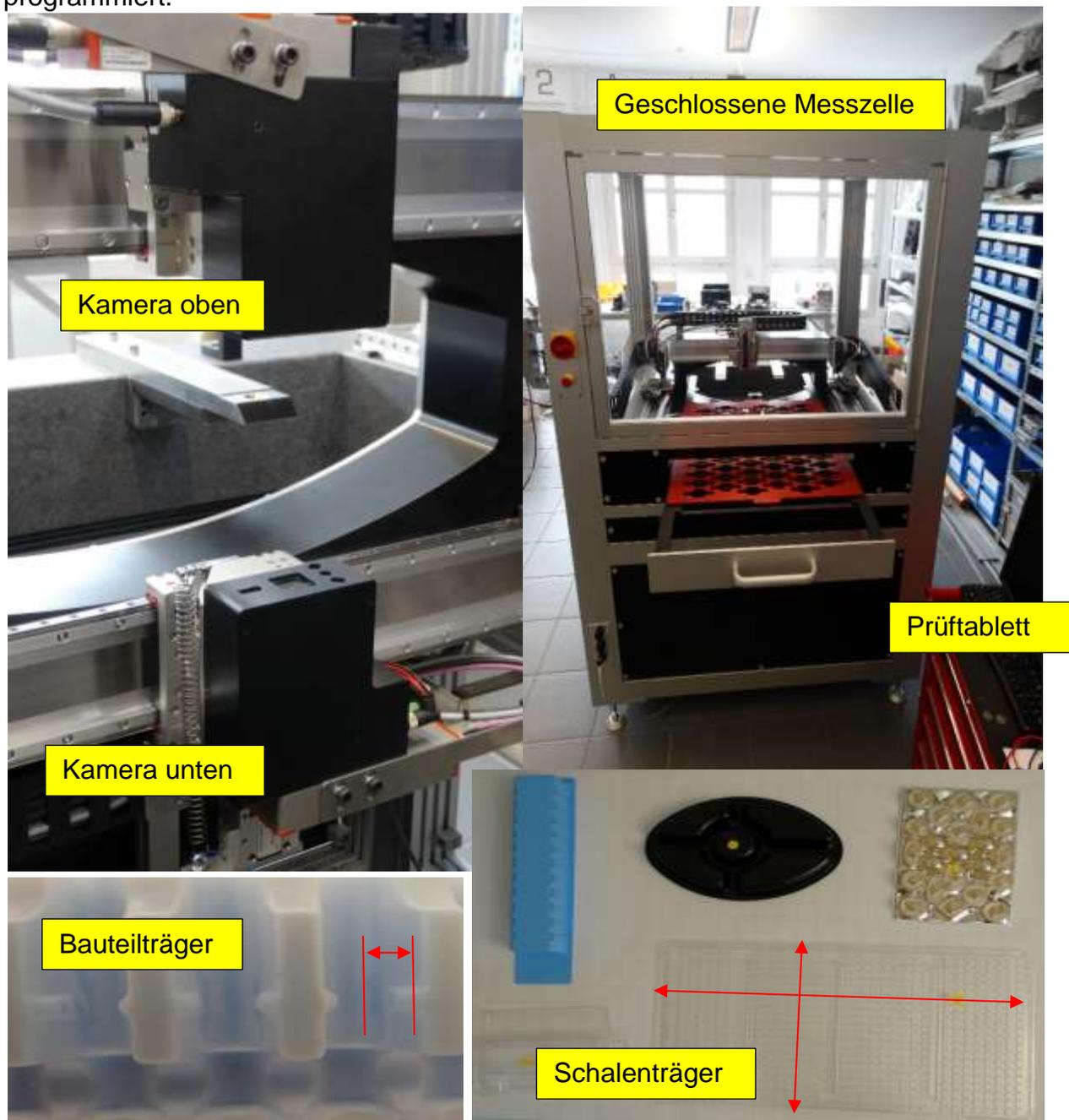
Die Bauteilgeometrie wechselt. Dies heisst., dass mit dem Auftrag an den Roboter auch die Prüfaufgabe definiert ist. Das Vorgabedokument wird geladen und die Aufgabe wird durch die Prüfzelle entsprechende den Kriterien abgearbeitet.

Im Bild sind „Rattermarken“ auf dem Siegelrand, eine Art von Fehlern, die vom OCT- System sicher erkannt werden.



7.2.2. Vermessung von Einlegeschalen und Teilehaltern:

Bei Einlegeschalen sollen die Aussenabmessungen und weitere Masse in beiden Richtungen der Schale gemessen werden. Sind nur die Aussendimension der Schale und das Randbreitenmass zu messen, erfolgt dies mit dem Standardmesskopf, ohne Zusatzoptik. Mit dem optischen Werkzeug können die Breite einer Schale sowie die Länge und zusätzliche Abstände gemessen werden. Sind Abstände zu vermessen erfolgt dies mit dem Standardmesskopf. Dazu wird der Messkopf entsprechend programmiert.



Wird an Stelle des Prüftabletts mit den Kavitäten für die Kapseln, ein transparenter Schalenträger (z.B. eine Kunststoffscheibe) eingelegt, können die zu vermessenden Bauteile einfach abgelegt werden. Die Positionierung kann beliebig erfolgen.

Das Mess- System erkennt die Lage des Bauteils und richtet sich zur Vermessung nach den Vorgabewerten. Das System kann zum Beispiel die Farbkamera zu Hilfe nehmen um den interessierenden Messort zu finden.



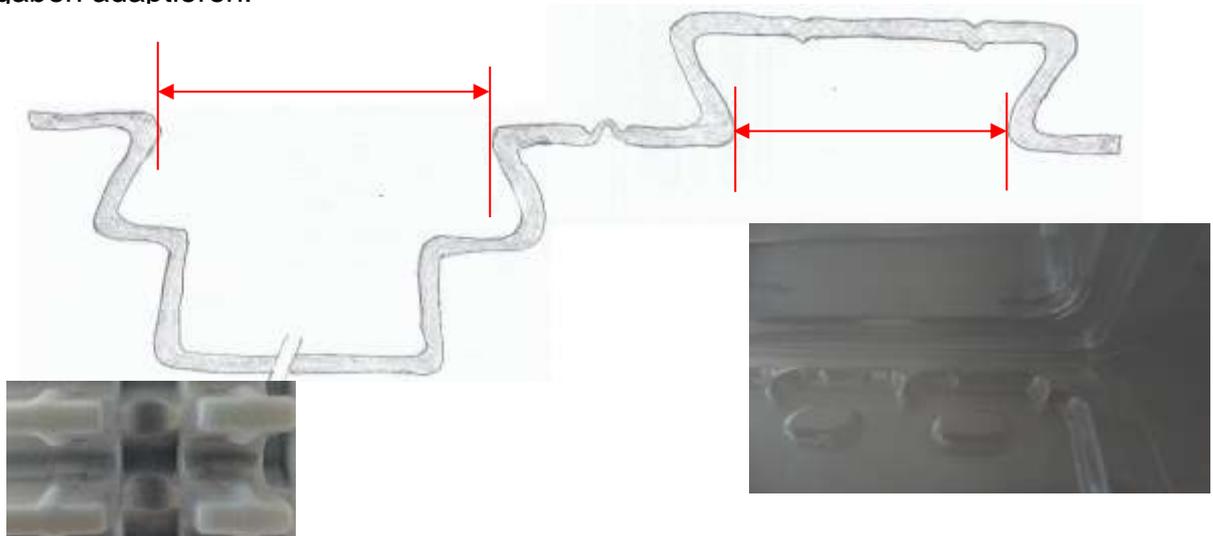
Verbindung I.O.

Loch im Blister

Randüberlappung

Defekte Siegelebene

Je nach Aufgabenstellung werden Schalenkanten vermessen, Brauen, Löcher, Kratzer oder Risse gesucht oder Aussendimensionen respektive verschliessbare Deckel vermessen. Das OCT- System lässt sich flexibel auf ganz verschiedene Aufgaben adaptieren.

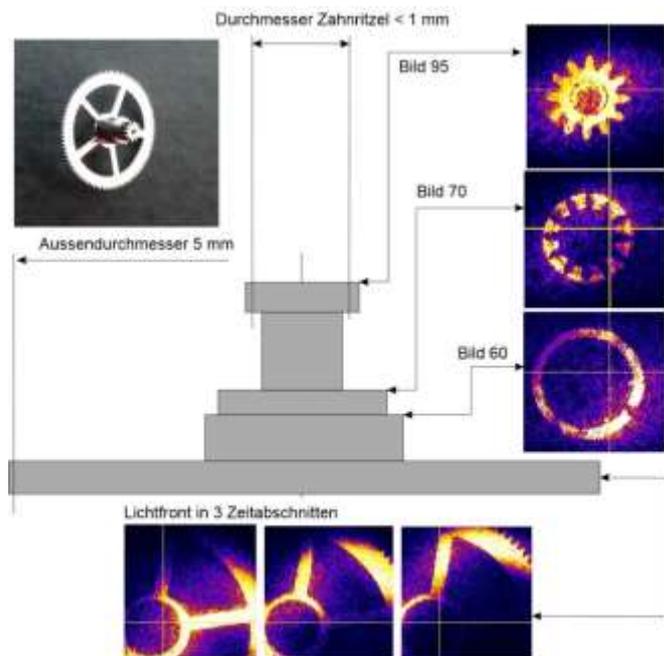


Sind Seitenwände zu vermessen oder Risse zu identifizieren, muss ein optisches Zusatzbauteil geladen werden. Auf jeder Seite des Prismas werden bei einem Scan etwa 150×300 Bildelemente aufgenommen. Die Abtastung in Messrichtung wird über die Software gesteuert.



Mit der OCT- Methode werden auch die Clipdeckel oder Kanten von Einlegeschalen exakt vermessen oder überprüft. Auch Geometrische Abstände zwischen zwei definierten Ebenen oder Strukturen werden mit dem OCT- System exakt (im Sub-Mikrometerbereich) vermessen. Zur Vermessung stehen verschiedene optische Module zur Verfügung.

7.2.3. Geometrievermessung an kleinsten Bauteilen



In einem einzigen Messvorgang werden kleinste Zahnräder, die Durchmesser, die Rauheiten oder die Ebenen zueinander exakt vermessen.

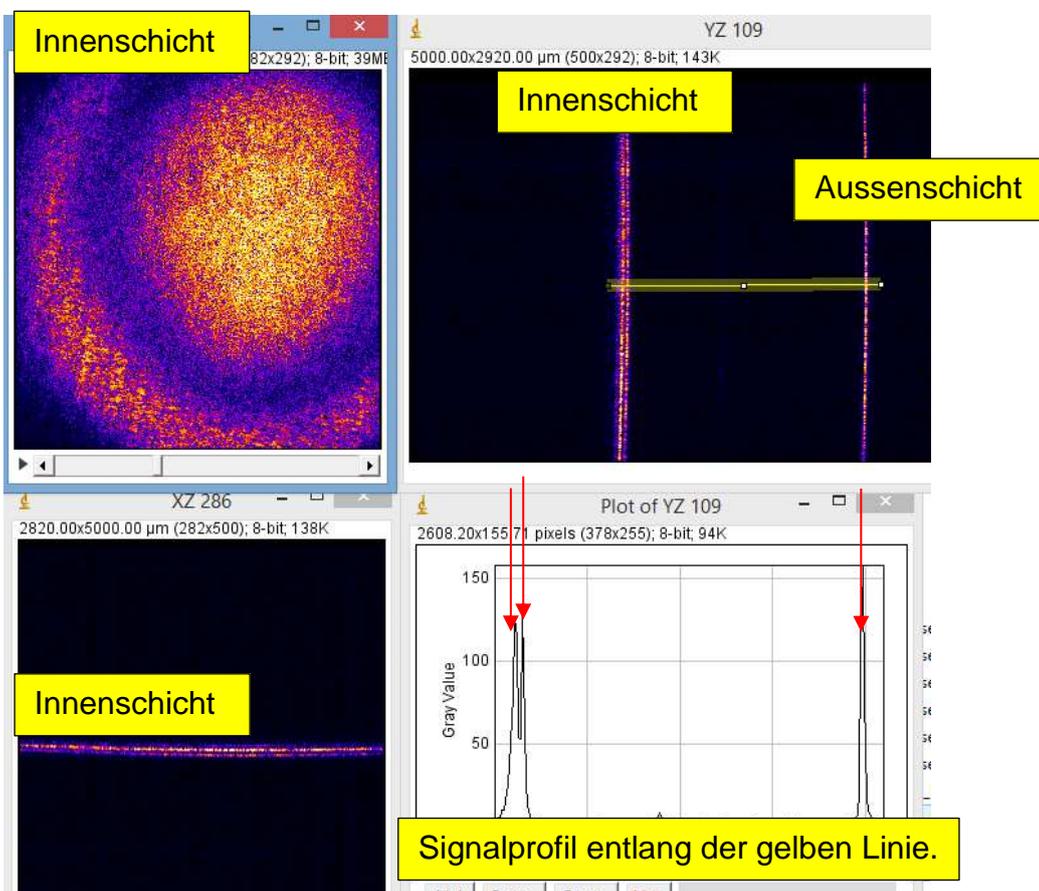
Das Zahnrad hat einen Durchmesser von 5 mm und hat ein Zahnritzel mit einem Durchmesser von 0,8 mm.

Die Zähne des Ritzels sind im OCT-Bild oben rechts. OCT- Bilder des äusseren Zahnkranzes sind unterhalb der Skizze.

Die OCT- Bilder 60 und 70 zeigen, dass die zwei Ebenen nicht parallel sind, sonst wäre die Verteilung der Helligkeit homogen.

7.2.4. Kapsel, bestehend aus einer PP - Schale und einer PE Innenhaut

Am zweischichtigen Kunststoffbehälter werden in einer OCT- Vermessung der äussere Durchmesser sowie die Dicke der PP- Schicht und der PE- Schicht in einem Arbeitsgang vermessen.

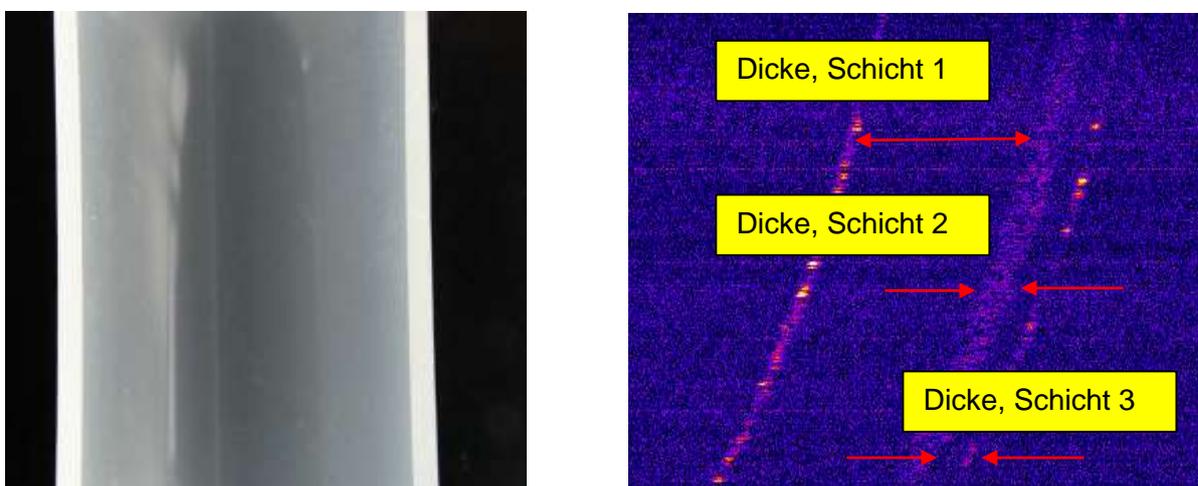


Das OCT- Bild oben links zeigt die Draufsicht auf den Behälter von aussen. Rechts davon ist der Horizontalschnitt und unten der Vertikalschnitt durch den Bilderstapel von 500 Bildern die pro Sekunde mehrmals aufgenommen werden. Die Grafik zeigt die markanten Interferenzspitzen welche an den Schichtübergängen auftreten.

7.2.5. Schichtaufbau von Kunststoffschläuchen oder –Behältern:

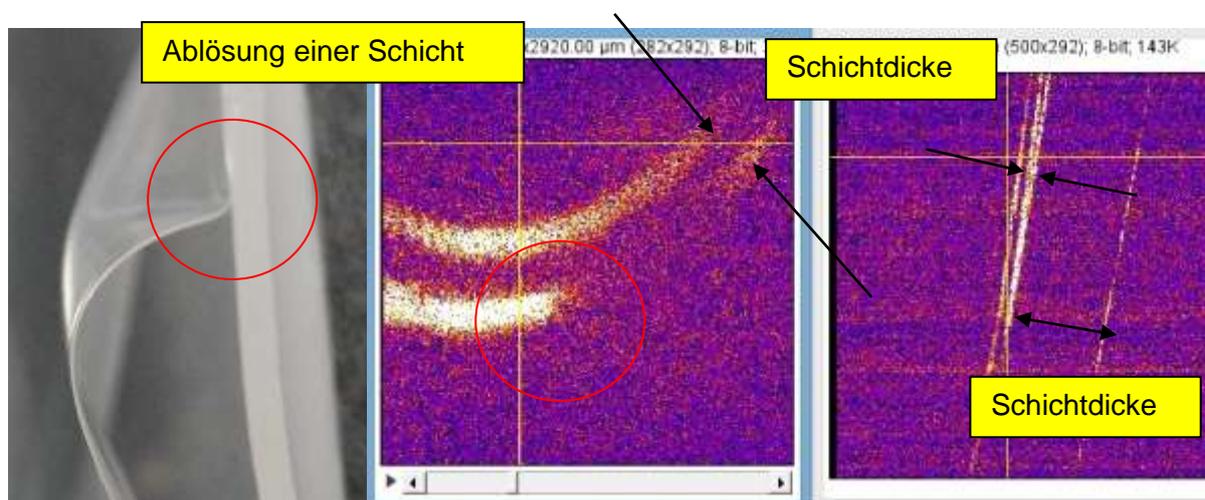
Ob feinste Schläuche oder innenbeschichtete Behälter aus Kunststoff, die Zeiten, wo man zur Qualitätssicherung die Teile aufgeschnitten und unter dem Mikroskop vermessen hat, sind endgültig vorbei.

Die zwei Bilder zeigen einen Querschnitt durch ein mehrschichtiges zylindrisches Rohr im Normalbild (links) und das OCT- Bild. Im OCT- Bild erkennt man, dass die Rohrwand aus 3 Schichten besteht. Im gleichen Messvorgang werden der Aussendurchmesser und die die Dicke der einzelnen Schichten gemessen.



7.2.6. Schichtablösung in einer Folienkonstruktion:

Die Ablösung von Schichten im Innern von Behältern oder Schläuchen sind mit konventionellen Systemen kaum erkennbar. Das folgende OCT- Bild zeigt eindeutig die Ablösung einer Innenschicht vom Träger, ein Resultat, das völlig zerstörungsfrei mit der OCT Methode aufgenommen worden ist.

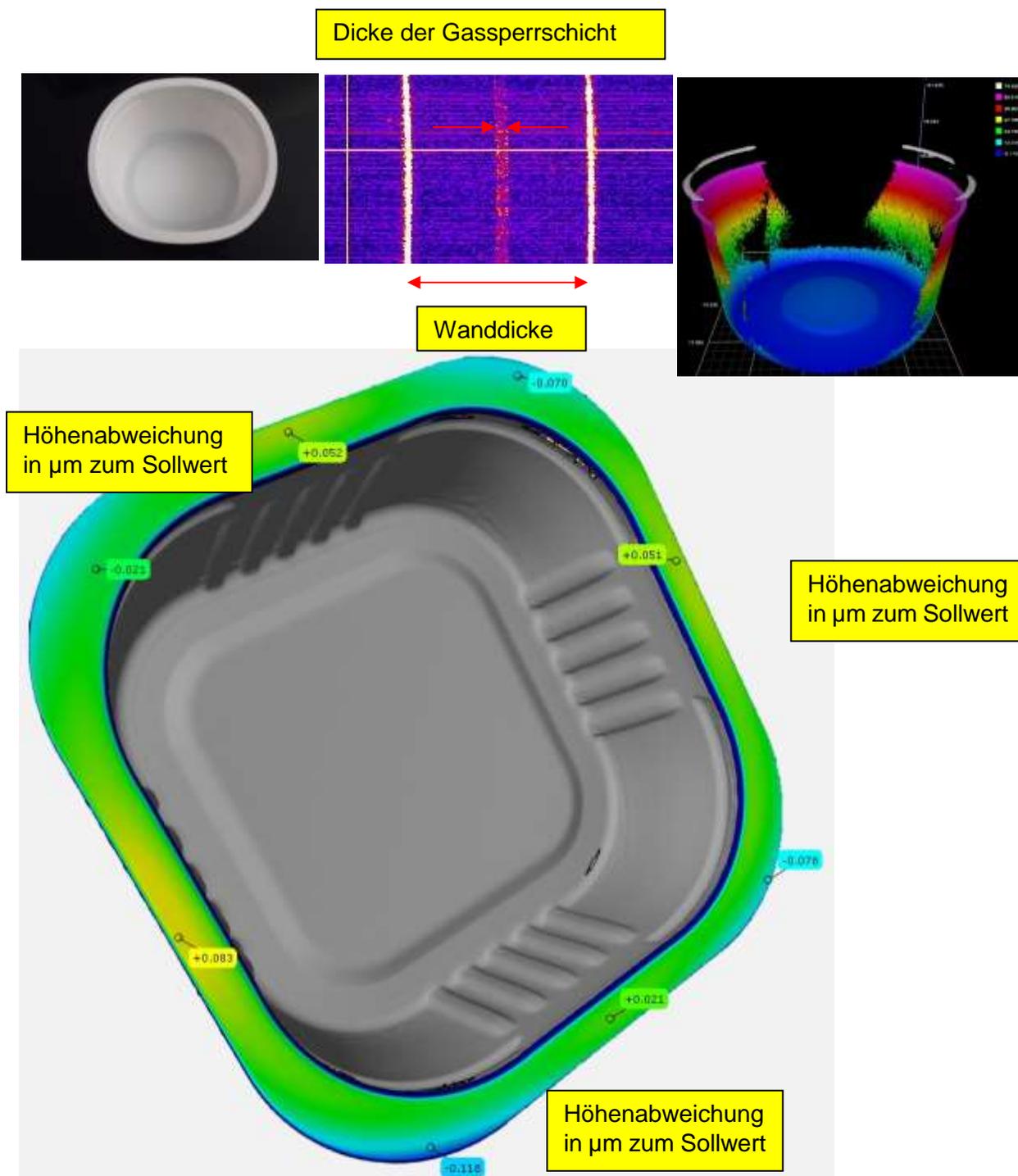


Im gleichen Messvorgang werden auch die Dicken jeder einzelnen Schicht im Schichtverbund mikrometergenau gemessen. Gegenüber konventionellen Verfahren

liefert das OCT- Verfahren Signale zu Unterschieden im Brechungsindex, was immer zu einem deutlichen Signal führt, wenn eine Ablösung im Spiel ist. (Luft).

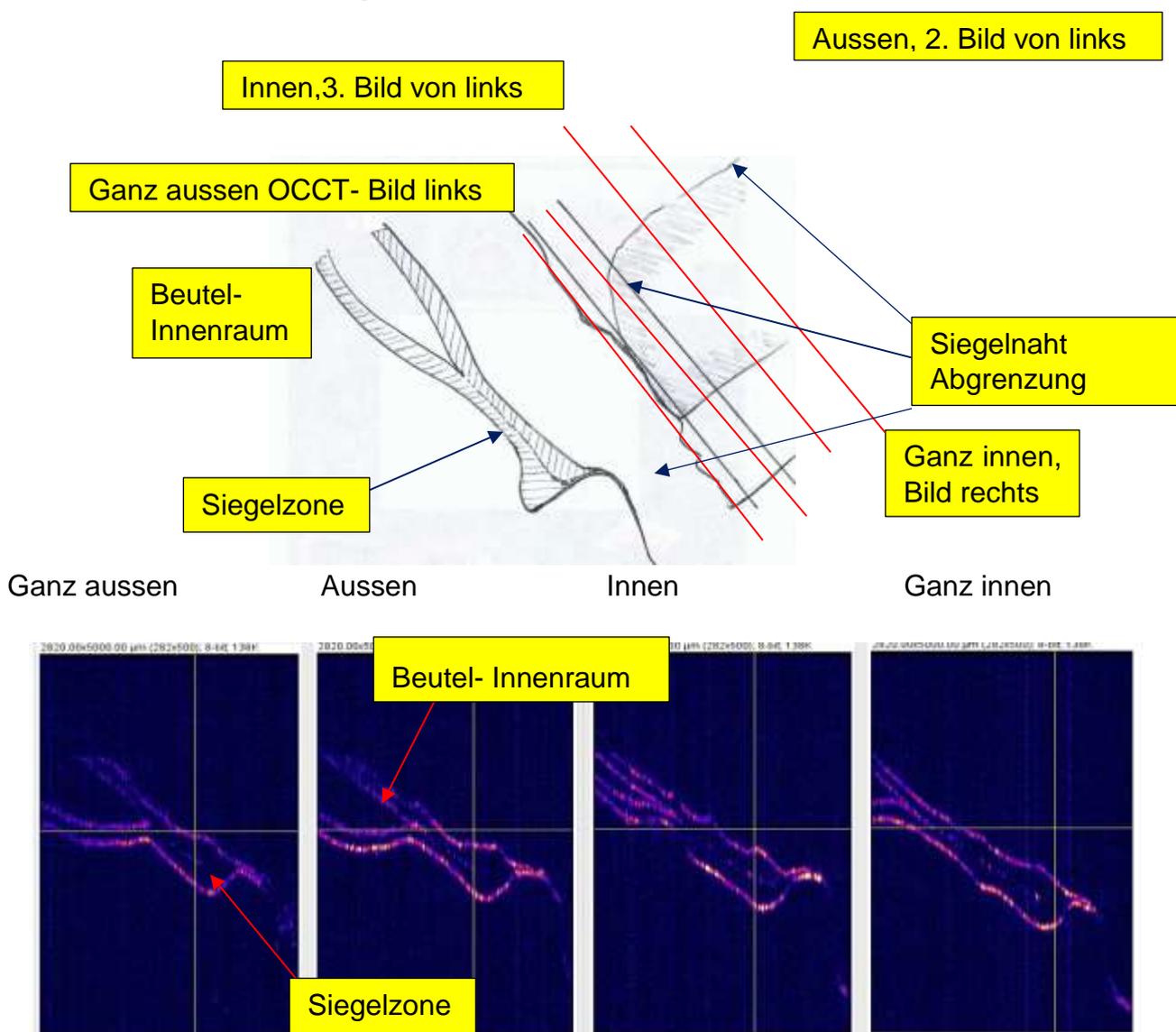
7.2.7. Unebene und nicht parallele Siegeflächen:

Im nächsten Beispiel ist eine Nahrungsmittelschale dargestellt. Das Normalbild (links) das Bild der Gassperrschicht (Mitte) und das farbig codierte 3D- Höhenbild (rechts). Aus solchen Messdaten werden Unebenheiten in der Siegelebene schnell und sicher erkannt und werden mikrometergenau vermessen.



7.3. Siegelnahtinspektion:

Die Versiegelung von Tuben, Folien, Behältern oder irgendwelcher Verpackungen erfordert Prüfverfahren, die schnell genug sind, um die erforderlichen Aussagen in der laufenden Produktion abzuleiten und die auch die erforderliche geometrische Auflösung haben. Weil die Verpackungsmaterialien unterschiedlich sind (Farbe, Bedruckung), ist der Wahl des Prüfverfahrens grosse Beachtung zu schenken. Während der Verschluss von Verpackungen, die aus einer einzelnen Folie bestehen, einfach zu inspizieren ist, erfordert die Prüfung von Folien mit metallischen Einlagen oder mehrschichtige Verpackungen einen deutlich grösseren Aufwand. Mit dem OCT- Verfahren steht erstmals eine Methode bereit, welche die gestellten Anforderungen im Vergleich mit andern Verfahren, hervorragend erfüllt.



Die Serie der OCT- Bilder zeigt die Siegelnaht an einem Beutel von der Aussenzone (Vom Rand her, Schmale Naht, Bild links) bis zum Innenbereich (breite Naht, Bild rechts). Müssen Bauteile exakt vermessen oder muss die die Qualität einer Produktion reproduzierbar nachgewiesen werden, dann steht mit dem OCT- Verfahren eine

zuverlässige, robuste Messtechnik bereit. Das OCT Verfahren stellt nur Interferenzen fest und ist deshalb nicht anfällig auf Fremdlicht oder Farben.

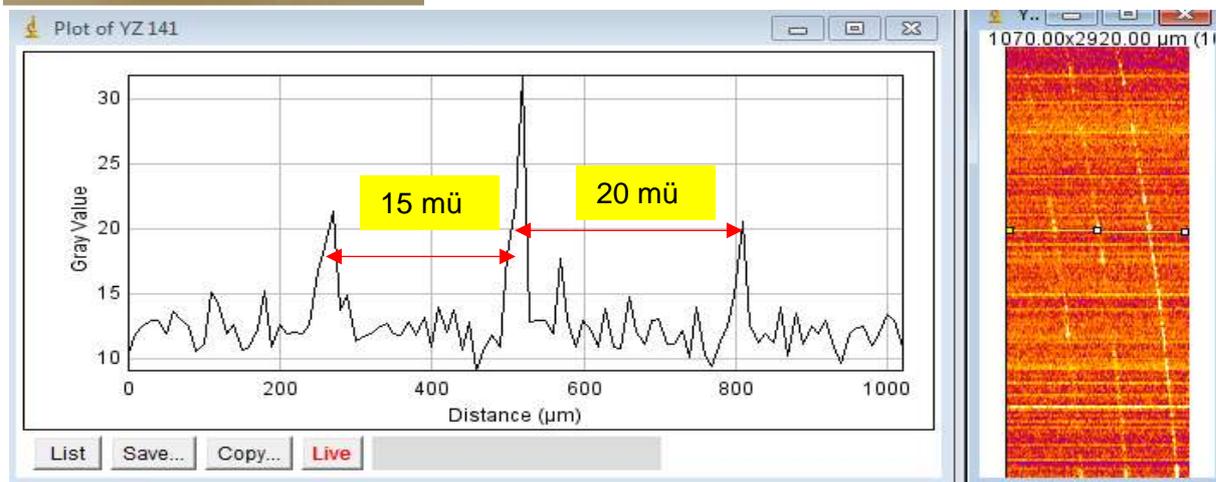
8. Technologie für effiziente Produktionsprozesse

8.1. Messtechnik für die Industrie

Vor wenigen Jahren war es noch unvorstellbar, dass man eine Folie überwachen, die Dicke der einzelnen Schichten vermessen und gleichzeitig auch die Siegelnaht kontrollieren kann. Was unsere Väter noch mit Schallwellen gelöst haben, lösen wir heute mit Licht. Wir messen 1000-mal schneller und 1000-mal genauer als unsere Väter und wir sind in der Lage kleinste geometrische Veränderungen, Unterschiede in der Foliendicke oder Haftungsfehler von Schichten berührungslos und fast mit Lichtgeschwindigkeit zu erkennen.



Zur exakten Vermessung wurde ein Bauteil aufgeschnitten und die einzelnen Schichten vermessen. Das folgende Bild zeigt, wie man heute die Dicke der Schichten mit einem einzigen Lichtpuls in der laufenden Produktion misst, ohne dass das Produkt zerstört werden muss. Die Schichtdicke lässt sich mikrometergenau aus den Signalen ableiten.



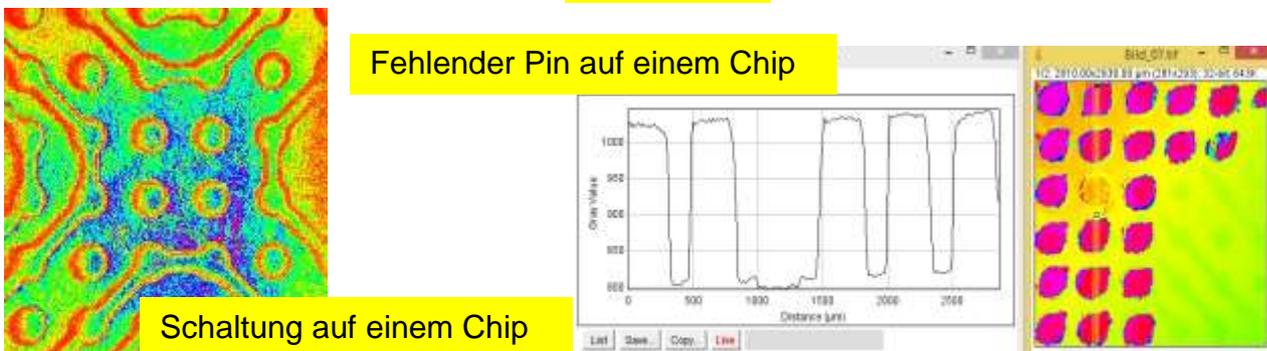
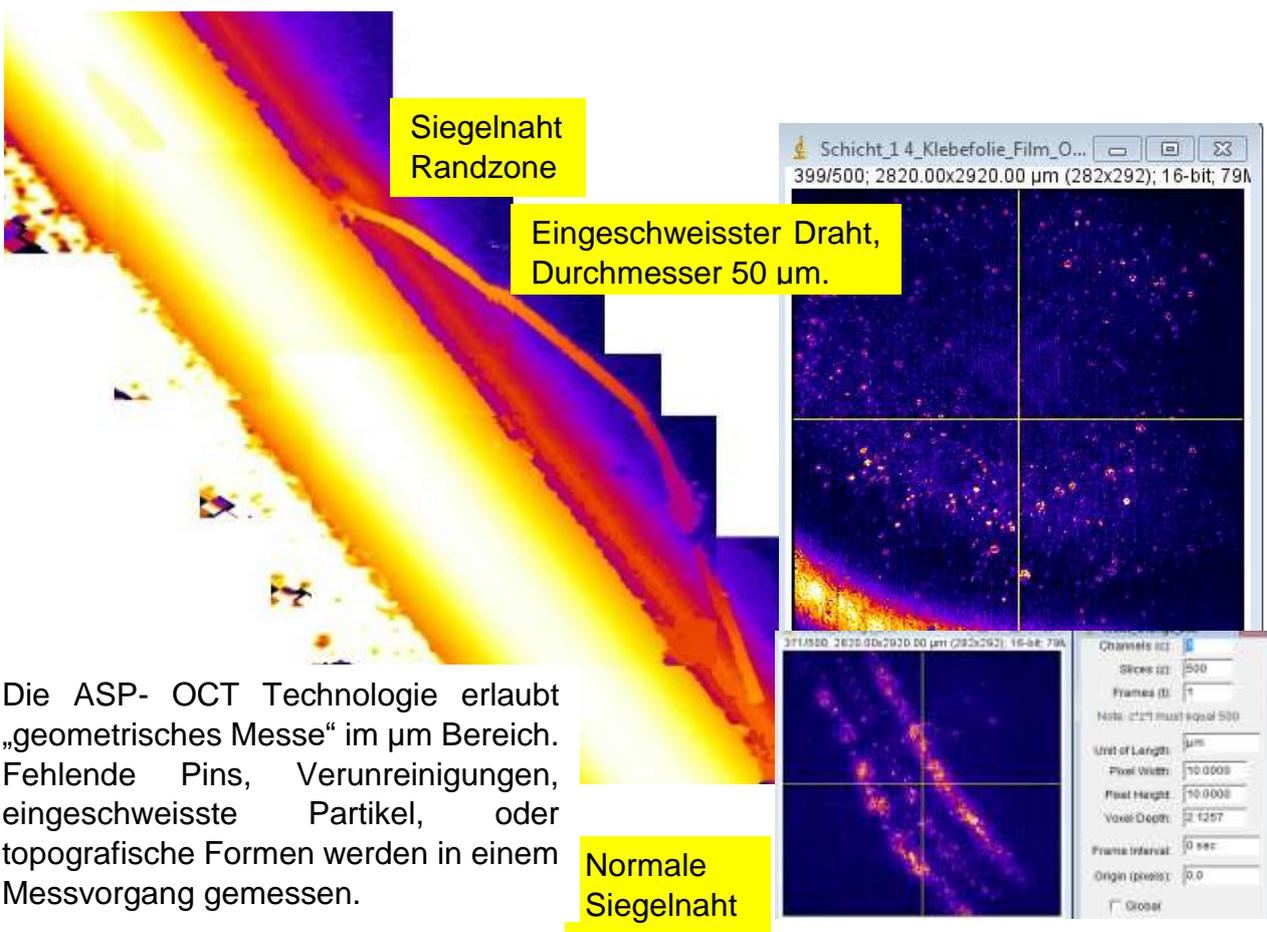
Geprüfte Siegelnähte geben dem Verarbeiter die Sicherheit, dass keine mangelhaft verpackten Waren ausgeliefert werden. Im Produktionsprozess überprüfte Packungen (Füllstand, Produktinhalt) gewährleisten, dass Beanstandungen ausbleiben und das Wissen, dass alle Funktionsschichten in der Verpackungsfolie vorhanden sind, (Bild rechts) lassen Sie Ihre Arbeit weiterhin ruhig und kompetent ausführen.

Die Konsequenzen aus Mängeln von der Herstellung von Folien über die Verpackung mit Folien bis hin zum Kunden der Waren auspackt, sind jedem klar. Undichte Siegelnähte führen dazu, dass Nahrungsmittel verderben oder verpackte Produkte „verschmutzen“. Fehlende oder verschmutzte Teile in einer Packung wecken beim

Kunden kostspielige Reklamationen aus. Und wenn eine Folie fehlt, oder wenn die Folien 1 Mikrometer zu dick sind, werden jährlich mehrere Tonnen Kunststoff mehr (oder weniger) verarbeitet und verrechnet.

8.2. Eingeschweisster Draht in der Siegelnaht.

Alu- Verpackungen erfordern den Einsatz von kombinierten Verfahren, weil die Abdeckung der Siegelnaht durch eine elektrisch, magnetisch und optisch dichte Schicht verdeckt ist.



Fehlende Teile in einem Blister, auf einem Chip oder in einer Verpackung werden sicher, schnell und zuverlässig mit den ASP- OCT- System identifiziert. Die Vermessung ist mikrometergenau (Auflösung < als 1 µm).

9. Geometrie- und Topografievermessung

Die Prüfanlage zur berührungslosen Vermessung der Geometrie von umgeformten Bauteilen in der laufenden Produktion eröffnet neue Perspektiven. Das System mit integriertem ASP Array (Active Sensor Pixel Array) wird eingesetzt um die Geometrie von Kapseln für Milch, Kaffee oder Tee in Sekunden vermessen. Mit der Auslösung von einer einzigen Messung werden fast 100'000 Messresultate erfasst. Das ASP- Array erfasst Bilder mit 1 mio fps (1 Million frames per Second). Mit dem Faser OCT System das mit dem ASP ausgerüstet ist, können bis zu 3 Bauteile pro Sekunde vermessen werden.

In einem Messvorgang werden zum Beispiel gemessen:

Aussendurchmesser der Kapsel oder des Bauteils.

Dicken der Bauteilwände.

Dicke des Kapselkragens.

Höhe des Siegelgrates zur Siegelebene.

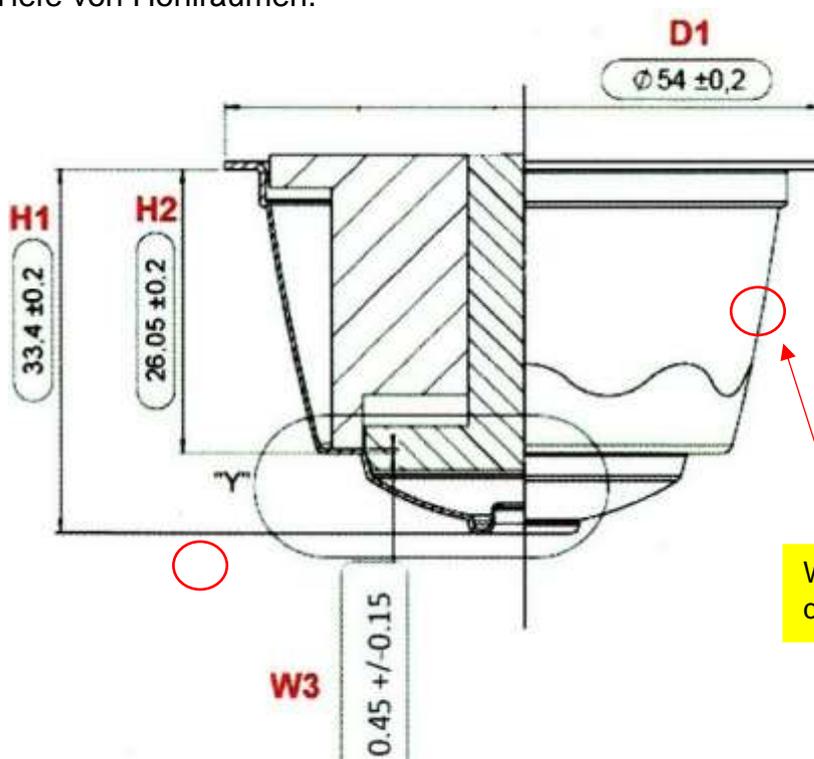
Parallelität des Noppens zur Siegelebene.

Planarität der zwei Ebenen.

Exakte Orientierung des Bauteils.

Gewindesteigung und Ausformungsqualität.

Tiefe von Hohlräumen.



Die Geometrie wird komplett vermessen.

Wir messen auch die Dicke der Seitenwand einer Kapsel.

9.1. Ablauf einer Kapselprüfung

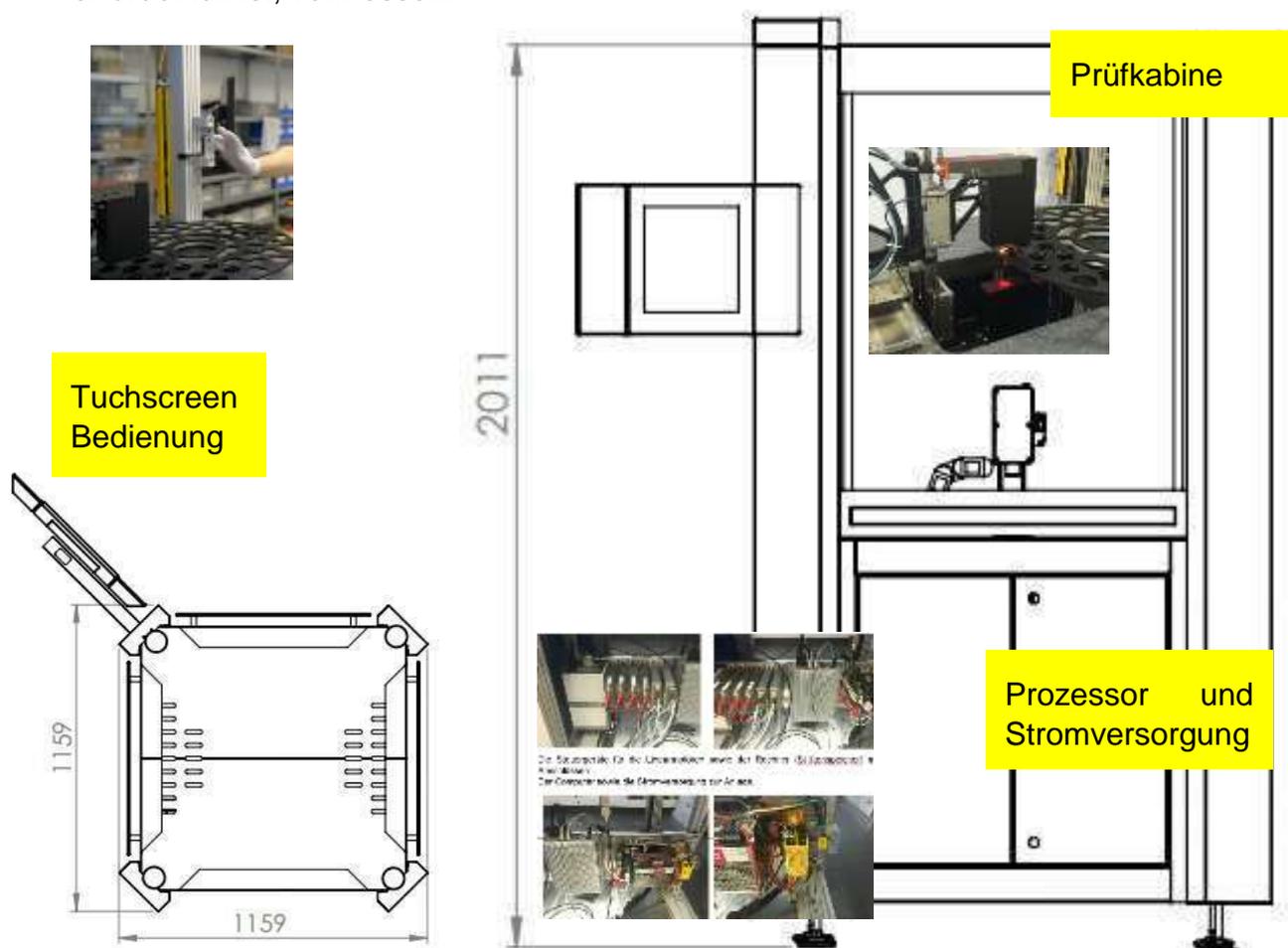
Für die Prüfung der Kapselgeometrie wird ein Bauteil aus der Produktion übernommen und an den festgelegten Stellen wie in der Skizze oben markiert, mikrometergenau vermessen. Die Vermessung einer Kapsel dauert nur Sekunden. Um die Vermessung

zu beschleunigen können die Kapseln automatisch in die Prüfstation übernommen werden. Nach der Vermessung werden die Kapseln wieder in den Produktionsprozess zurückgegeben. Der Prüfablauf ist über einen Rechner gesteuert. Gelangt die Pulsstrahlung über Lichtfasern auf die Oberfläche des Prüflings werden mehrere Kapseln pro Sekunde vermessen. Gelange die Lichtfront direkt auf das Bauteil, so sind zur vollständigen Vermessung einer Kapsel mehrere Sekunden notwendig.

Auf der Oberfläche des Bauteils wird das Licht der Pulsstrahlung gestreut oder reflektiert. Es werden bis zu 90000 Signale auf dem ASP Array erfasst. Die Vermessung erfolgt partiell an definierten Messorten oder vollflächig. Die gemessenen Daten liefern die Abmessung, die Parallelität, eventuelle Beschädigungen oder die Planarität zum Bauteil. Es können auch Noppen oder auf der Kapsel vermerkte Werkzeugnummern erkannt werden. Zur Vermessung wird ein entsprechendes Prüfprotokoll erstellt.

Anlage zur Kapselvermessung:

Zur Anlage gehören 2 Drehteller als Messplattformen mit den Kapselöffnungen. Die Drehteller werden mit den Kapseln bestückt und in die Prüfanlage übernommen. Durch die Auslösung der Vermessung werden die Kapseln einzeln, ohne dass Personal erforderlich ist, vermessen.



Die Bedienung erfolgt über einen Touchscreen, der am Gehäuse der Station montiert ist. Es stehen die erforderlichen Messprogramme zur Verfügung. Das Grundmessprogramm für die Geometrievermessung ist in den Kosten enthalten.

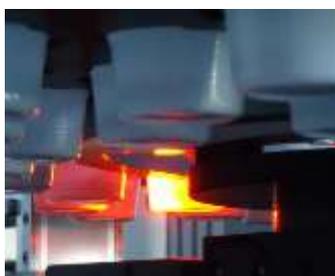
Die Anlage braucht 1,16 m² * 1,16 m² Platz und ist 2,1 m hoch. Sie wird über den Touchscreen, der am Gehäuse der Prüfstation befestigt ist, bedient. Eine Lampe zeigt den Prüfstand an: rot: Fehlermeldung, gelb: Warteposition, grün: Prüfung in Arbeit.

Zur Anlage gehören 2 Drehteller als Messplattformen mit den Kapselöffnungen. Die Drehteller werden mit den Kapseln bestückt und nacheinander in die Prüfanlage eingelegt. Durch die Auslösung der Vermessung werden die Kapseln einzeln, ohne dass Personal erforderlich ist, vermessen.

Die Bedienung erfolgt über einen Touchscreen, der am Gehäuse der Station montiert ist. Es stehen die erforderlichen Messprogramme zur Verfügung. Das Grundmessprogramm für die Geometrievermessung ist in den Kosten enthalten.



Genau, schnell, berührungslos



Wechselbarer Prüfteller



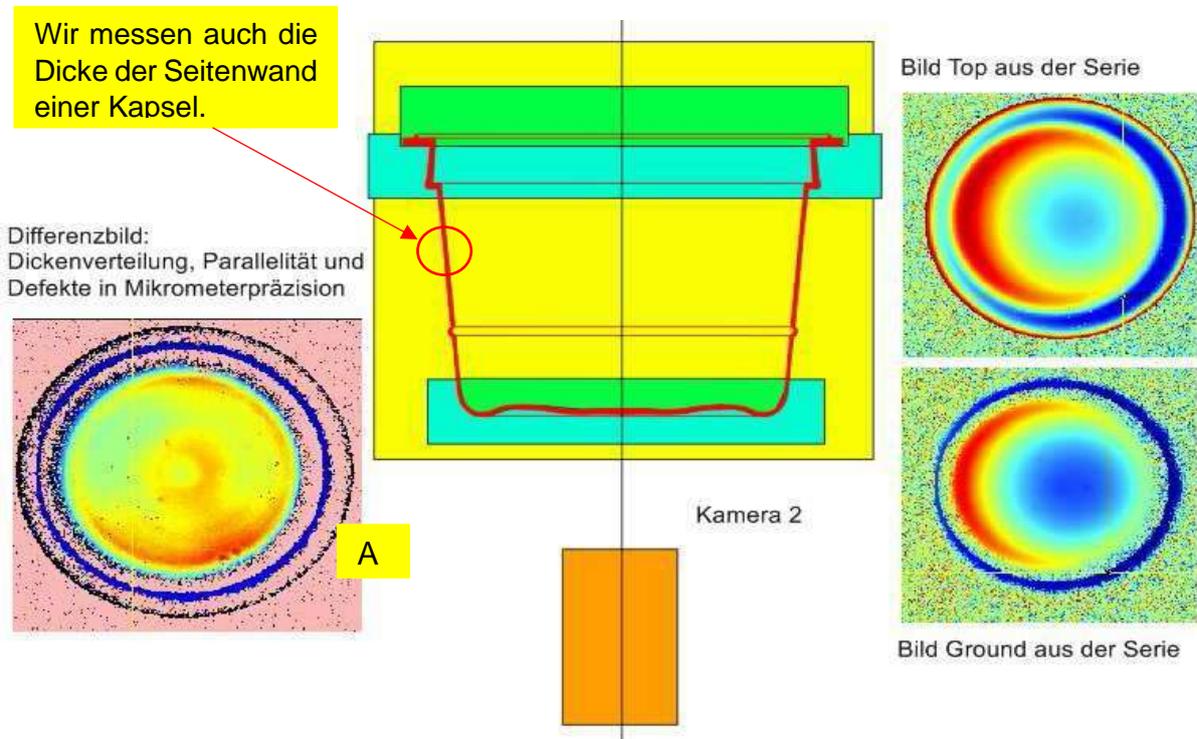
Prüfkabine

Touchscreen
Bedienung

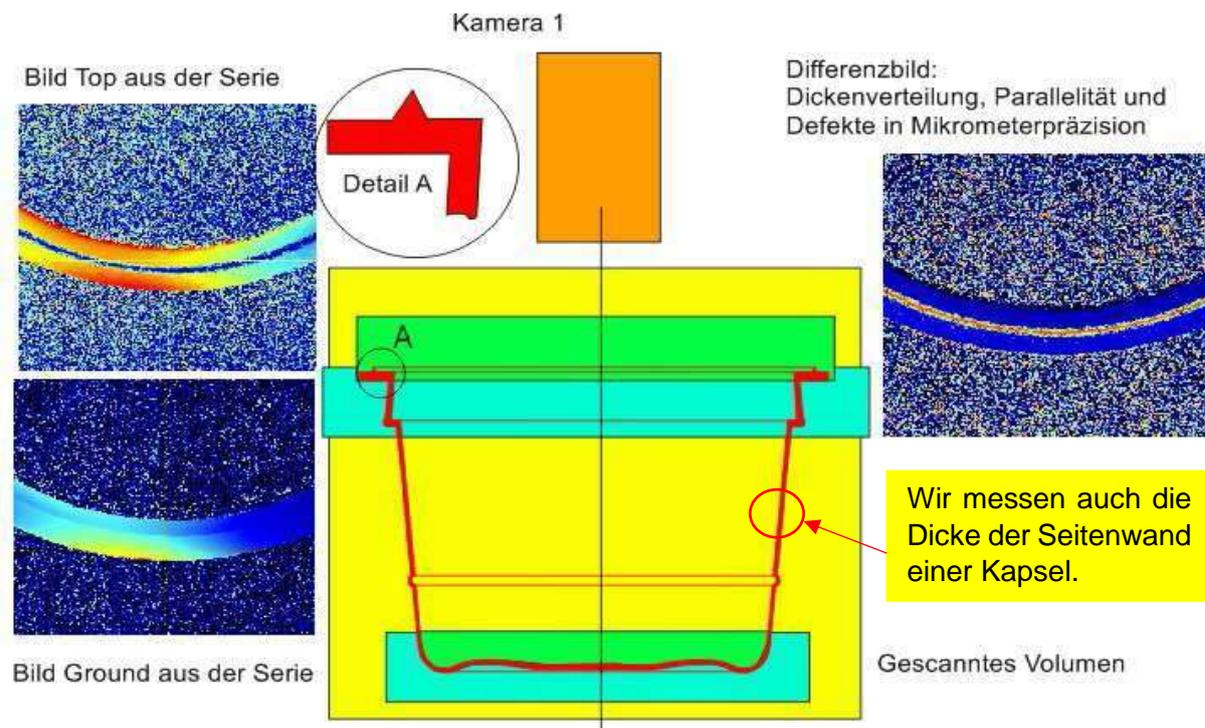
2 Plätze für andere Prüfverfahren und
2 Plätze zur automatischen Speisung
und Entnahme der Kapseln.

Die Geometrie der Kapseln wird aus den Datensätzen der zwei Prüfsysteme erzeugt. Aus den Messwerten werden die Dicke der Gesamtschicht, das Volumen der Kapseln, die Ebenheit der Flächen oder deren Parallelität mit hoher Präzision abgeleitet. Das folgende Bild zeigt die Auswertung eines Datensatzes. Das Ergebnis zeigt die

„Dickenverteilung“ am Boden der Kapsel und die „Durchmesser“ im unteren Bereich der Kapsel in Mikrometer-Genauigkeit. (Differenzbild A)



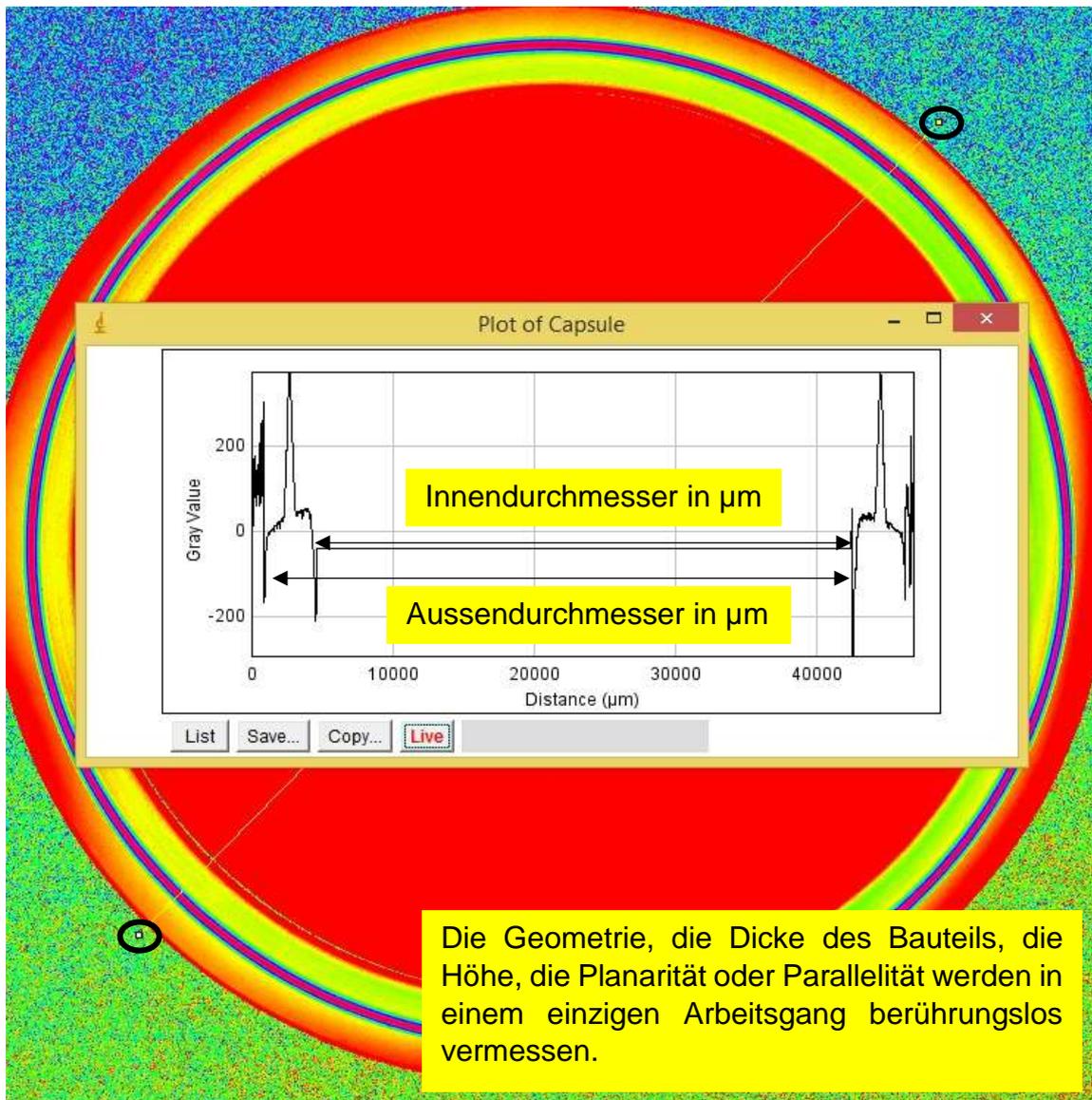
Das folgende Bild zeigt die Auswertung der Daten im Kapseloberteil. Das Ergebnis zeigt die „Dickenverteilung“ aus der „Siegelebene und der Schweissnoppe“ sowie die „Durchmesser“ (innen und aussen) und die „Parallelität der Siegelebene“.



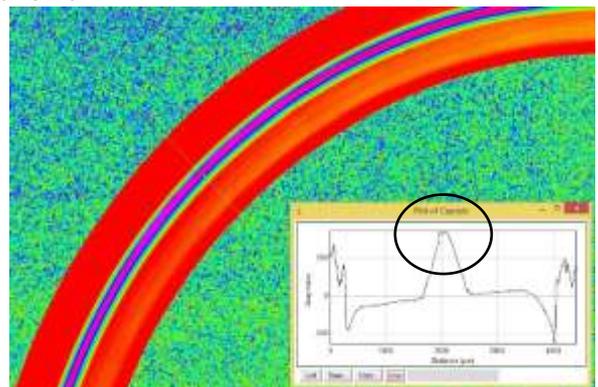
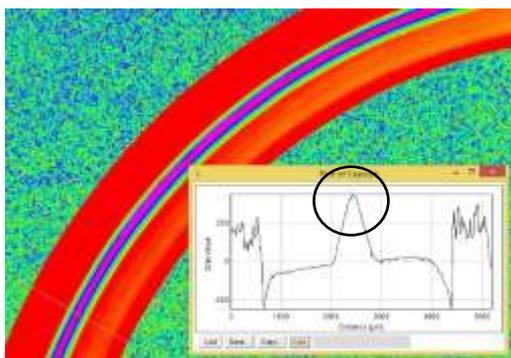
Die oben dargestellten Daten sind Resultate aus Testmessungen an Kapseln mit dem OCT- Messprinzip. Die Vermessung von Kaffeekapselgehäusen oder von

Nahrungsmittelschalen erfolgt schnell und mikrometergenau. Wir messen die Dicke von Schichten in mehrlagigen Folien und vermessen gleichzeitig die Bauteilgeometrie oder Identifikationsmerkmale in wenigen Sekunden.

Durchmessern und Schweisskamm

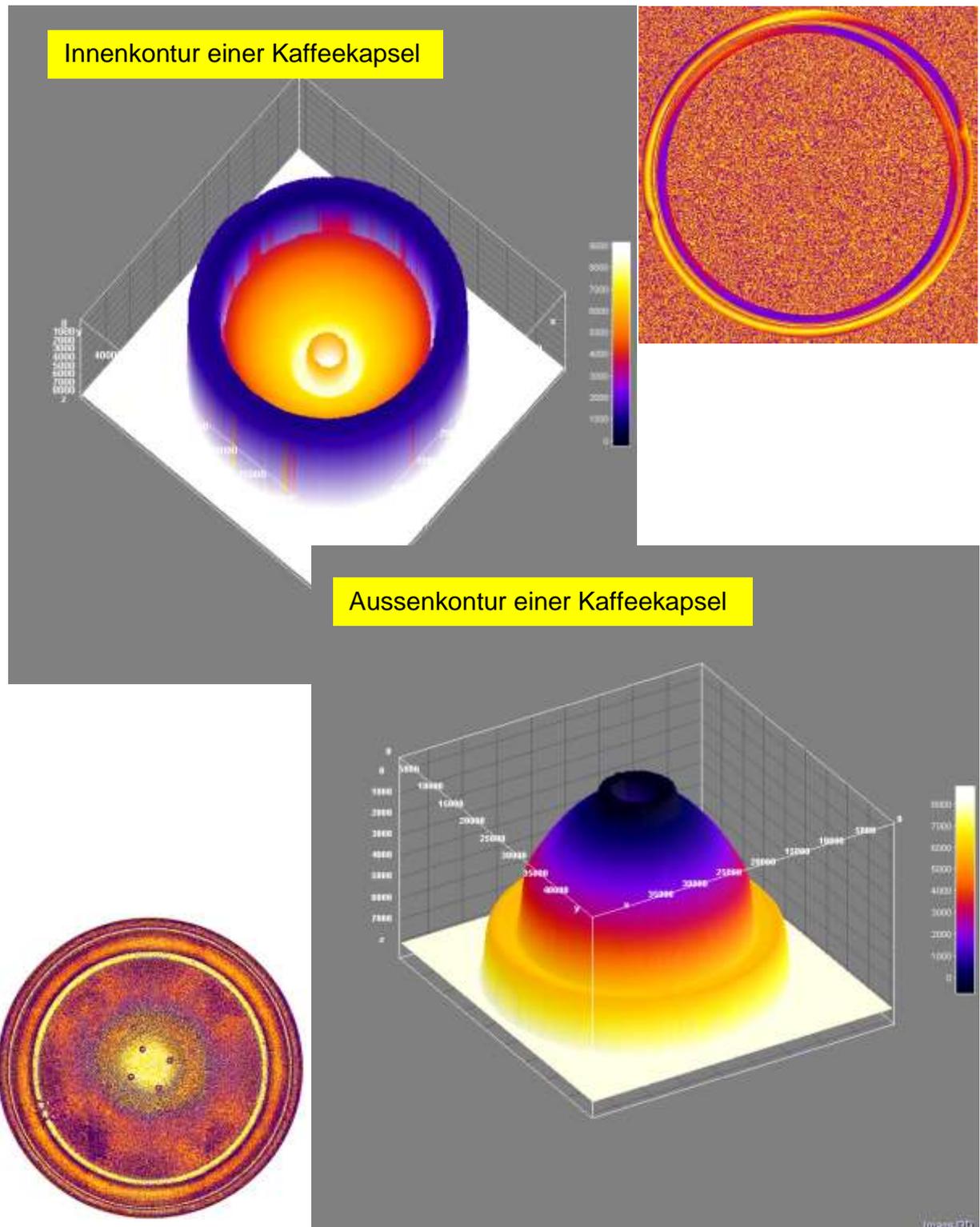


Schweisskamm, sauber in die Spitze verlaufend

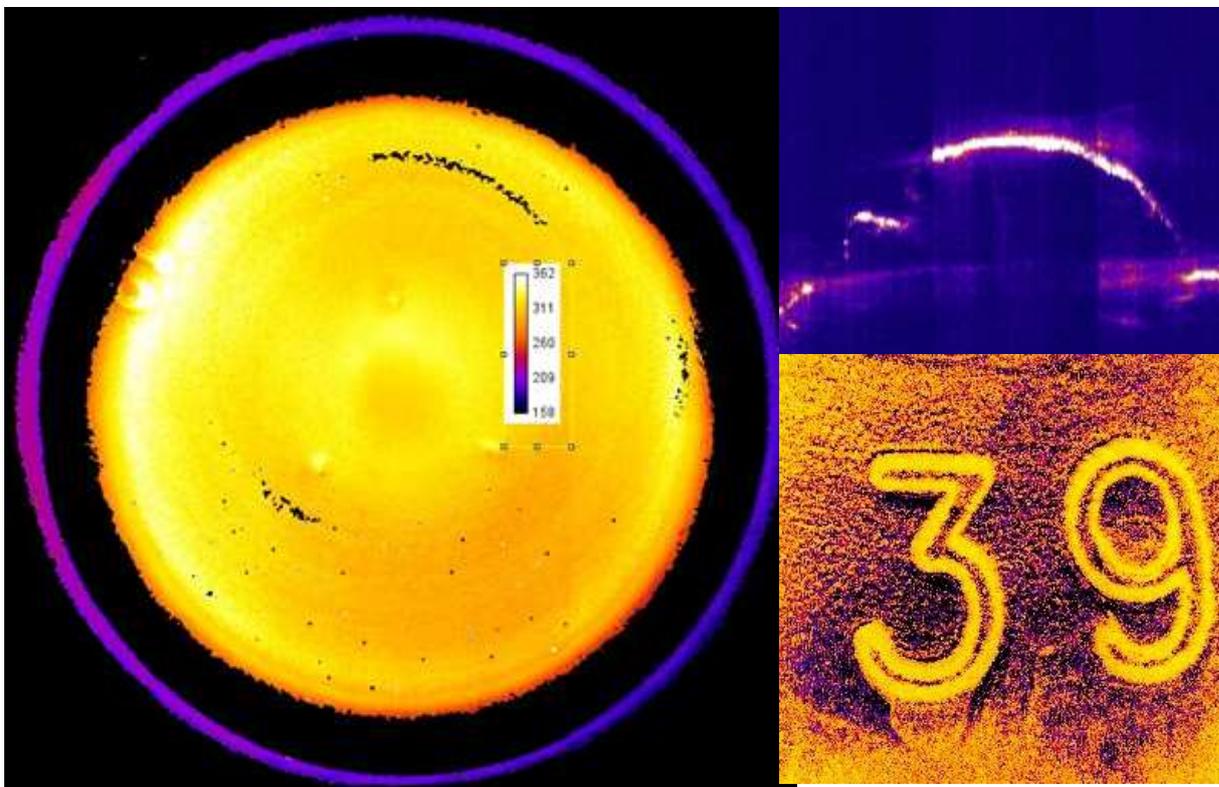


Schnelle und mikrometeregenaue Vermessung eines Volumens oder eines Gewichtes mit einem Messverfahren.

Die Prüfung von Bauteilen erfolgt rechnergesteuert und beinhaltet ein komplettes Messprotokoll, das den geltenden metrologischen Anforderungen gerecht wird. Die Messgenauigkeiten liegen im Submikrometerbereich. 3D- Bilder von Kapseln.



Aus den Volumendaten der berührungslosen Bauteilvermessung werden die Dicken der einzelnen Schichten (Boden, Kragen, Seitenwand) an einem Bauteil, die Volumen (Inhalt, Hohlraum) oder das Gewicht ausgewertet.



In einem einzigen Messvorgang werden Unterschiede in der Wanddicke (Bild oben links) in Mikrometer sichtbar, ein Volumen vermessen (Bild oben rechts) oder die Kontur eines eingepprägten Zeichens erkannt (Bild unten rechts).

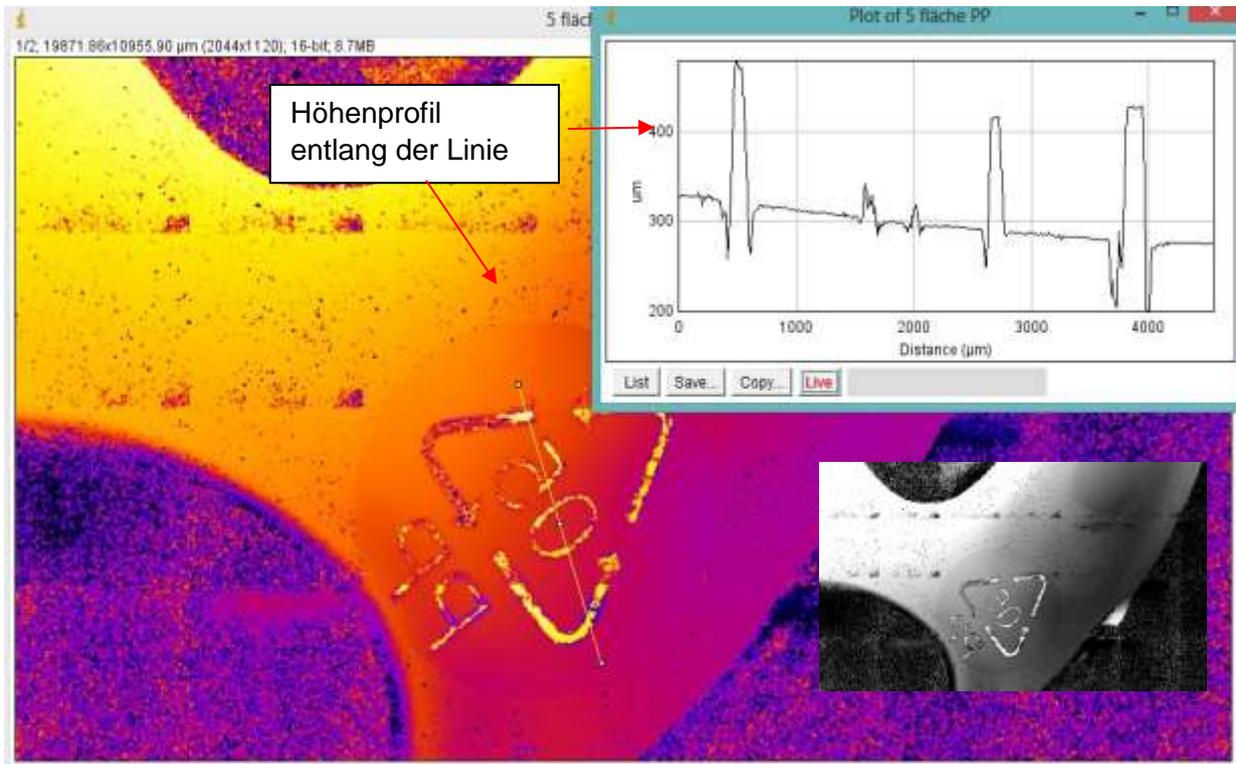
9.2. Vorteile

- Hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit.
- Robust im industriellen Einsatz.
- Sichere Vorder- und Hintergrundausbildung oder Ausleuchtung.
- Der Prüfprozess kann flexibel weiter ausgebaut und automatisiert werden.
- Alle Messungen werden automatisch protokolliert und dokumentiert.
- Fehler werden archiviert und dokumentiert.
- Jeder Prozess Schritt ist mit Datum, Zeit und Aktion gesichert.
- Das Prüfprotokoll entspricht internationalen Standards.
- Die Prüfteile können automatisch in die Prüfkabine eingeschleust werden.
- Die Prüfteile können automatisch ausgeschleust werden.
- Kein Personal zur Prüfung notwendig.

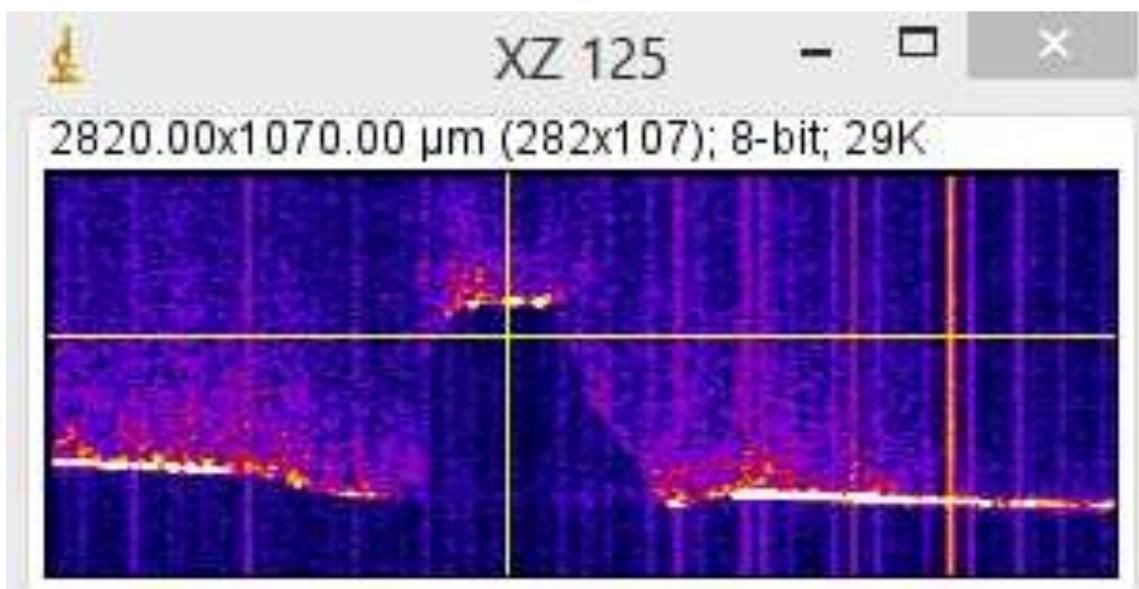
Nach Bedarf können optional noch folgende Kriterien geprüft werden:

- Identifikation der am Kapselboden eingepprägten Werkzeugnummer.
- Lokalisation der eingepprägten Noppen am Boden einer Kapsel.
- Eindeutige Kapselorientierung. (Ausrichtung)
- Und vieles mehr

9.3. Topografie und 3D- Messungen



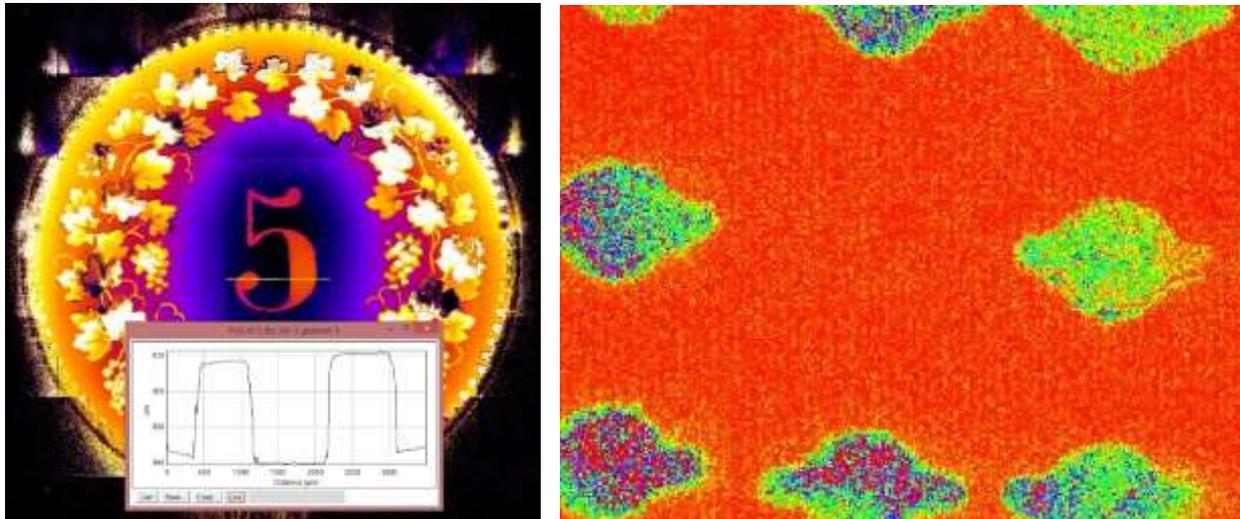
In der Grafik ist die Topografie im Amplitudenbild und im Phasenbild dargestellt. Firmenstempel auf der Kalotte. Bei der topografischen Vermessungen werden Kratzer, Eindrücke, Verdickungen, Dichteunterschiede und vieles mehr höchst exakt vermessen. Kleinste Unebenheiten oder Ritzen werden problemlos erkannt.



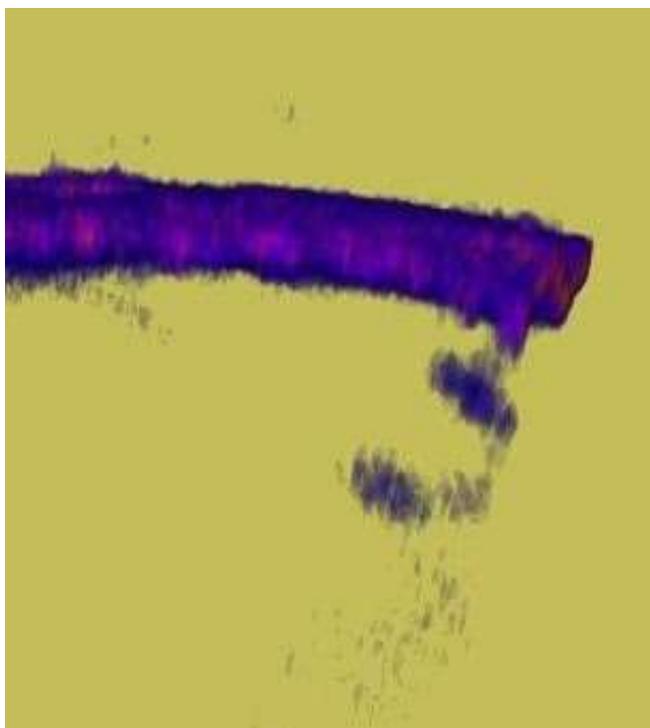
Detail:

Vermessung einer Nute in einem Bauteil (Breite etwa 500m mü, Tiefe etwa 400 mü.)

Ob das Verfahren an Münzen angewendet wird, an Elektronik oder an Werkzeugformen spielt keine Rolle. Typische Messzeiten zur Vermessung einer Münze liegen im Sekundenbereich und die Vermessung ist genauer als 1 Mikrometer.



9.4. Dreidimensionale - Identifikationssysteme



Die 3D Identifikation erlaubt eine bedeutende Erhöhung der Sicherheit um mehrere Potenzen.

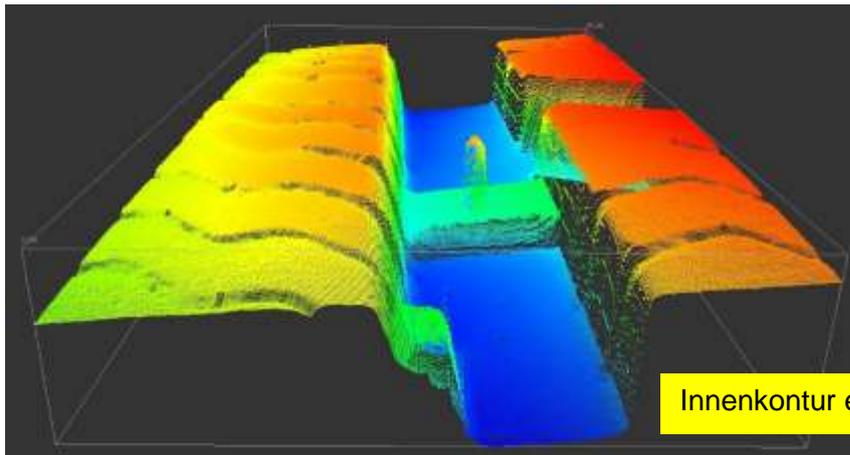
Nebenstehend ist ein OCT Bild eines 3D Fingerprints dargestellt.

Im Bild zeigt sich die Hautoberfläche (dunkle durchgehende Schicht) und eine Helix- Struktur die unter der Haut liegt.

Diese 3D Vermessung dient zur erweiterten Identifikation von Materialien oder auch von Geweben und ist in der Biologie schon längere Zeit angewandte Praxis.

9.5. Messungen an Bauteilen aller Art

Die Vermessung von Bauteilen mit dem OCT- System erfolgt rechnergesteuert und beinhaltet ein komplettes Messprotokoll, das die geltenden metrologischen Anforderungen erfüllt. Die Messgenauigkeit liegt im Submikrometerbereich. Das folgende 3D- Bild zeigt das Volumen einer komplexen Innenkontur. Ergänzt mit der Aussenkontur lassen sich aus solchen Messdaten die Wanddicken eines Bauteils, die Parallelität von Ebenen in verschiedenen Lage oder deren Planarität ableiten.



Innenkontur einer Verpackungsschale

Geometrie- oder Volumenvermessungen sind bei der Verarbeitung von Folien zu Nahrungsmittelschalen von Interesse. Werden Materialausdünnungen erkannt, ist dies ein Anzeichen für zu hohe Verformungskräfte, was zu einer geringeren Qualität der Schale führt.

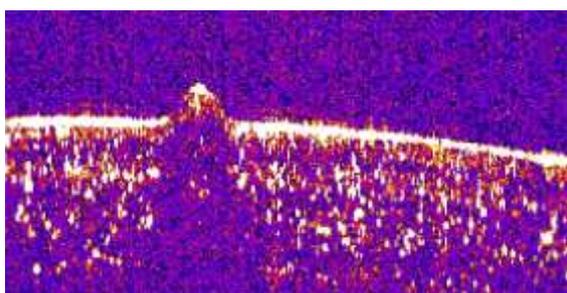
9.5.1. Mehrschichtfolie mit streuenden Schichten und einer perforierten



3 schichtiges Bauteil mit perforierter Oberfläche.

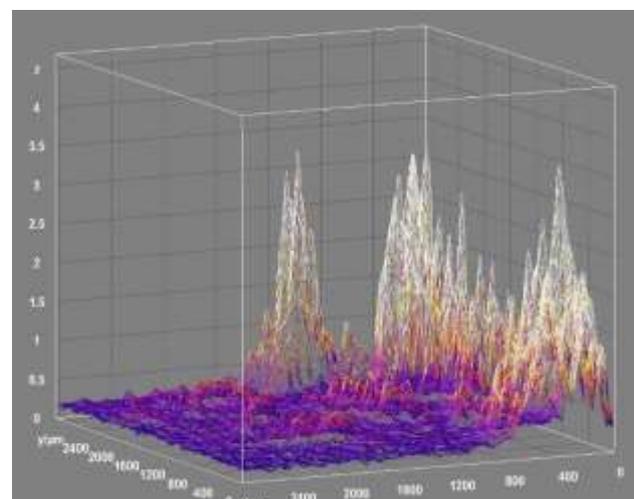
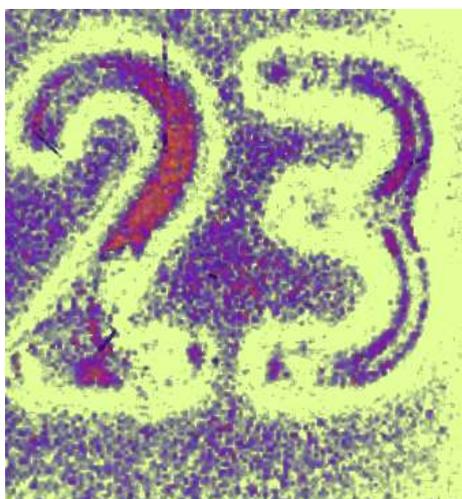
Die einzelnen Schichten im Tomogramm zeigen sich an der dunklen Zone zwischen den streuenden Schichten. Bei der geometrischen Vermessung von

Kavitäten oder von Ausbuchtungen liefert die OCT- Technologie Messtechnik Resultate im Submikrometerbereich. Sei es der exakten Vermessung von Getriebebauteilen oder von Schneidwerkzeugen für Präzisionsmaschinen.



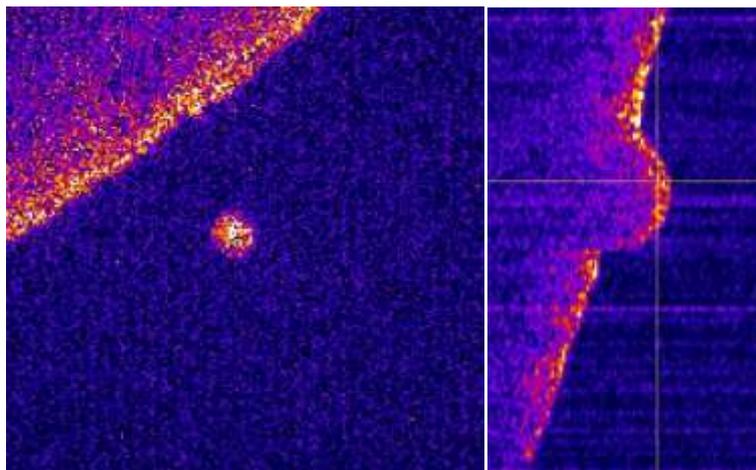
Die 3D- Darstellung (Bild oben) zeigt Löcher in der Bauteilschicht. Der Lochrand ist nach aussen aufgestülpt. In den Bildern links erkennt man die Kennzeichnung des Bauteils und einzelne Schichtübergänge.

Bei der Vermessung von Bauteilen aus Kunststoff werden nicht nur die Aussen- oder Innenkonturen vermessen wie dies bei herkömmlichen Messanlagen der Fall ist, es werden auch die Dicke der einzelnen Kunststoffschichten oder profilierte Oberflächen vermessen. Die Daten werden mit Lichtgeschwindigkeit erfasst und mikrometergenau ausgewertet.



Von den vermessenen Bauteilen bekommt man 3D-Punktwolken, die ausreichend Daten liefern, um diese anwendungsspezifisch weiter zu verwenden. Der Vorteil gegenüber taktilen Messungen oder gegenüber Laserscannverfahren ist die hohe Taktzeit die mit dem ASP- Array erreicht wird.

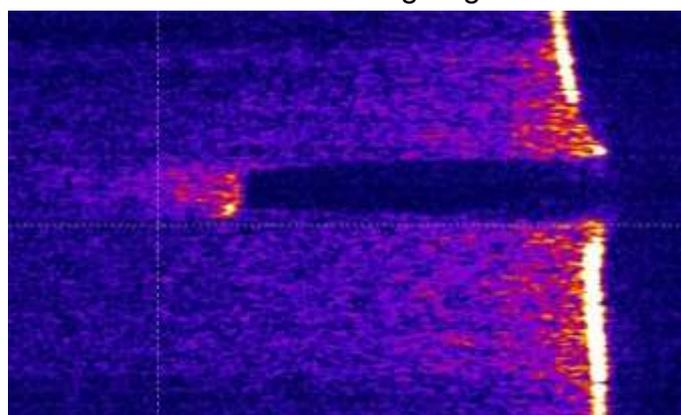
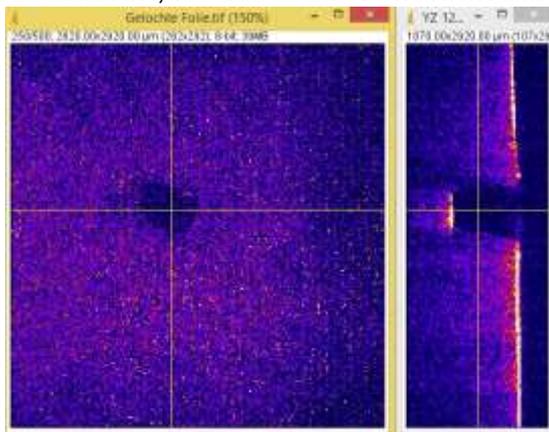
Markierungen die optisch nicht mehr erkannt werden können erfordern neue Verfahren um Bauteilen zukünftig noch zu identifizieren. Die Identifikationsmerkmale variieren von Materialverdichtungen über Hologramme zu eingepprägten QRC- Codes welche den Bauteilhersteller identifizieren bis zu systemspezifischen Bauteilen.



Mit dem OCT- System werden feinste Strukturen räumlich mit einer minimalen lateralen Ortsauflösung von 1 Mikrometer bei einer z- Achsen- Auflösung von wenigen Nanometern erfasst.

Aus der 3D-Punktwolke wird die Objektgeometrie extrahiert oder die Lage, die Form oder Grösse der Objektkontur vermessen.

Dabei liefert jeder einzelne Bildkonturpunkt aus der Lichtebene eine Aussage über die Kontur oder über Eigenschaften unter der Oberfläche. Veränderungen der geometrische Konturen (Erhebungen oder Kavitäten) sind in der Regel mit verschiedenen Systemen identifizierbar. sind die Identifikationsmerkmale aber in 3- D Strukturen, ist das OCT Verfahren als nichtinvasives Verfahren einzigartig.

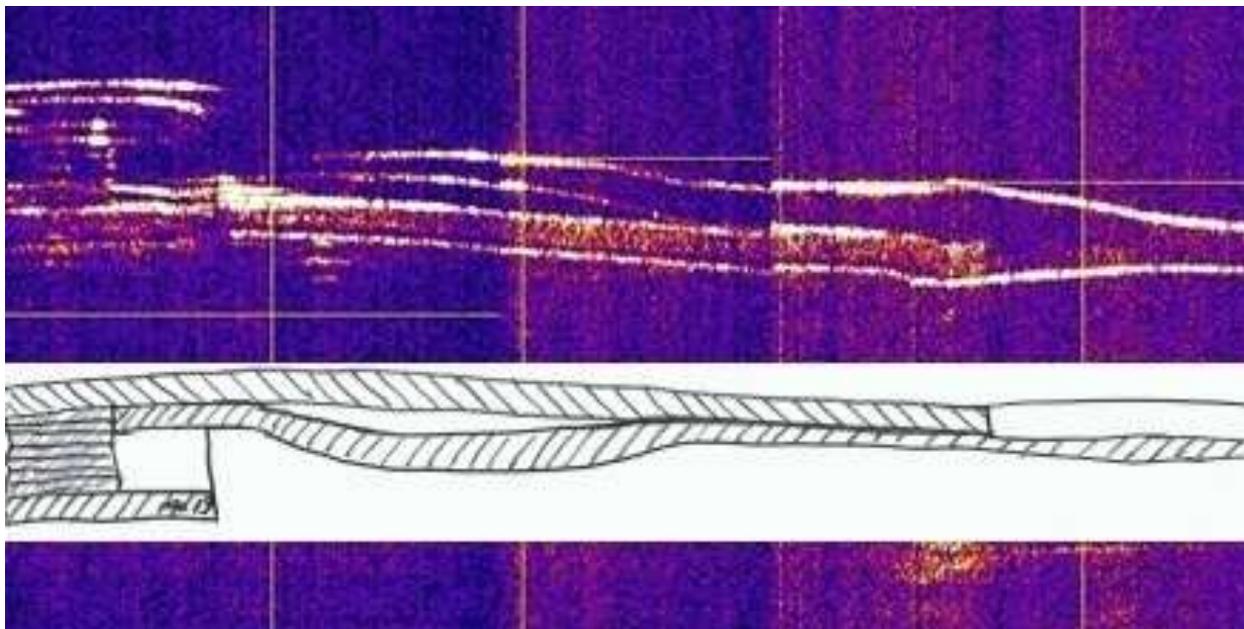


In einem Stack (Bildraum in z- Richtung) werden mit dem ASP Array mit einer Dynamik von 1 Mio fps (frames per Second) bis zu 500 Bilder übereinander aufgenommen. Die Bilder können in der Folge beliebig verarbeitet werden.

9.6. Montagekontrolle

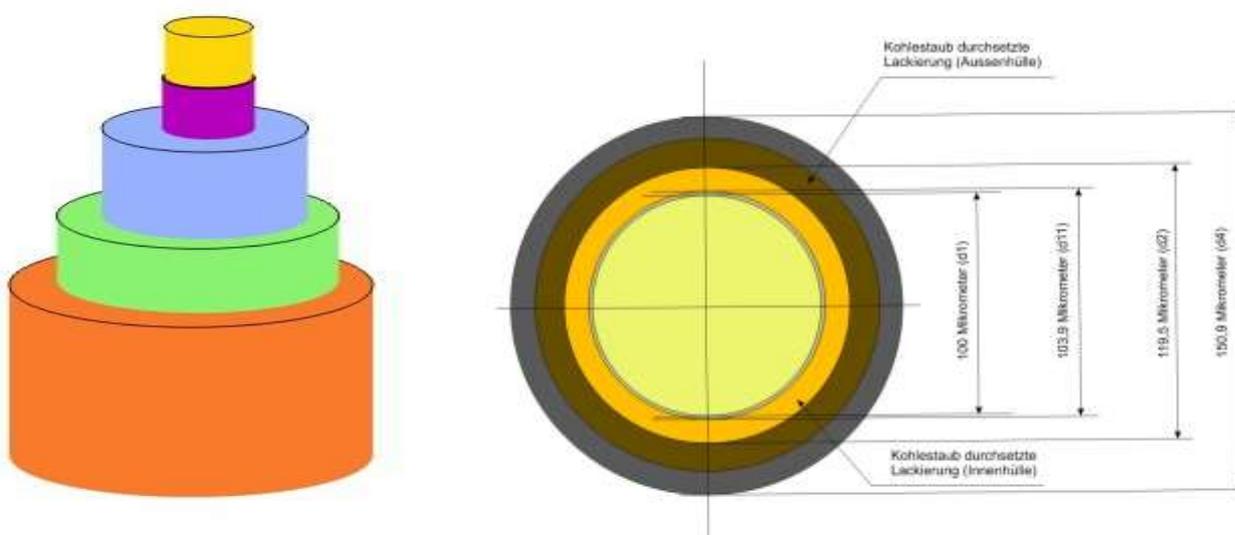
Bei der Montage kleinster Bauteile aus Kunststoffen lässt sich mit der optischen Tomografie die Montage- und Ausführungskontrolle leicht anwenden. Das folgende Bild, aufgenommen mit der optischen Tomografie zeigt den Übergang eines Schlauches mit

einem Aussendurchmesser von 0,9 mm und einem Innendurchmesser von 0,4 mm an ein Mundstück. Die Prüfung erfordert die Vermessung der Lage der einzelnen Schichten im Umfang des Bauteils.



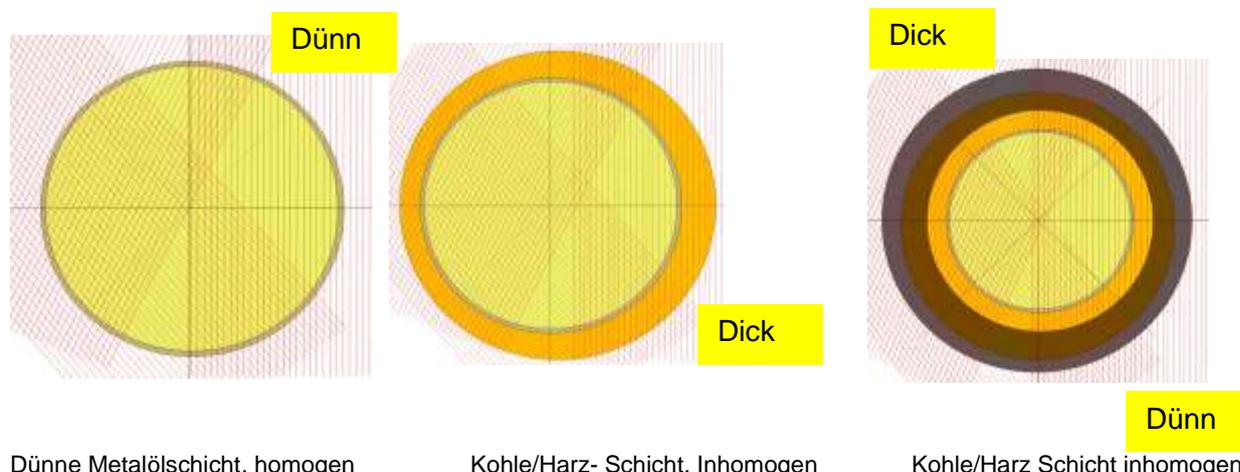
9.7. Messung der Schichthomogenität auf einem Draht

Ob es sich um einen Kupferdraht (gelb) handelt oder anderes Material spielt dabei keine Rolle. In der folgenden Skizze ist ein Kupferdraht sehr dünn mit Silber beschichtet (violett). Auf der Silberschicht folgt die erste Lage mit einer Kohlehaltigen Beschichtung (hellblau). Die Kohlehaltige Beschichtung wird 3 mal aufgetragen. (hellblau, grün, orange).



In der Skizze sind die geometrischen Verhältnisse dargestellt. Die erste Lage der Beschichtung weicht in der Zusammensetzung leicht von den zwei folgenden Lagen ab. Das rote Feld markiert das Blickfeld des Sensors auf der Oberfläche des zu messenden

Objektes. Die geometrische Ortsauflösung, damit die gemessenen Werte nicht zusätzlich winkelabhängig sind, ist durch die Form des Objektes gegeben.

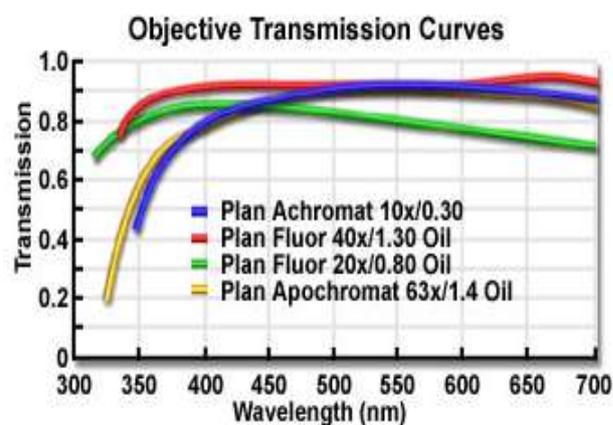
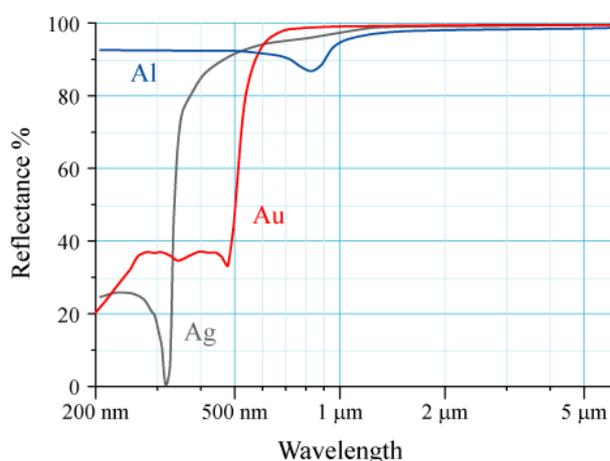


Dünne Metalölschicht, homogen

Kohle/Harz- Schicht, Inhomogen

Kohle/Harz Schicht inhomogen

Sind die Schichten auf den Feindrähten oder auf Fasern homogen, lassen sich elektrische Spulen oder andere Bauteile so wickeln, dass die Anzahl der Windungen maximal ist bei gleichzeitig minimalem Raumbedarf. Bei Präzisionsbauteilen wirken sich diese Eigenschaften entscheidend auf die Qualität des hergestellten Produktes aus.

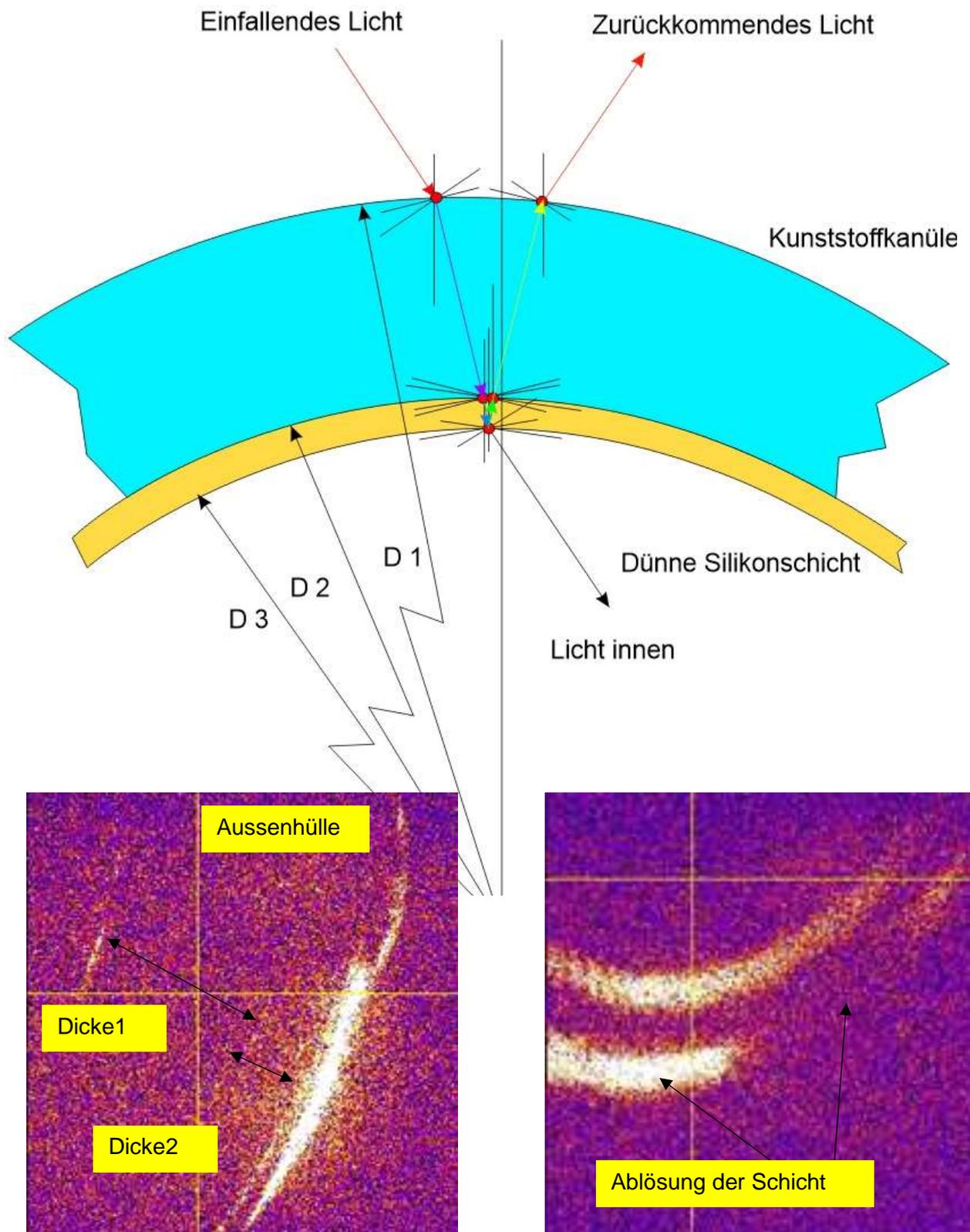


Der minimale Messfleckdurchmesser kann kleiner als 1 μm sein. Die Wellenlänge des Messlichts muss jeweils durch die optische Bank der Beschichtung respektive der Aufgabenstellung angepasst werden. Zum Beispiel weist die Silberschicht ein ganz anderes spektrales Transmissionsverhalten auf als die mit Kohle gefüllte Harzschicht.

Mit der optischen Tomografie wird aber das zu vermessende Bauteil (Faser, Faden, Feinstdraht) schichtweise so aufgenommen, dass aus dem Bilderstapel die Dicke jeder einzelnen Schicht mikrometergenau bestimmt werden kann.

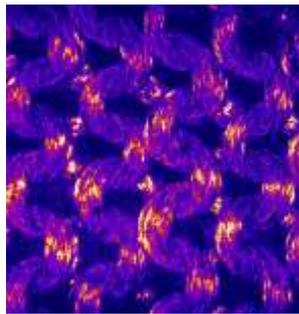
Dabei sind die Zusammenhänge bei ebene Flächen einfacher als bei gebogenen Flächen, wie dies bei Schläuchen oder Feinstdrähten der Fall ist. Gebogene Flächen erfordern zur Auswertung die Berücksichtigung der analytischen Zusammenhänge, damit die zum Sensor zurückgestreute Strahlung richtig charakterisiert wird. Zur

effektiven Messung einer Schichtdicke ist nur die im rechten Winkel abgestrahlte Lichtmenge zur Auswertung gültig. Die Signale sind deshalb nicht ausgedehnt.

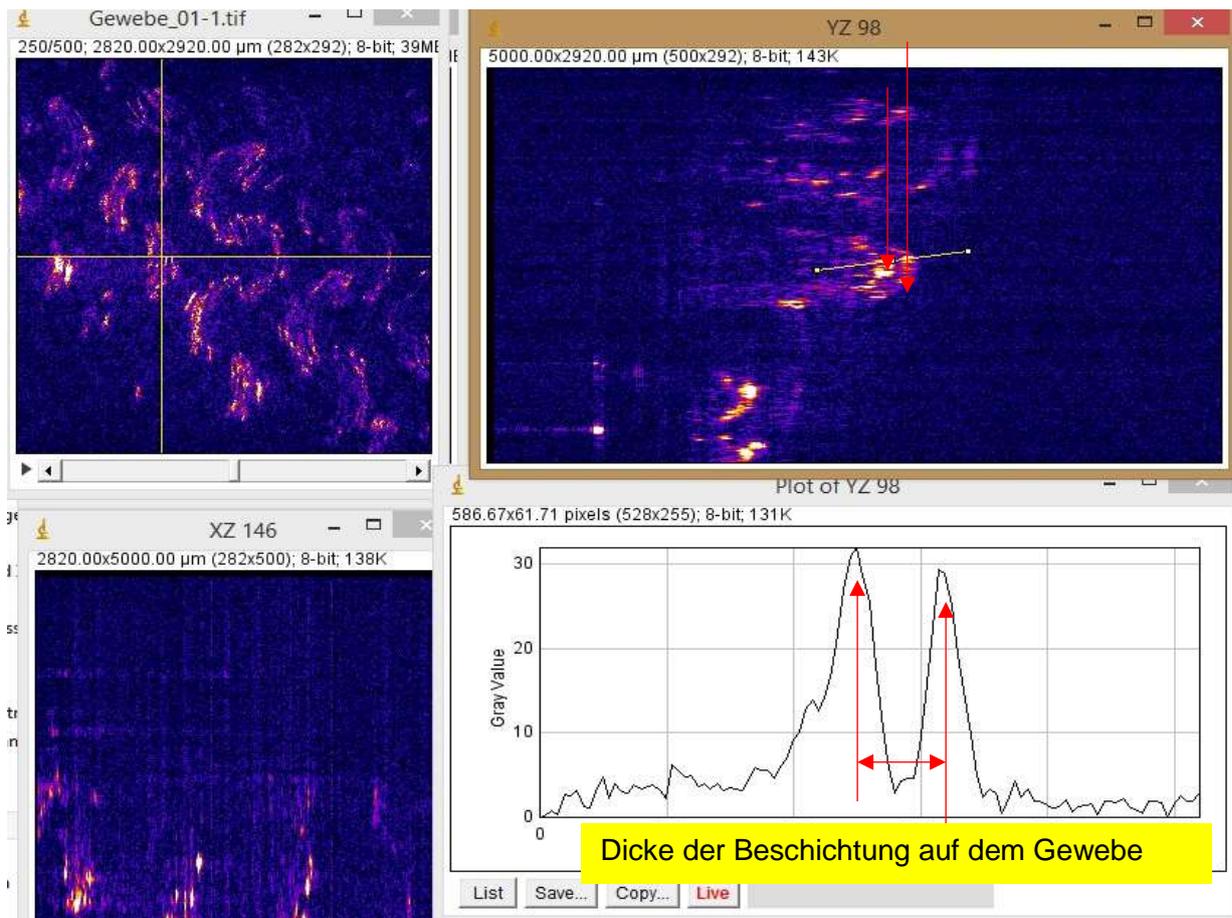
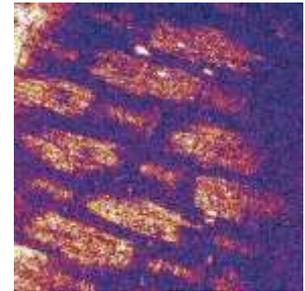
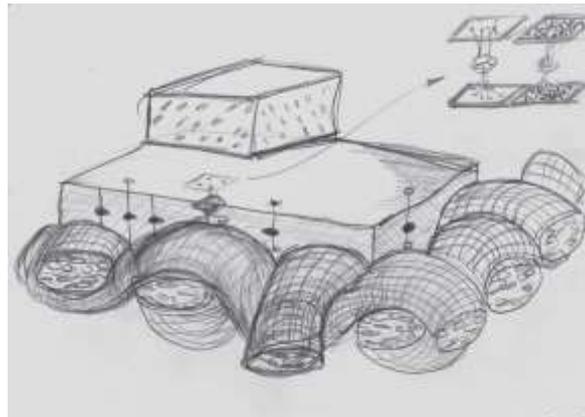


9.8. Schichtdickenmessung auf Fasern oder Geweben

Werden Fasern oder Gewebe beschichtet ist die Frage nach der Dicke der Beschichtung sehr komplex. Zum einen hat eine Faser eine gebogene Oberfläche, zum Andern können auch Einzelfasern als Multifiberfaser zusammengedrillt sein oder es sind Hohlfasern mit mikroskopisch dünnen Kanälen. Mit der optischen Tomografie kann die Dicke der Schicht mikrometergenau gemessen werden.



Textilgewebe
Kohlefasergewebe

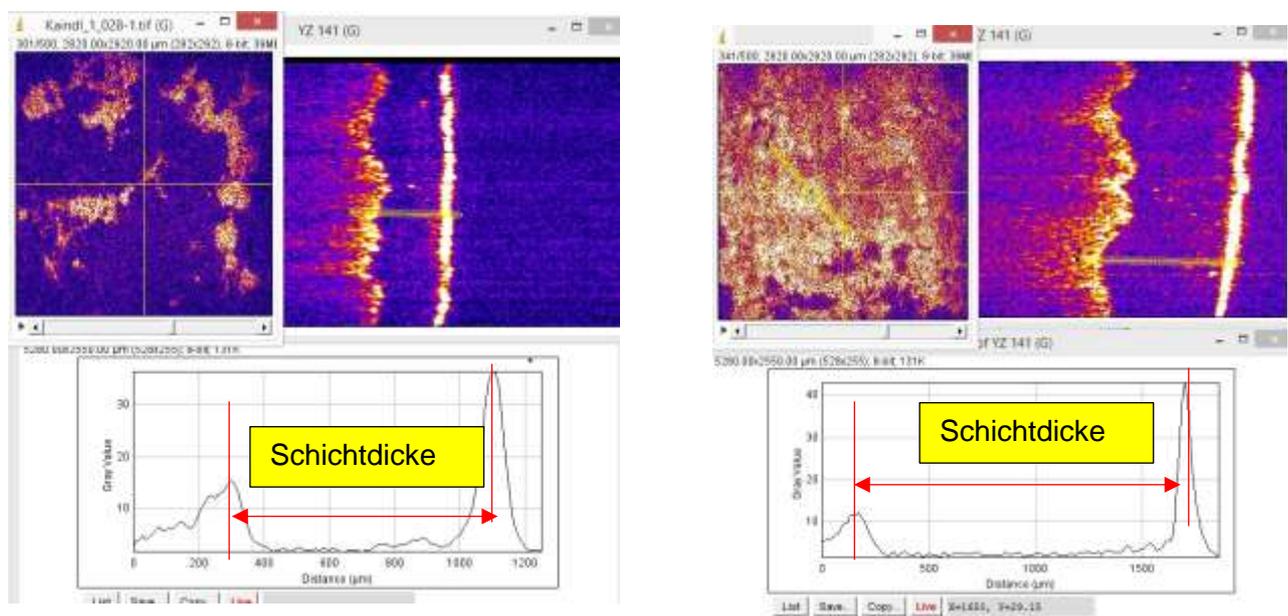


Beschichtete Gewebe dienen als Transportband oder als Funktionsschicht für Textilien, Gebrauchsgegenstände, Bekleidungen oder für sonstige Funktionen. Sie bestehen

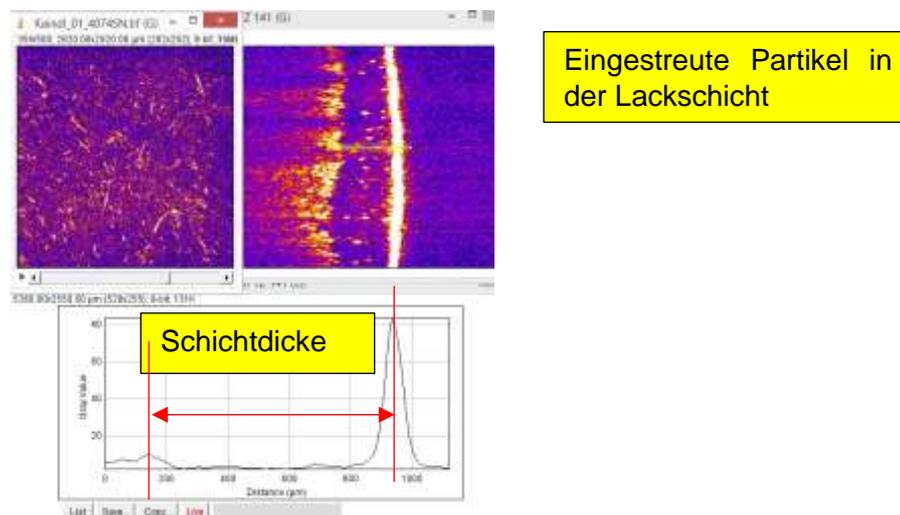
entweder aus Naturfasern, Kohlefasern, Feinstdrahnen oder Glasfasern, je nach deren Verwendung.

9.9. Schichten mit Fullpartikeln (Silizium, Korund)

Beschichtetes Laminat hat in der Regel eingestreutes Korund oder Silizium damit der Verschleiss gehemmt wird. Zum einen kommt es auf die Verteilung der eingestreuten Partikel an und zum Andern auf die Lage im Querschnitt der Beschichtung. Zudem ist auch der Übergang zwischen der Lackschicht, einem Primer und dem Holz ein Qualitätsmerkmal. Mit der optischen Tomografie werden alle diese Merkmale in einem Arbeitsgang und völlig zerstörungsfrei gemessen.

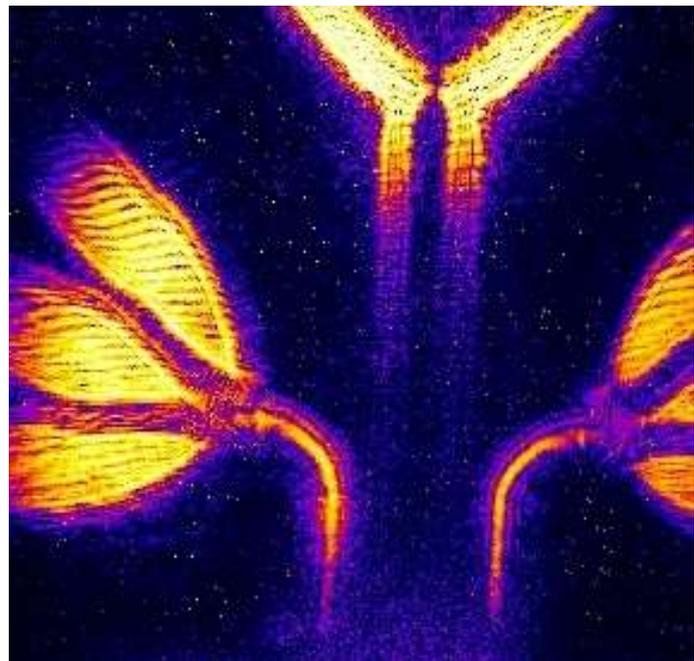
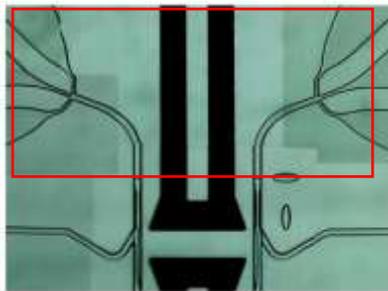


Die zwei Tomogramme zeigen die Dicke der Lackschicht auf einem Laminat in Mikrometer- Genauigkeit. Die Schicht links ist deutlich dünner als die Schicht rechts.

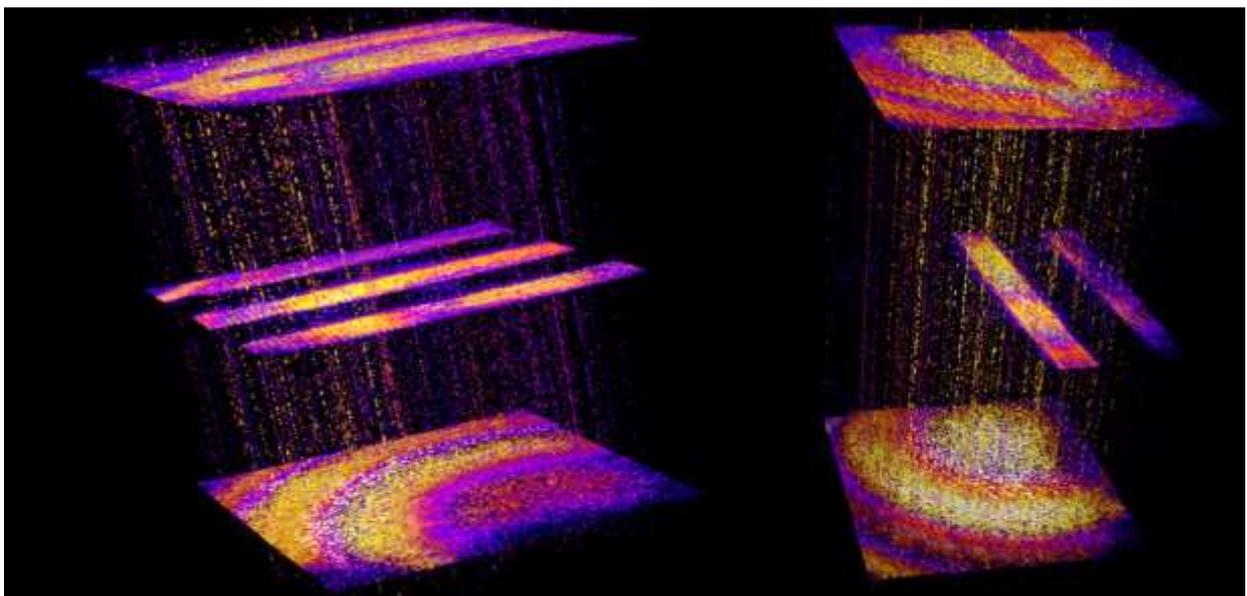


9.10. Vermessen von Micro- Fluid Kanälen

Mit Mikrokanälen werden Medikamente gemischt, chemische Prozesse beobachtet, Potentiale getrennt, Verbindungen geschaffen oder sogar Prozesse gesteuert. Wir zeigen in einer kurzen Übersicht, dass man die Kanäle in solchen Systemen vermessen oder den Durchfluss von Fluiden berührungslos und höchst präzise bestimmen kann.

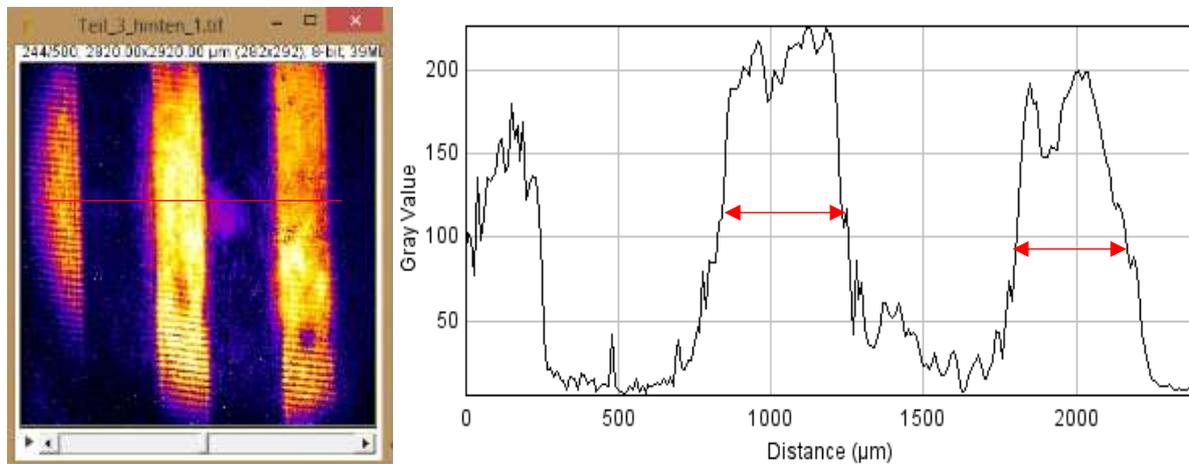


Module mit eingebauten Mikrokanälen. Bild links zeigt 3 Mikrokanäle, Bild rechts 2. Die Geometrie der Kanäle, sowie eventuelle Inhalte die in den Kanälen zirkulieren, können mit dem OCT- Verfahren exakt vermessen werden.

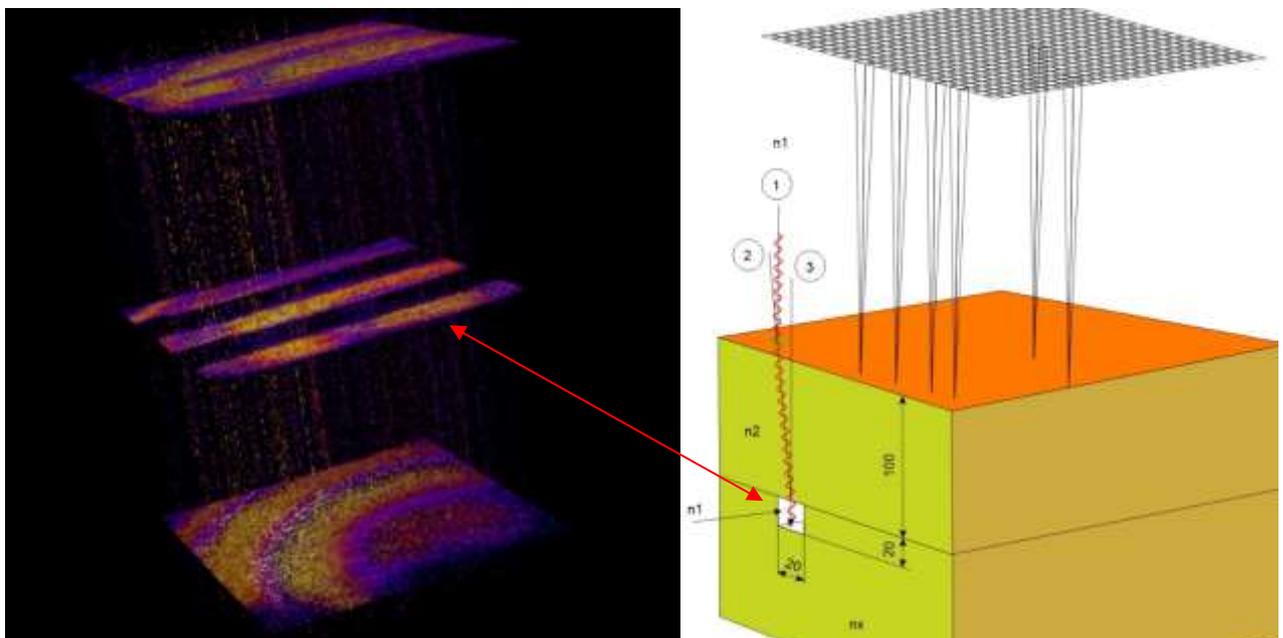


Die folgende Grafik zeigt Mikrokanäle in welchen das ganze Volumen mit dem OCT-System exakt vermessen wird. Aus der Vermessung der Partikelgeschwindigkeit kann

auch das Durchsatzvolumen abgeleitet werden. Die Breite der Mikrokanäle sowie deren Tiefe oder auch die Geschwindigkeit des Mediums werden aus einem einzigen Messvorgang bestimmt.

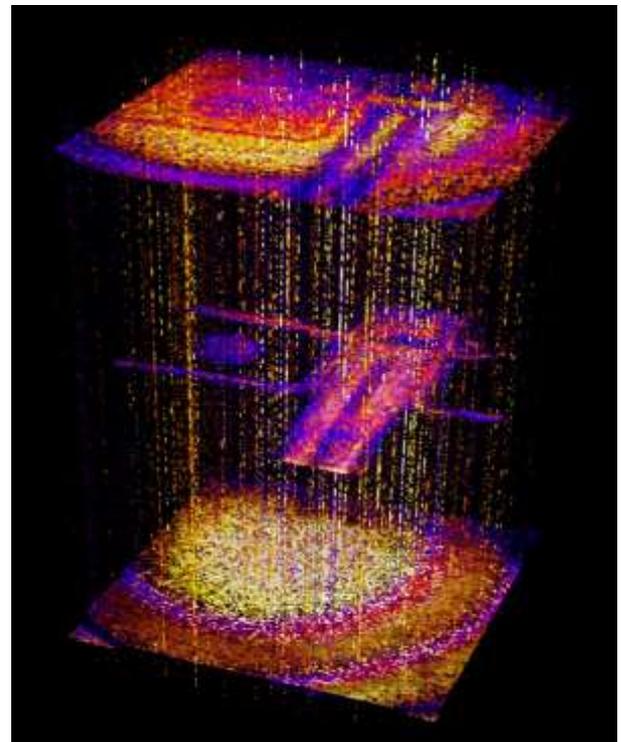
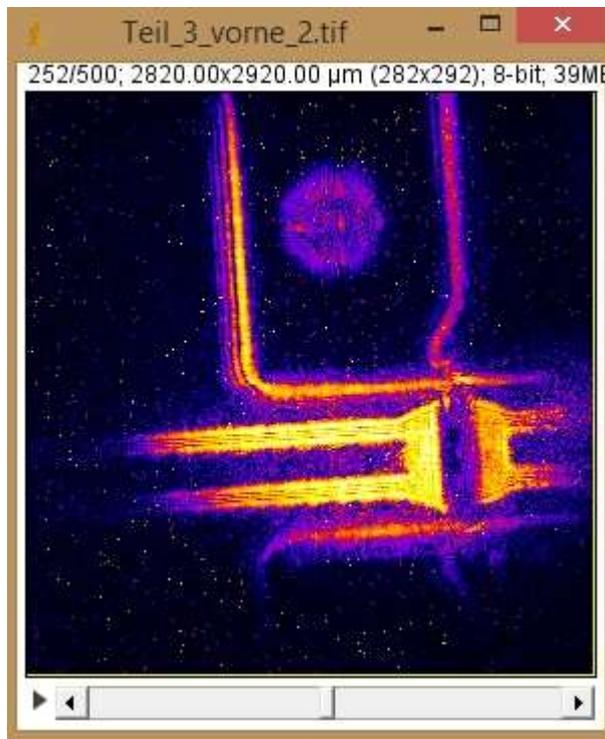


Weil beim OCT- Verfahren die Auflösung in z- Richtung von der lateralen Auflösung entkoppelt ist, können Kanäle im Innern eines Mikrofluid- Bauteils exakt vermessen werden. Das 3D- Bild zeigt 3 Mikrofluid Kanäle in einem transparenten Mikrofluid- Chip. Die Kanaltiefe sowie die Kanalbreite können mit dem OCT Verfahren berührungslos gemessen werden.

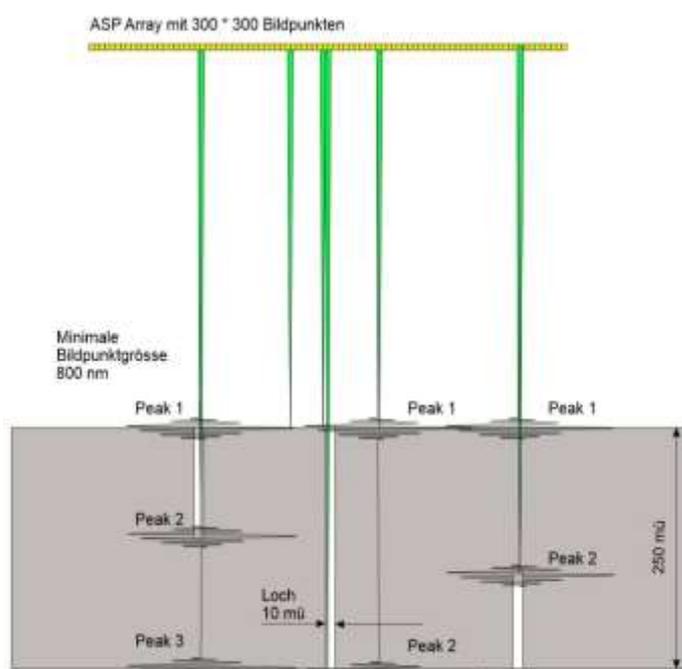


In der Skizze rechts sieht man einen Mikrokanal von $20\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ mit einer Abdeckung von $100\ \mu\text{m}$. Links ist das Tomogramm einer solchen Szene mit 3 Mikrokanälen. Das Tomogramm zeigt die äussere Oberfläche, gefolgt von den 3 Mikrokanälen und der Unterseite des Kanalträgers. Mit dem ASP Array werden gleichzeitig 300×300 Bildpunkte pro Bildebene vermessen. Ein Stack besteht aus bis zu 500 Bildern und erlaubt die Vermessung einer Topografie im Nanometerbereich.

Detailstrukturen mit einer lateralen Auflösung von 1 Mikrometer können mit dem Verfahren aufgelöst werden. Die Auflösung in z- Richtung liegt im Submikrometer-Bereich.



Mikrofluid- Module sind modernste Mischpulte und Laborsysteme auf kleinstem Raum. Mikrokanäle aus Glas oder Kunststoff erfüllen alle Anforderungen an gute optische Transparenz, biologische Verträglichkeit und chemische sowie thermische Beständigkeit. Die Vermessung der Strukturen im Innern der Module sind mit der OCT- Technologie zuverlässig gewährleistet.

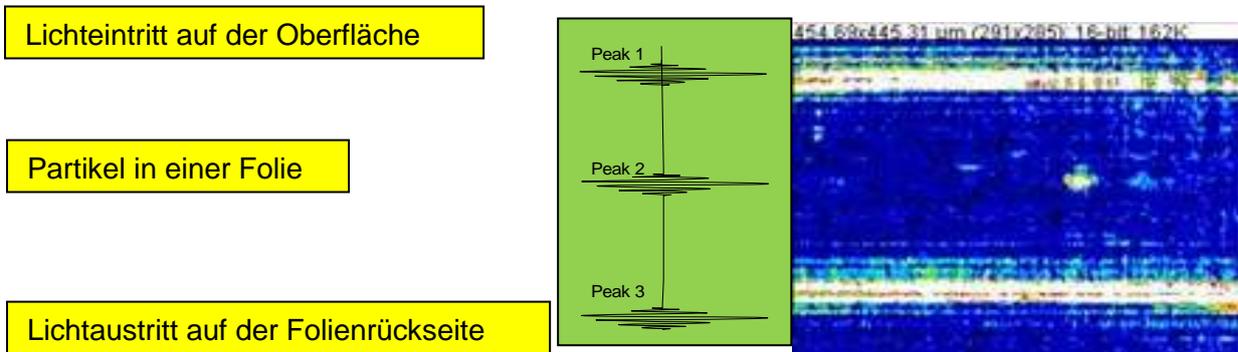


Bei einer minimalen Bildpunktgröße von 800 nm, erfasst der OCT- Sensor bei einem Lochdurchmesser von 10 µm noch 12 Messpunkte.

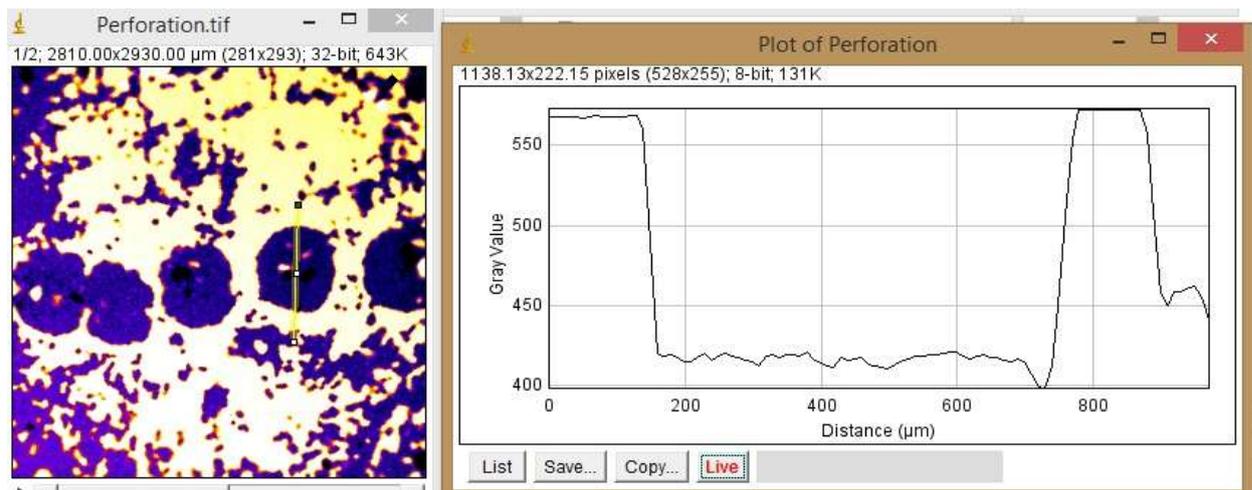
Die Folge der Peaks im Signal zeigt nebenstehende Skizze.

- Vertiefung von der Oberfläche, nicht durchgehend
→ Peak 1,2,3.
- Loch durchgehend:
→ Peak 1,2
- Vertiefung von der Rückseite, nicht durchgehend
→ Peak 1,2.

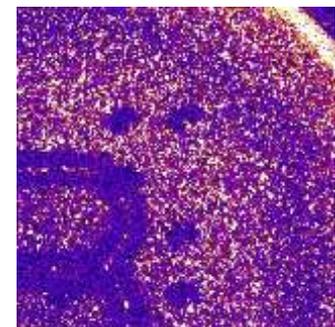
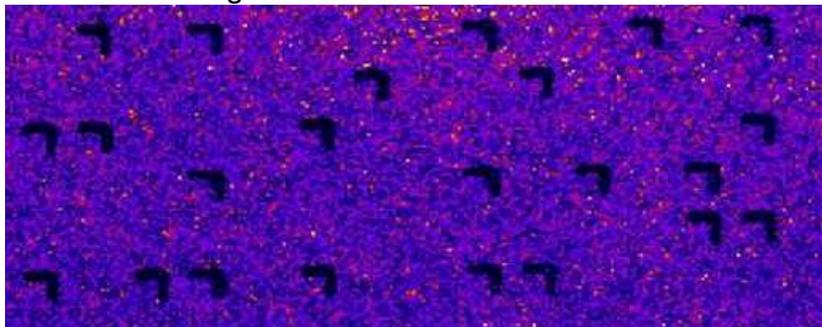
Das OCT Bild liefert eine Informationen zum Verhalten des Lichts das ein Medium durchquert. Bei jeder Änderung des Brechungsindex ergibt sich im OCT Signal ein Peak, der als Signal zur Auswertung verwendet wird.



Durchgehende Löcher in einer Schicht. Das Signal am Schichteintritt fehlt, das Signal am Schichtaustritt ebenfalls. Die Dimension (Durchmesser und Ortslage) sowie die Tiefe eines Lochs werden aus den erfassten Signalen ermittelt. Im OCT- Bild links ist Perforationen auf einem Träger dargestellt. Die Grafik rechts zeigt das Tiefenprofil.



Mit dem OCT- Verfahren werden Topografieunterschiede und Abweichungen in der Planarität oder in der Parallelität im Bereich weniger Nanometer festgestellt. Die folgenden OCT- Bilder zeigen feinste Strukturen in Bauteilen. Es handelt sich um Lasermarkierungen mit Durchmessern um 10 Mikrometer.



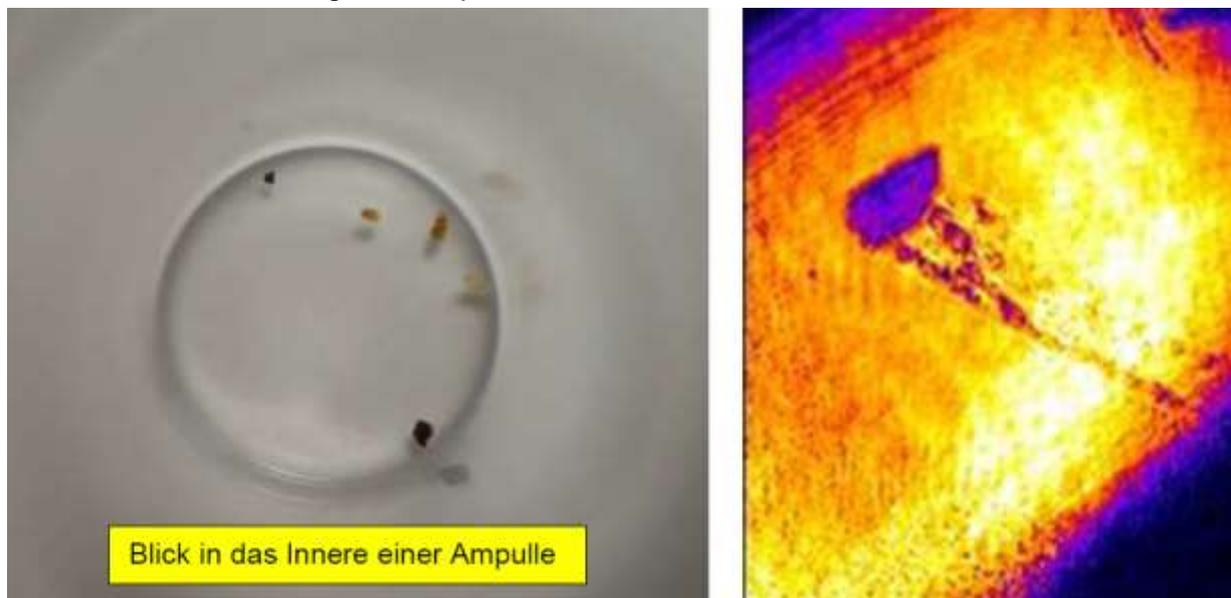
9.10.1. Aufgabenstellungen:

Für die Produktion stehen verschiedene Sensorkonzepte zur Verfügung, aber nicht für die Prüfung der gefertigten Bauteile. Das OCT- Verfahren erlaubt die berührungslose Vermessung von Mikrofluid- Chips im Submikrometerbereich.

Mikrofluidic Chips		
Problem	Konsequenz	Gedanke
Bauteil deformiert	Variation im Brechungsindex oder gar Doppelbrechung	Wenn sich innere Spannungen abbauen ändern sich die Dimensionen der Bauteile
Abmessungen feststellen	Abmessungen im Submikrometerbereich bis einige cm.	Dreidimensionale Messung mit hoher Dynamik notwendig. Normal transparente Materialien, vielfach rechte Winkel und feine Strukturen. Messungen im zusammengebauten Zustand.
Monitoring am Formeinsatz	3D Geometrie und Spannung	Messung des Werkzeugzustandes im Betrieb
Modifizierte Oberflächen (Textur, Material, ...)	Topografiemessung oder Messung der Strahlungseigenschaften resp. der Schichtdicken.	Selektive Identifikation der Schichten und der Topografie
Strukturen	Dicht oder weniger dicht angeordnete Strukturen	Ausmessung der Strukturen im Mikrometerbereich, erkennen von Partikeln oder von Verzerrungen in der Struktur.
Beurteilungen	der Anschluss, Übergänge oder Mikrostrukturen müssen in Bezug auf die Abmessung und Richtigkeit beurteilt werden.	Verengungen in den Kanälen oder Abweichungen in den Mikrostrukturen müssen festgestellt werden.
Fehler	Funktionsstörungen	Erkennen von Ausbrüchen aus dem Formeinsatz oder mangelhafter Formfüllung
Zyklen	Zykluszeit in Bereich einiger Minuten	Für den Laborbetrieb oder für die Produktion vorgesehen
zu beachten sind	Schwingungen, thermische Belastungen, Schwinden des Bauteils bei der Messung	Entsprechende Referenzierungen sind in Algorithmen anzudenken.
Endfertigung	Handeln (Bewegen) der Bauteile und mechanische Bearbeitungen wirken sich aus.	Prüfung der Bauteile nach dem Fertigstellen ist wichtig, weil Späne oder Partikel auf dem Bauteil haften können.

10. Erkennen von Partikeln in Gefässen.

Die Inspektion von Ampullen und Behältern auf Partikel im Innern erfordert ein Messverfahren, das eine genügend hohe laterale Auflösung hat und sich flexibel an verschiedene Messaufgaben anpassen lässt.



Eine Interessierende Szene kann auch bei engsten Platzverhältnissen völlig berührungslos vermessen werden, weil sämtliche Signale über Fasern und miniaturisierte optische Bauelemente übertragen werden. Das LCI-Verfahren erlaubt „Volumenscans“ und erreicht eine Auflösung in der Tiefe (z- Achse) im Submikrometer-Bereich. Aus den Signalen werden die Bauteilgeometrie, die Schichtdicke oder Fehlstellen ausgewertet.

LCI Anwendungen haben sich in den letzten zehn Jahren vor allem zur Charakterisierung von biologischen Geweben schnell entwickelt. Signifikante Erfolge wurden auch bei Anwendungen zu diagnostischen Zwecken erzielt.

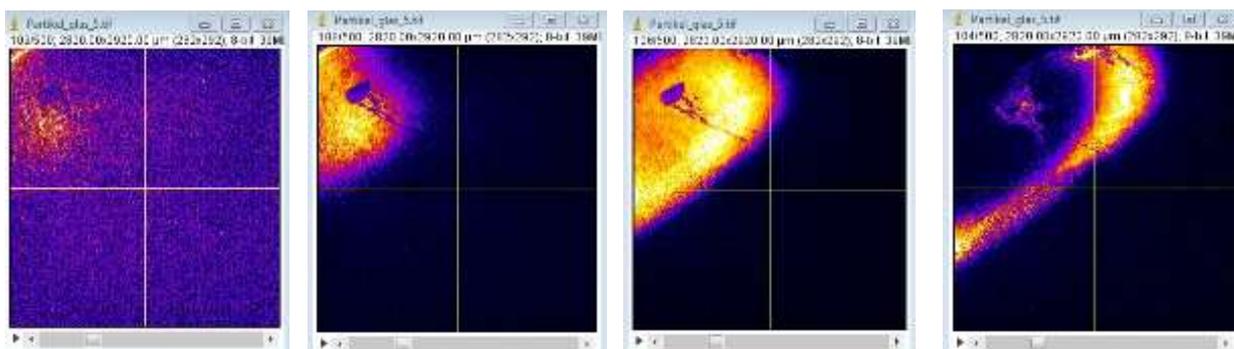
LCI steht am Anfang der industriellen Anwendung und erschliesst ein breites Feld von Einsatzmöglichkeiten, die heute noch kaum objektiv überblickt werden können. Messen mit Licht ist eine Technologie, die für den industriellen Einsatz bereit steht.

Lichtfasern oder optische Einrichtungen bringen das Licht der Pulsquelle auf die Probe und ermöglichen so die berührungslose und zerstörungsfreie Erfassung von Messresultaten mit höchster Geschwindigkeit und Präzision.

Wir haben an fertig produzierten Bauteilen mit dem OCT Messverfahren die Dicken der einzelnen Schichten vermessen und dabei Dickenunterschiede von mehr als 50% festgestellt. Zudem haben wir Haftungsfehler sowie „Haftungsschwächen“ nachgewiesen.

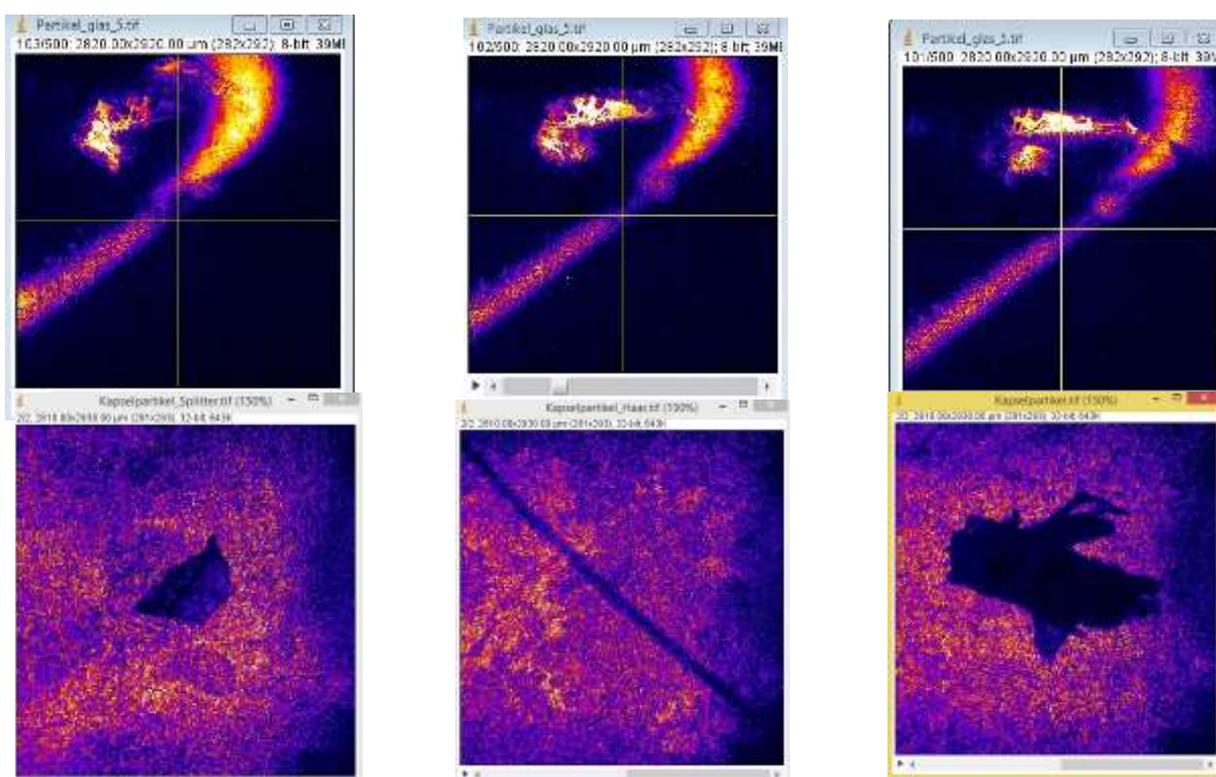
Der Einsatz des OCT Verfahrens zur Inspektion von Ampullen auf Verschmutzungen aller Art in unterschiedlicher Grösse wurde an diversen Proben studiert mit dem Ziel, in den Ampullen Partikel aus Kunststoff, Glas oder Metall sowie Fasern oder Haare sicher in der laufenden Produktion zu erkennen.

Das Standard- OCT Verfahren mit dem ASP Array zeigt sehr gute Resultate wenn die Partikel in einer Ebene liegen. Probleme bestehen aber, wenn die Partikel in einem Radius der Ampulle liegen oder irgendwo an der Innenwand der Ampulle haften. Die Messresultate zeigen, dass die gewählten Partikel festgestellt werden, die Resultate zeigen aber auch, dass die Form der Ampullen sowie die Radien zu Reflektionen führen, deren Bewertung nicht einfach ist. Die am Boden liegenden Partikel befinden sich oft im Radius vom Boden zur Wand der Ampulle. Vor allem die kleinen Partikel „kleben“ dort fest. Die folgenden Bilder zeigen einen **Glas- Splitter in einer Ampulle**.



Die Signale verändern sich von Bild zu Bild, weil die Verschmutzungen verschieden geformt sind und deshalb die Lichtstreuung oder die Reflektion unterschiedliche Richtungen annimmt.

Bei den Messungen wurden Partikel aus Glas, Kunststoff, Staub oder Haare verwendet. Die Messungen erfolgten von der Aussen- oder von der Innenseite her. Die minimale Partikelgröße liegt bei etwa 50 Mikrometer. Die Form der Verunreinigung (Kantig, Rund) und deren Lage (Aufstehend, Liegend) in der Ampulle wirken sich auf das Signal aus. Die Bilder zeigen Verschmutzungen am Boden im Innern einer Ampulle.



Der Einsatz des OCT Verfahrens zur Inspektion von Ampullen auf Verschmutzungen aller Art in unterschiedlicher Grösse wurde an diversen Proben studiert mit dem Ziel, in den Ampullen Partikel aus Kunststoff, Glas oder Metall sowie Fasern oder Haare sicher in der laufenden Produktion zu erkennen. Das Standard- OCT Verfahren zeigt sehr gute Resultate wenn die Partikel in einer Ebene liegen. Probleme bestehen aber, wenn die Partikel in einem Radius der Ampulle liegen oder irgendwo an der Innenwand der Ampulle haften. Die Messresultate zeigen, dass die gewählten Partikel festgestellt werden, die Resultate zeigen aber auch, dass die Form der Ampullen sowie die Radien zu Reflektionen führen, deren Bewertung nicht einfach ist. Die am Boden liegenden Partikel befinden sich oft im Radius vom Boden zur Wand der Ampulle. Vor allem die kleinen Partikel „kleben“ dort fest.

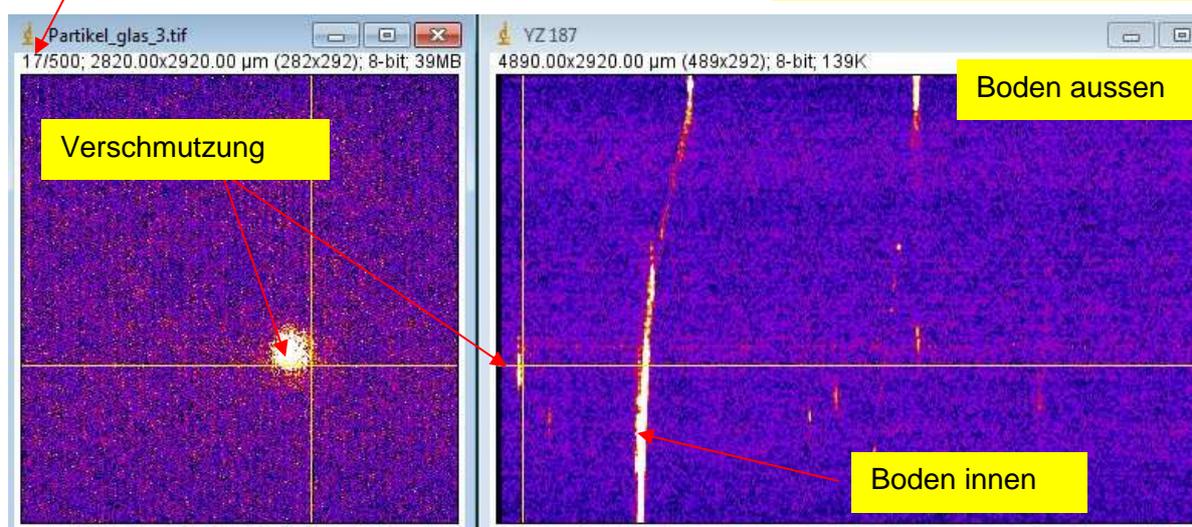


Die Form der Verunreinigung (Kantig, Rund) und deren Lage (Aufstehend, Liegend) in der Ampulle wirken sich ebenfalls auf das Signal aus.

Die oben dargestellten Bilder zeigen typische Verschmutzungen am Boden im Innern von Serum- Ampullen.

Bildnummer 17 aus dem Stack

Vertikalschnitt durch den Stack



Im Bild sind durch die Form des Glaspartikels verschiedene Signale feststellbar. Zur Interpretation dient die Lichtlaufzeit. Je nach Orientierung der Fehlerebene ist das reflektierte Licht „stärker“ oder „schwächer“. Je nach Lage des Partikels verändert sich die Flugzeit der Photonen.

10.1. Faser OCT:

Um die Problematik unterschiedlicher Ampullenformen und der verschiedenen Lagen der Partikel zu lösen wurde das Faser OCT- Verfahren vorgeschlagen. Das Verfahren ist flexibel an verschiedene Messaufgaben adaptierbar. Es können bis zu 10'000 Fasern eingesetzt werden können, um gezielte Prüfergebnisse zu erfassen. Das Faser OCT-System ist sicher die technisch optimalste Lösung, jedoch sind die Kosten für ein solches System noch hoch. Das Faser- OCT System existiert als Punktmesssystem im aktuellen Markt.



Details sind im Grundbericht, der auf Anfrage zur Verfügung gestellt wird, enthalten.

10.2. Standard- OCT- System mit angepasster Optik.

Eine Version das OCT Verfahren zur Prüfung von Ampullen einzusetzen kann durch den Umbau eines Standard- OCT- Systems realisiert werden.

Damit werden die Ampullen von der Innenseite her inspiziert. Der OCT Messkopf wird optisch so angepasst, dass das System den ganzen Boden der Ampulle in einem Bild erfasst und gleichzeitig auch die bodennahe Seitenwand im ganzen Umfang bis zu einer Höhe von 5 mm. Bei der Inspektion bleibt die Ampulle unter dem Messkopf stehen. Das OCT System macht einen Volumenscan über 100 Bilder und erfasst die Bodenfläche sowie die angrenzende Innenwand. Nun sind alle am Boden liegenden Partikel erfasst. Die Lokalisation der Partikel (Fuseln, Haare) die an der Ampullenwand haften werden von der Aussenseite her lokalisiert.

Der angepasste OCT Messkopf sieht von aussen durch die Ampullenöffnung auf die Bodenzone im Innenraum der Ampulle.

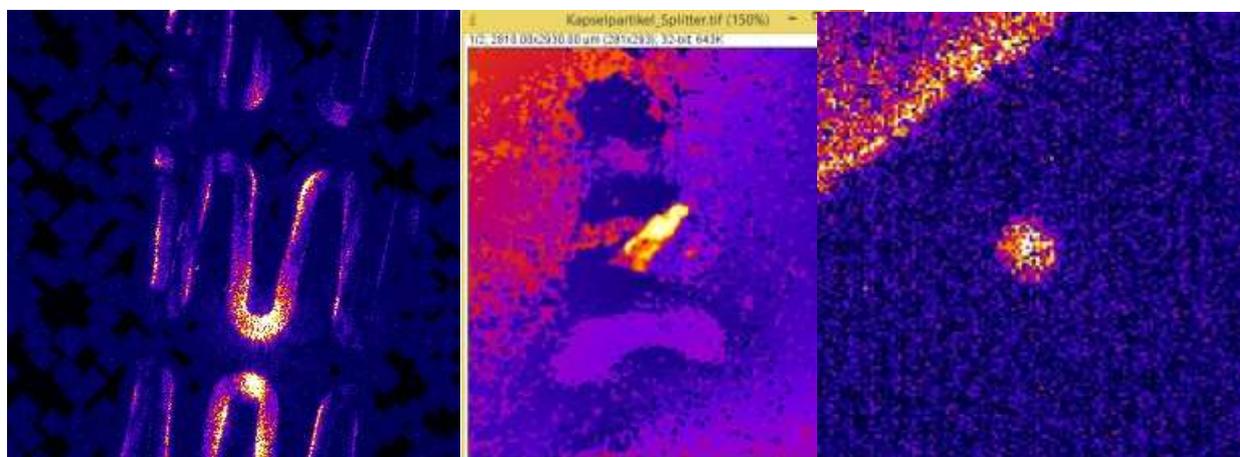


Inspiziert man Ampullen beim Abfüllprozess, wo gleichzeitig auch das Serum inspiziert wird, ist vor dem Verschliessen der Ampulle sichergestellt, dass kein Partikel eingeschlossen wurde. Dadurch erübrigt sich eine nachträgliche Inspektion, was sich günstiger auf die Produktionskosten auswirkt. (Schnellere und bedeutend besser gesicherte Identifikation von Partikeln in der Produktion).

10.3. Genauer Blick in Ampullen oder in Kanülen

Der Miniaturisierungstrend in der Medizintechnik erfordert präzise Aussagen über die Rauheit, die Kontur, die Topographie der einzelnen Bauteile auf chirurgischen Instrumenten und eine Information zur Dicke der Beschichtung.

Die Bauteile werden mit dem OCT- System präzise um die eigene Längsachse gedreht und vollflächig vermessen.

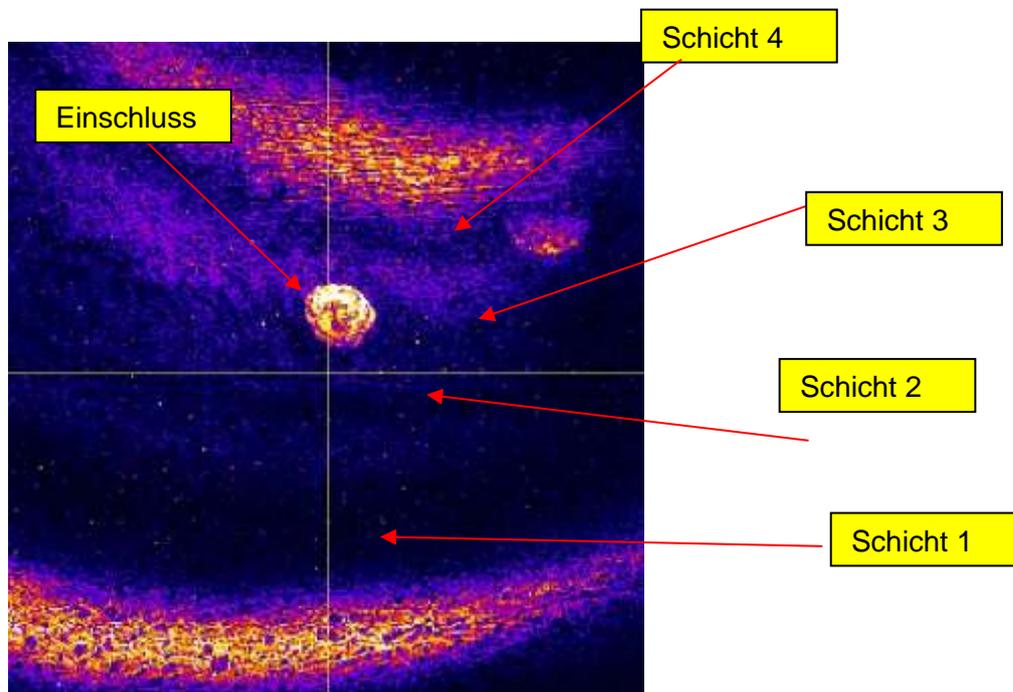


Die minimalinvasive Chirurgie ist heute Alltag. Mikrowerkzeuge oder Katheterballons werden eingesetzt, um Herzkranzgefäße zu erweitern und zu stabilisieren oder um Mikrooperationen auszuführen. Über messbare Qualitätsmerkmale solcher Bauteile dürfen keine Zweifel bestehen. Das OCT- Verfahren stellt eine objektive Lösung zur Vermessung von Oberflächen, von Geometrien oder der Beschichtungsdicke auf solchen Bauteilen dar. Die Herausforderung ist nicht mehr die Prüftechnik, es ist vielmehr das Handling der komplizierten Bauteile.

Zu den Einsatzgebieten zählen unter anderem die Messung der Geometrien von Intraokularlinsen oder der Rauheit von künstlichen Hüft- und Kniegelenken. Um ein bestmögliches Verwachsen von Knochenzellen mit Prothesen zu gewährleisten, werden die Breite und die Tiefe der Mikrostrukturen auf den Prothesen exakt vermessen.

11. Weitere Resultate aus OCT- Anwendungen:

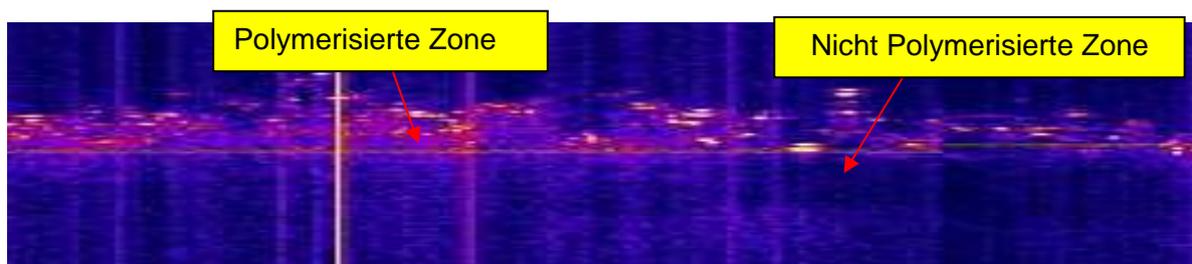
11.1. Einschluss in einer Siegelnaht



Die geometrische Auflösung pro Bildpunkt liegt zwischen 1 bis 40 Mikrometer. Damit werden kleinste Einschlüsse oder Siegelnahtfehler sicher erkannt. Im Bedarfsfalle kann auch die Breite der Siegelnaht bestimmt werden.

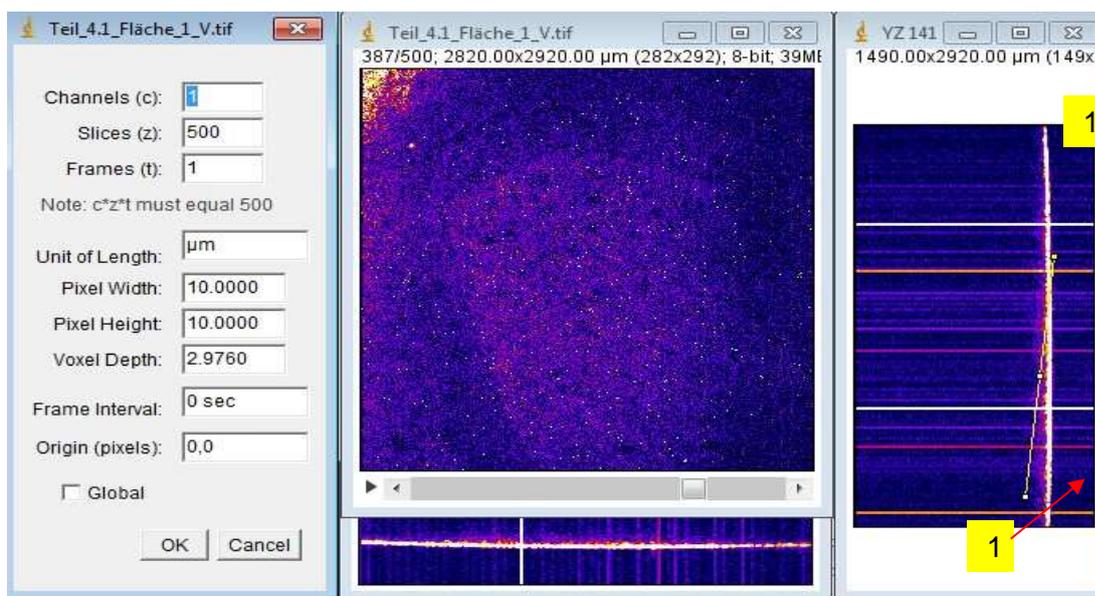
11.2. Feststellen des Polymerisationsgrades

Beim Vernetzen der Pulverschicht verändern sich die „Reflektion“ und die „Streuung“ des Lichts im Material. Diese Veränderung stellen wir mit der Lichtlaufzeitmessung fest, d.h. wir erkennen den Zustand der Polymerisation und können demzufolge eine Aussage machen, wann der Polymerisationsprozess abgeschlossen ist. In der polymerisierten Schicht verändern sich die Reflektions- und Streuprozesse, weil sich auch der Brechungsindex verändert. Die Veränderungen sind eine Funktion des Polymerisationsgrades. Dadurch können mit der Lichtlaufzeitmessung bereits heute die erhöhten Qualitätsanforderungen problemlos erfüllt werden. Der Pulververbrauch wird deutlich minimiert und die Auslastung der Beschichtungsanlage wird maximiert was zu einer höheren Wertschöpfung führt.



11.3. Eingebaute Sinterschichten

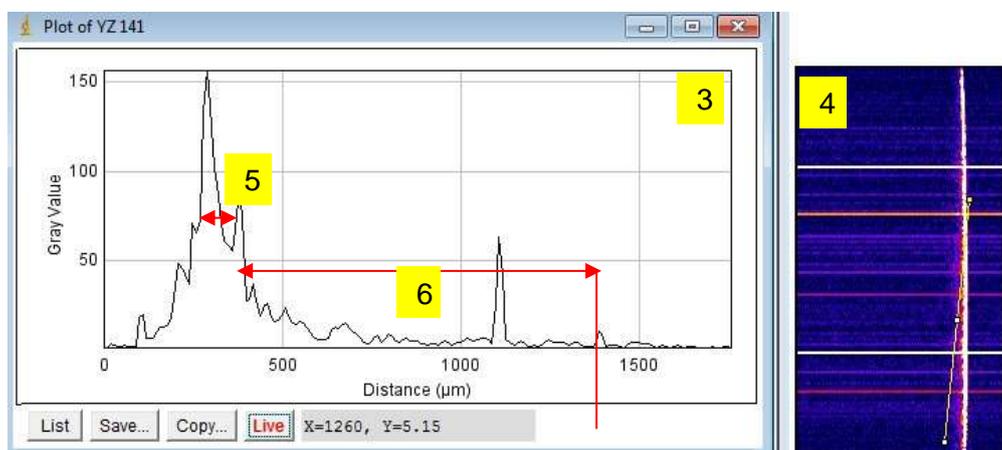
Lichtlaufzeitmessungen wie bei Pulverschichten sind auch bei Sinterschichten, die abgedeckt sind, möglich. Das folgende Beispiel zeigt eine in Kunststoff eingebaute Sinterschicht. Bei einer Bildpunktgrösse von $10\ \mu\text{m} * 10\ \mu\text{m}$ und einer Auflösung in der Tiefe von $2,976\ \mu\text{m}$ werden in einer Sekunde 500 Bilder erfasst und für die Auswertung bereitgestellt.



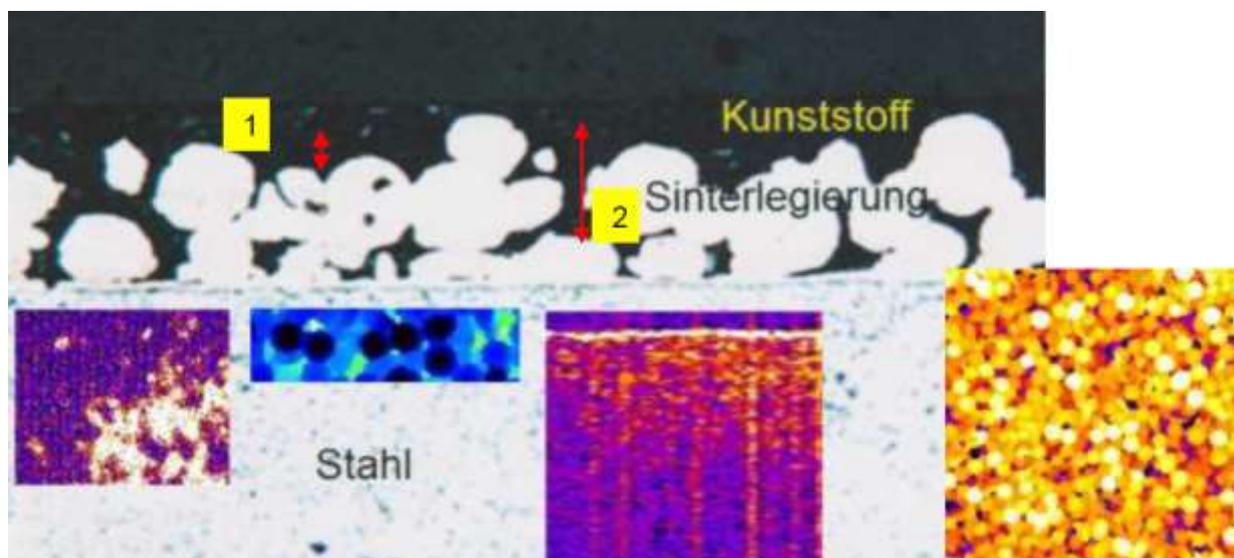
Die Laufzeit des Lichts vom Lichteintritt in die Kunststoff- Oberfläche (1) und die Streuung im Kunststoff (2) bis zur abstrakten Begrenzung des Messlichts wird ausgewertet. Die Grafik (unten) zeigt das Signalprofil (3) der Linie im Bild auf der rechten Seite (4).

Dünkste Schicht 17 mü (5)
 Dickste Schicht 242 mü (6)

Unterschiede in der Lichtlaufzeit sind durch die Partikelgrösse gegeben, weil die Partikel (1) einmal grösser sind oder eine kleine Überdeckung haben oder weil die Partikel (2) direkt auf dem Substrat liegen.



Die im Kunststoff eingebetteten Partikel der Sinterlegierung zeigen sich als „Berge oder Täler“, weil die Lichtlaufzeiten unterschiedlich sind. Aus den Lichtlaufzeiten wird ein Rückschluss auf die maximale oder minimale Überdeckung gezogen.



Man kann in der eingebetteten Sinterschicht verschiedene Tiefen messen. Bei einer Ortsauflösung von 2,82 mm * 2,92 mm werden bei 300 * 300 Bildpunkten noch 10 µm grosse Objekte bei einer Tiefenauflösung von 2,976 µm gemessen. Das Tiefenprofil erscheint in unterschiedlichen Farben, dunkel bedeutet tiefe Lage, hohe Überdeckung. Die topografische Vermessung von Bauteilen erfolgt mikrometergenau entweder im laufenden Prozess oder „off line“. Während die Gesamtdicke von mehrschichtigen Folien exakt produziert wird, weichen die Einzelschichten doch erheblich voneinander ab. Mit den OCT-Verfahren werden die Bauteilgeometrie oder die einzelnen Schichten einer Folienkonstruktion im laufenden Betrieb gemessen.

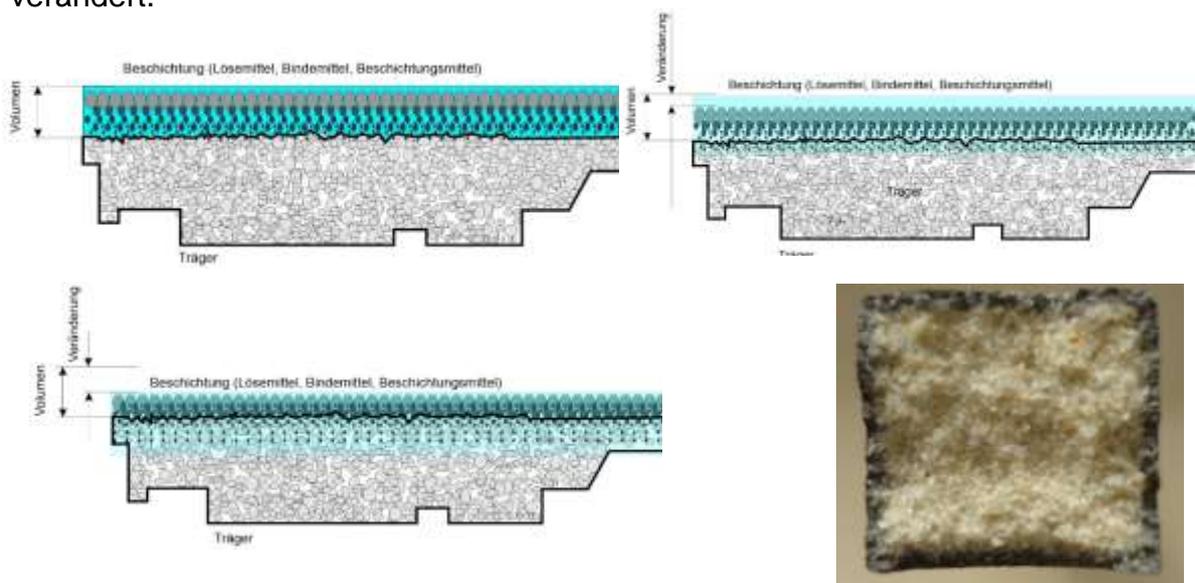
11.4. Berührungslose Vermessung der Porosität von Substraten und deren Beschichtungen.

Die topografische Vermessung von Bauteilen erfolgt mikrometergenau entweder im laufenden Prozess oder „off line“. Während die Gesamtdicke von mehrschichtigen Folien exakt produziert wird, weichen die Einzelschichten doch erheblich voneinander ab. Mit den OCT-Verfahren werden die Bauteilgeometrie oder die einzelnen Schichten einer Folienkonstruktion im laufenden Betrieb gemessen.



11.4.1. Detektion von Oberflächenmerkmalen

Bei der Herstellung von Maschinen, Anlagen oder ganzen Fabriken stellt sich immer mehr die Frage, wie Oberflächen spezifiziert werden müssen damit ein einheitliches, qualitativ bewertbares Gesamtbild entsteht. Aus den Messungen ergibt sich das "Einsinkverhalten" der Beschichtung. Die erste Messung liefert die Oberfläche der Beschichtung. Die folgenden Messungen zeigen die Oberfläche der Beschichtung, deren Lage sich aufgrund des Eindringens des Beschichtungsmaterials in den Sandkern verändert.



Die Grafiken zeigen den Ablauf nachdem die Beschichtung aufgebracht worden ist. Das Bild unten rechts zeigt das in den Kern eingedrungene Beschichtungsmaterial. Durch die berührungslose Vermessung des Substrates und des fertig beschichteten Bauteils lassen sich die qualitätsentscheidenden Kriterien reproduzierbar ermitteln.

Nicht zuletzt wird eine hohe Kundenzufriedenheit dann erreicht, wenn keine Arbeiten mehr ausgeführt werden müssen um Bauteile verschiedener Hersteller miteinander zu verbinden oder wenn durch die Bauteilbeschichtung das Endprodukt nicht mehr bearbeitet werden muss. Oberflächen müssen also definierte Anforderungen, die unabhängig vom Prüfpersonal sind, erfüllen. Bei der Beschichtung von Bauteilen müssen demzufolge die Oberfläche des Trägers (Substrat) sowie die nach dem Beschichten zu erwartende Oberfläche (Struktur, Feinheit) und deren Geometrie (Passung) vermessen werden. Das bedeutet, dass die Oberflächenmerkmale auf nicht beschichteten Bauteiloberflächen sowie den fertigen Bauteilen schnell, höchst genau und mit gleichbleibender Qualität erfasst werden müssen. Geräte und Anlagen zur Vermessung der Geometrie oder der Dimension von Bauteilen stehen bereits erfolgreich im Einsatz. (Koordinatenmessmaschinen, Kamerasysteme, Scanner).

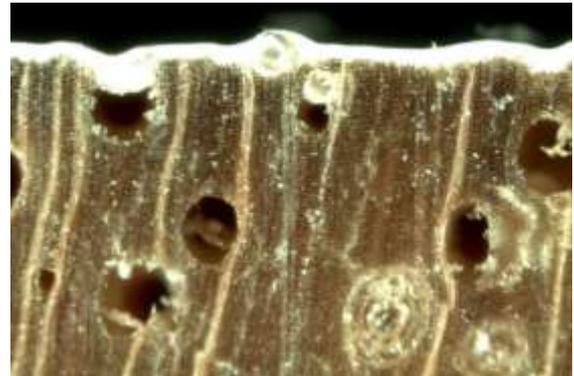
Werden kleinste lokale Abweichungen von Oberflächen mit Licht ermittelt können damit in sehr kurzer Zeit grosse Flächen inspiziert, und kleinste Abweichungen reproduzierbar festgestellt werden. Die Verfahren der „Lichtmessung“ lassen sich in der Regel einfach an unterschiedliche Aufgaben anpassen und in Prozesse integrieren. Die Resultate sind objektiv und unabhängig von den Fähigkeiten eines Prüfers.

Um das Messverfahren festzulegen, müssen berücksichtigt werden:

- die Genauigkeit
- die Messzeiten
- die Zuverlässigkeit
- einfache Kalibrierung
- Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen
- Investitions- und Betriebskosten.

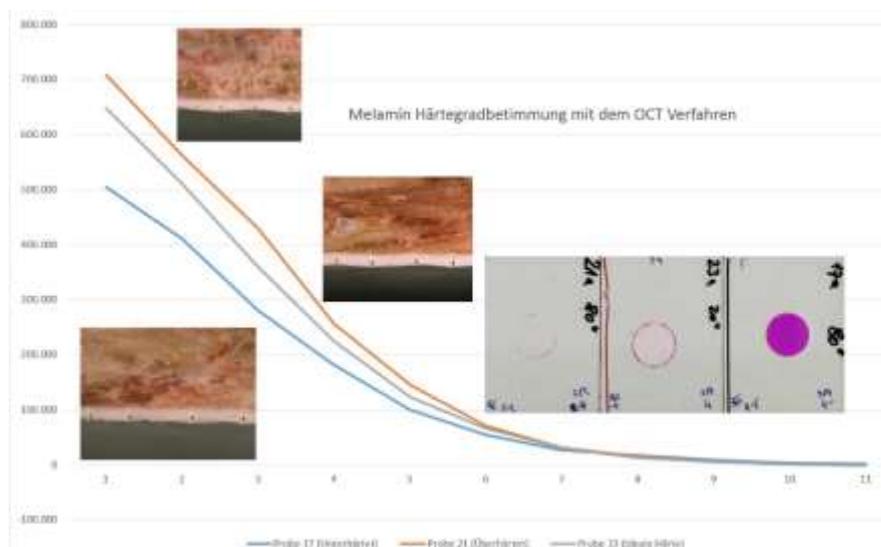
11.4.2. Messung der Beschichtung auf Holz

Holzwerkstoffe vollflächig zu beschichten ist deshalb heikel, weil grosse Poren eine dickere Schicht erfordert, wodurch zwar eine unterbruchsfreie Beschichtung gewährleistet ist, aber bei kleineren Poren zu viel mehr Beschichtungsmaterial verbraucht wird, was höhere Kosten nach sich zieht. Weil aus wirtschaftlichen und logistischen Gründen eine Nachbearbeitung kaum möglich ist, muss unbedingt angestrebt werden, dass alle qualitätsentscheidenden Merkmale bereits in der laufenden Produktion erfasst und bewertet werden.



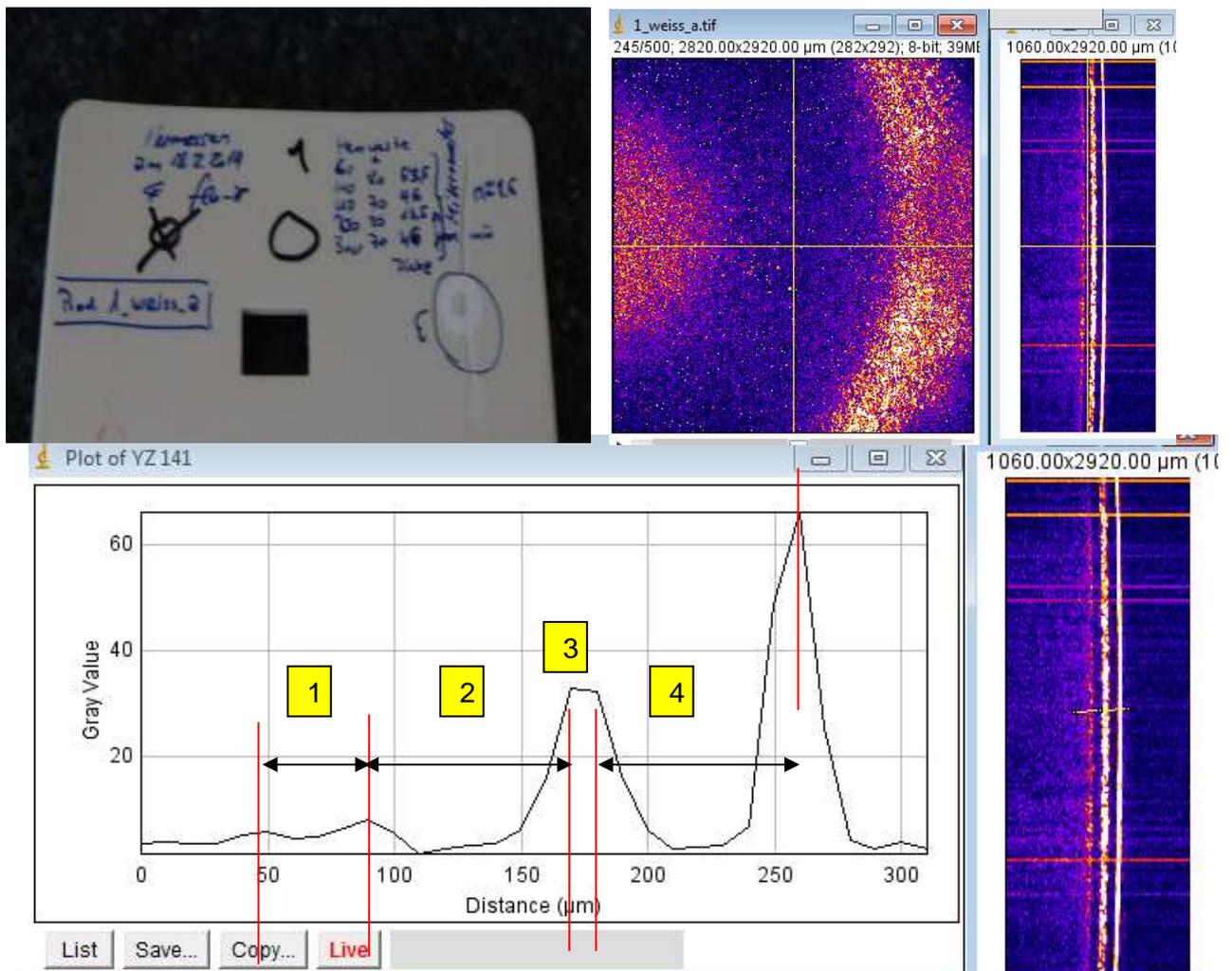
Mit dem OCT- Verfahren wird die Dicke einer Beschichtung auf allen Substraten gemessen. Das System lässt sich auch in bestehende Produktions- Systeme einbinden. Die Dicke ergibt sich aus der Mittelwertbildung von Messwerten an einem Messort.

Sei es die Dicke oder die Vernetzung, mit Hilfe des OCT- Verfahrens bleiben Prozesse unter Kontrolle und verschaffen Vorteile im Wettbewerb.



11.4.3. Lackiertes Kunststoffteil (Weisse Beschichtung)

In der Autoindustrie werden immer mehr Kunststoffteile eingesetzt. In der Regel werden die Schichten zu dick aufgetragen, was zu erheblichen Mehrkosten führt. Durch Überbeschichtung werden mehrere hundert Tonnen Lacke und Farben mehr aufgetragen als notwendig was einerseits zu erhöhten Umweltabgaben führt, eine optimale Produktion verhindert und Mehrkosten in der Benutzung nach sich zieht.



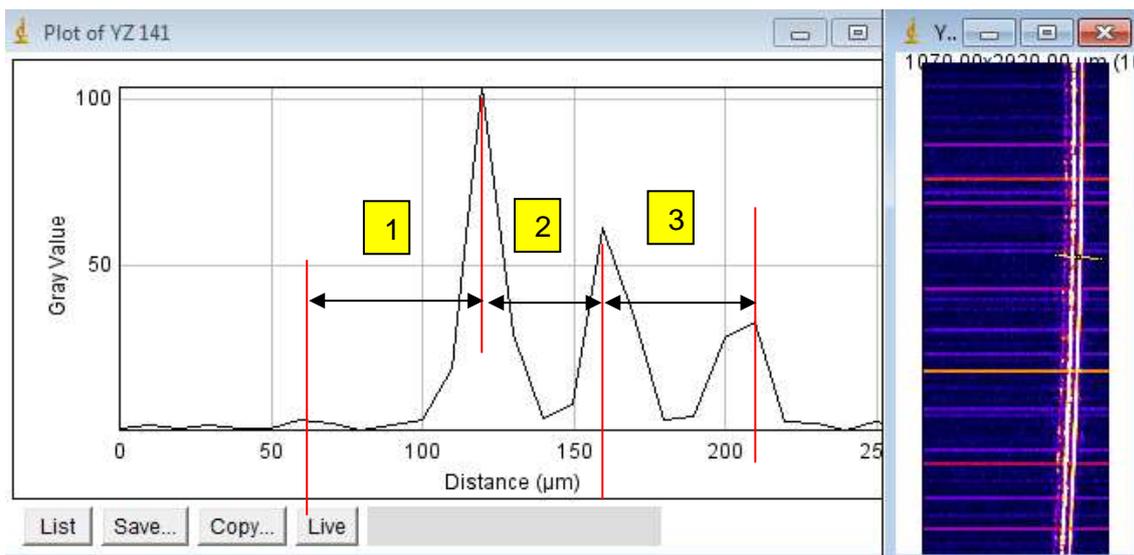
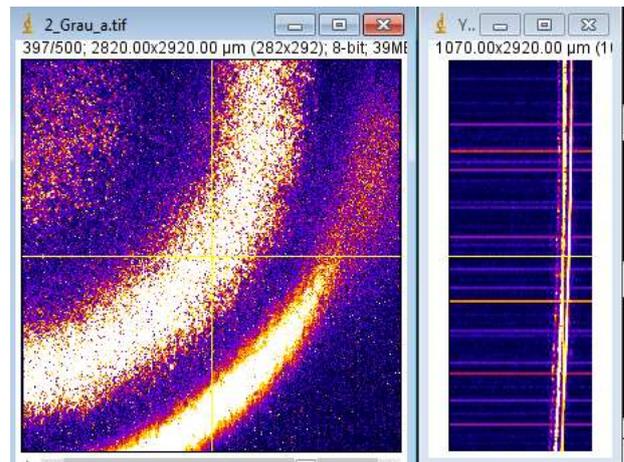
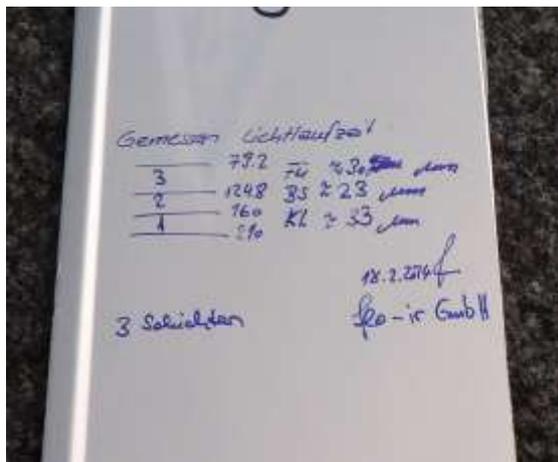
1 = Grundbeschichtung 2 = Basislack 3 = Farbschicht 4 = Klarlack
 Der Vergleich der Resultate zwischen der Lichtlaufzeitmessung (Berührungsfrei und zerstörungsfrei) und der zerstörenden Messung sind wie folgt:

Lichtlaufzeitmessung	Zerstörende Messung
GR = 30 µm	GR = 26 µm
BL = 42 µm	BL = 36 µm
PE = 12 µm	PE = 13 µm
KL = 38 µm	KL = 34 µm

Mit der Lichtlaufzeitmessung werden mehrere Schichten gleichzeitig selektiv gemessen. Durch die exakte Beschichtung werden jährlich mehrere hundert Tonnen Beschichtungsmaterial eingespart und die Effizienz in der Beschichtung gesteigert.

11.4.4. Lackiertes Kunststoffteil (Graue Beschichtung Metallic)

Beschichtete Teile aus Kunststoff finden in der ganzen Welt Verwendung weil sie leicht sind, sich beliebig formen lassen und kaum korrodieren. Damit die Bauteile aber die an sie gestellten Anforderungen erfüllen, ist eine exakte Beschichtung unabdingbar. Eine Überbeschichtung führt zu Ablösungen von Schichten und bei zu dünner Beschichtung wird der Farbeindruck gestört.



1 = Füller 2 = Basislack 3 = Farbschicht

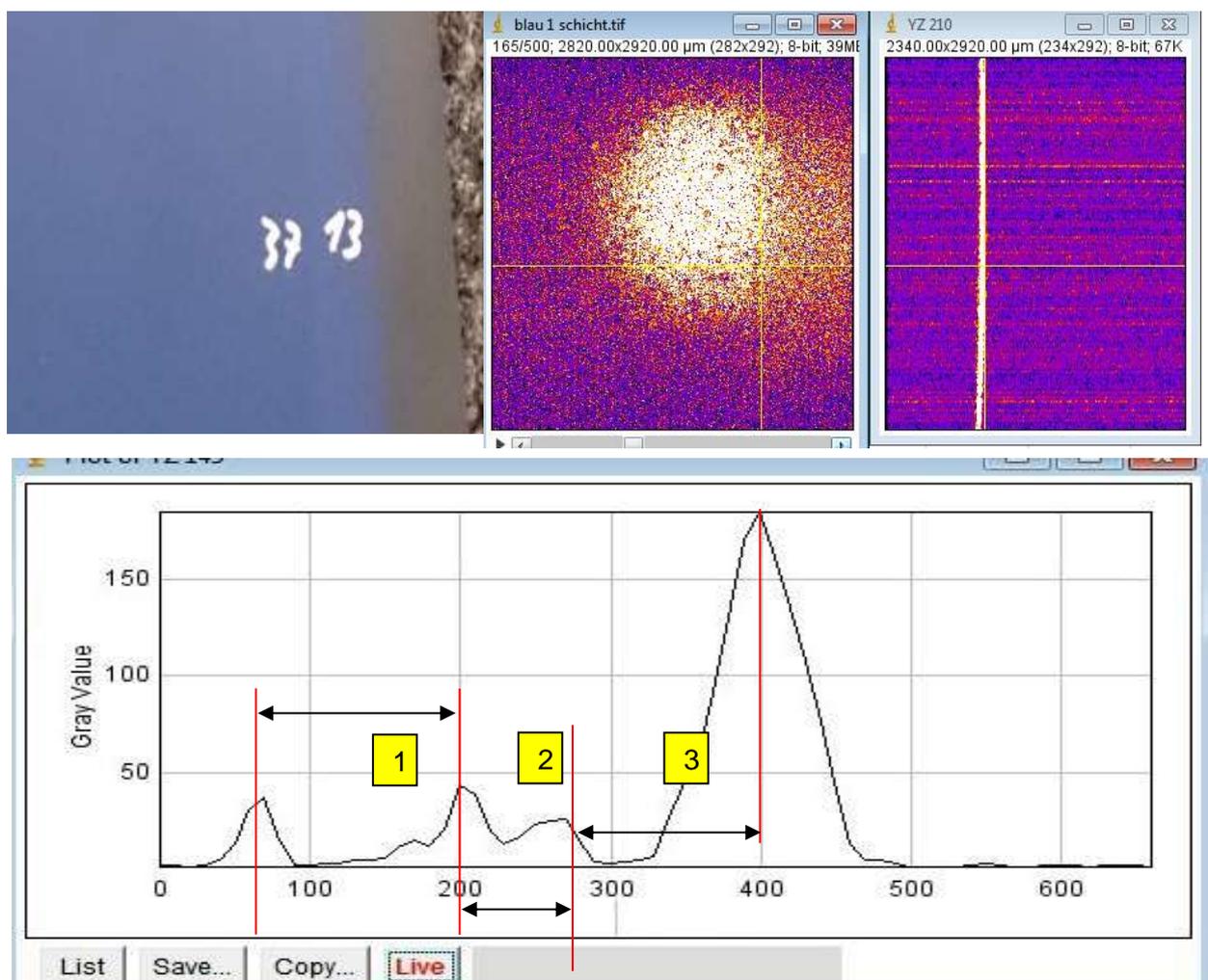
Der Vergleich der Resultate zwischen der Lichtlaufzeitmessung (Berührungslos und zerstörungsfrei) und der zerstörenden Messung sind wie folgt:

Lichtlaufzeitmessung	Zerstörende Messung
Füller = 30 µm	Füller = 28 µm
BL = 23 µm	BL = 21 µm
KL = 33 µm	KL = 30 µm

Mit der Lichtlaufzeitmessung können mehrere Schichten gleichzeitig selektiv gemessen werden. Durch eine genaue Beschichtung werden die Produktionsanlagen bedeutend besser ausgenutzt als heute, was zu einem Wettbewerbsvorteil führt.

11.4.5. Lackiertes Blech (Blau Metallic- Beschichtung Metallic)

In der Autoindustrie werden immer mehr Kunststoffteile eingesetzt. In der Regel werden die Schichten zu dick aufgetragen, was zu erheblichen Mehrkosten führt. Durch Überbeschichtung werden mehrere hundert Tonnen Lacke und Farben mehr aufgetragen als notwendig was einerseits zu erhöhten Umweltabgaben führt, eine optimale Produktion verhindert und Mehrkosten in der Benutzung nach sich zieht.



1 = Grundierung

2 = Basislack

3 = Klarlack

Der Vergleich der Resultate zwischen der Lichtlaufzeitmessung (Berührungslos und zerstörungsfrei) und der zerstörenden Messung sind wie folgt:

Lichtlaufzeitmessung	Zerstörende Messung
Füller = 30 µm	Füller = Nicht gemessen
BL = 16 µm	BL = 13 µm
KL = 33 µm	KL = 37 µm

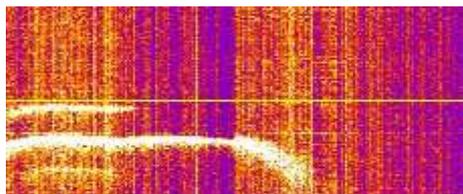
Mit der Lichtlaufzeitmessung können auch auf Blechen mehrere Schichten selektiv vermessen werden. Dadurch hat ein Beschichtungsunternehmen erstmals die Möglichkeit, eine exakte Beschichtung aufzubringen und dadurch den Prozess der Beschichtung zu kontrollieren.

11.5. Siegelnaht – Loslösung, Kontamination, Siegelnahtbreite:

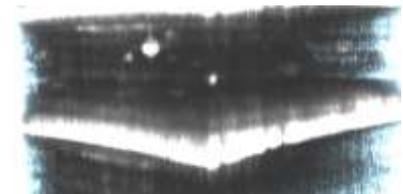
In der Norm DIN EN ISO 11607 – 2 sind die Merkmale für Systeme, die als Barriere für Bakterien wirken müssen, beschrieben. Die Norm sagt aus, dass die Sterilität des in der Verpackung enthaltenen Produktes bis zur Anwendung gewährleistet werden muss. Verschiedene zerstörende- oder Laborverfahren stehen deshalb täglich im Einsatz. Durch den Einsatz der OCT Technologie wird es möglich, alle Siegelnähte zerstörungsfrei in wenigen Sekunden und auch im laufenden Prozess exakt und vollständig zu inspizieren. Teure Prüfungen ausserhalb der Produktion entfallen.



Prüfung mit Tinte.

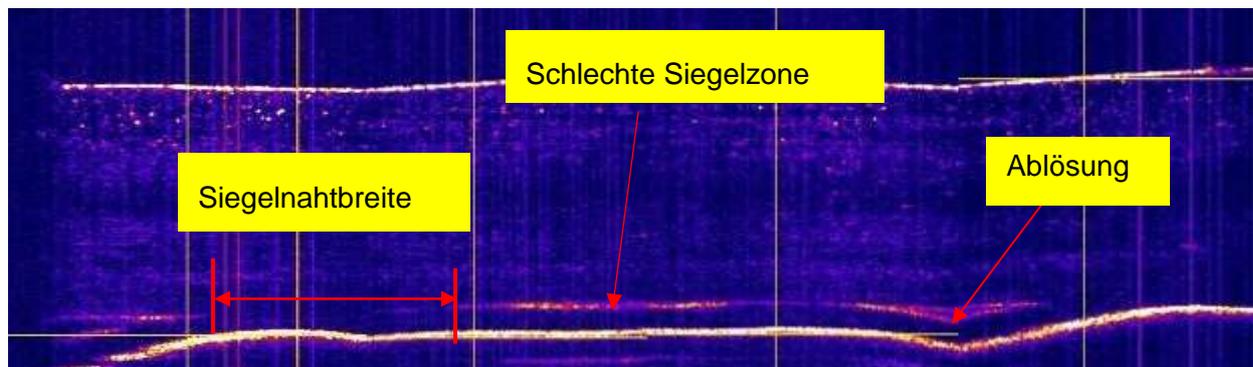


Vermessung der Siegelnahtbreite

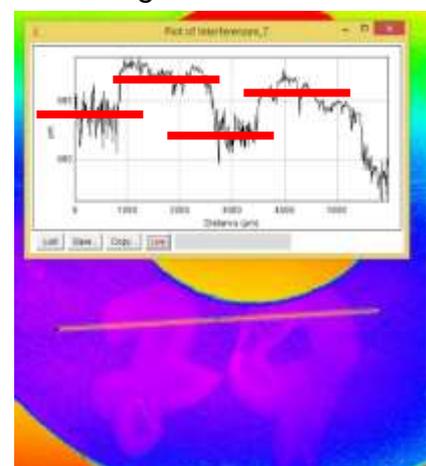
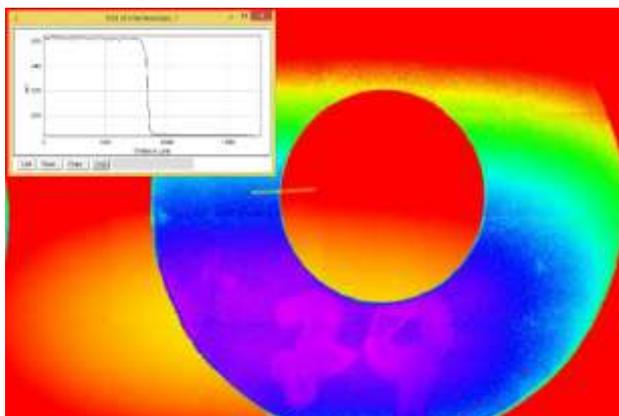


Einschluss

Im Bedarfsfalle wird die Breite der Siegelnaht gemessen, wie das folgende Beispiel zeigt. Die OCT Technologie mit dem modernsten Sensor der heute im Markt verfügbar ist, erschliesst bedeutende Wettbewerbsvorteile, weil Ihre Anlagen schneller, besser und sicherer produzieren.



Ob Kunststofffolien oder Glas beschichtet wird spielt keine Rolle. Auf neugedruckten Buchstaben können die Dicke oder das Höhenprofil gemessen werden. Die Bilder zeigen das Amplitudenbild eines beschrifteten Rings zur Markierung einer Position und das dazugehörige Höhenprofil.



Der Schriftzug auf dem aufgeklebten Ring ist 5 μm dick, der Ring selber ist 78 μm dick. Im einem Messvorgang werden die Dicke des Trägers oder die Dicke einer Deckfolie gemessen. Das Faser OCT- System gibt es als Einzelsensorgerät (Nur ein Sensor) oder ist auf den ASP- Array aufgebaut. Durch die Faserankopplung erlaubt das System gleichzeitige Messungen an bis zu 10000 Punkten.

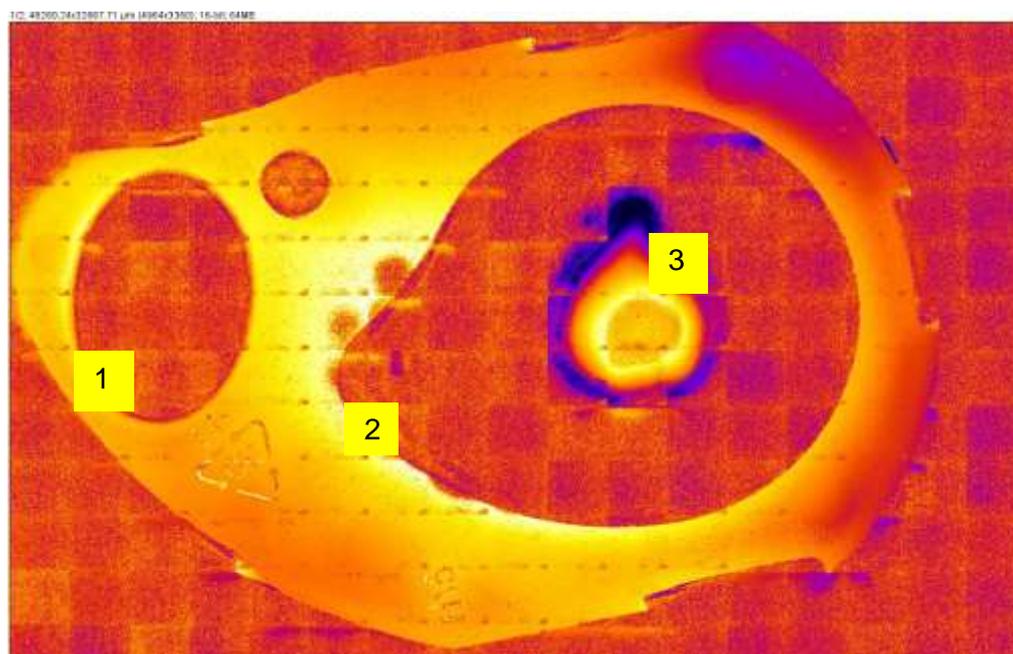


Die Ankopplung kann von Hand oder mit einer mechanischen Halterung erfolgen. Im Gegensatz zum Standard- OCT System das eine Fläche misst, werden mit dem Faser- OCT System einzelne Punkte vermessen.



11.6. Fehler im Innern einer PP Schale

Bei der folgenden Aufnahme bestand die Aufgabe darin, die Topografie eines Behälters zu vermessen, zu prüfen ob die Schale unbeschädigt ist, ob ein Produkt im Behälter ist oder ob die einzelnen Schichten auch richtig miteinander verbunden sind. Man erkennt bei 1 eine tieferliegende Zone und bei 2 eine höherliegende Zone und bei 3 das im Behälter eingebaute Produkt im Innern der PP- Schale. Mit dem OCT System werden die ganze Bauteilhöhe sowie das Produkt selber in einem Scan vermessen.



X, - y- Auflösung	10 Mikrometer	Option	0,1 Mikrometer
z- Auflösung	9 Mikrometer	Option	< 1 Mikrometer
FOV	3 mm * 3 mm	Option	0,48 * 0,47 mm

11.7. Wir lokalisieren auch feinste Durchbrüche in Siegelnähten.

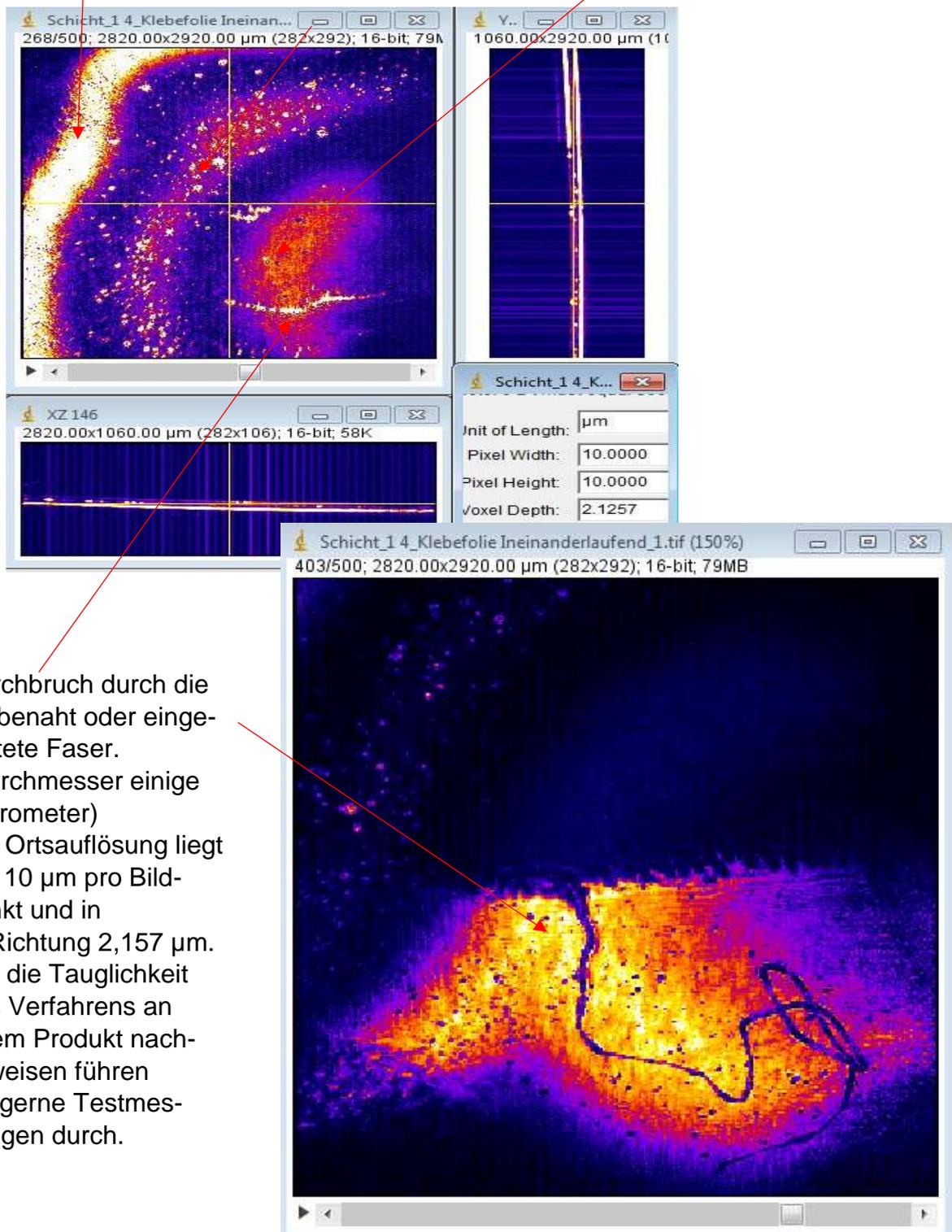
Lichteintritt in die Folie

Rückseite der ersten Folie

Eingang zur zweiten Folie

Rückseite der zweiten Folie

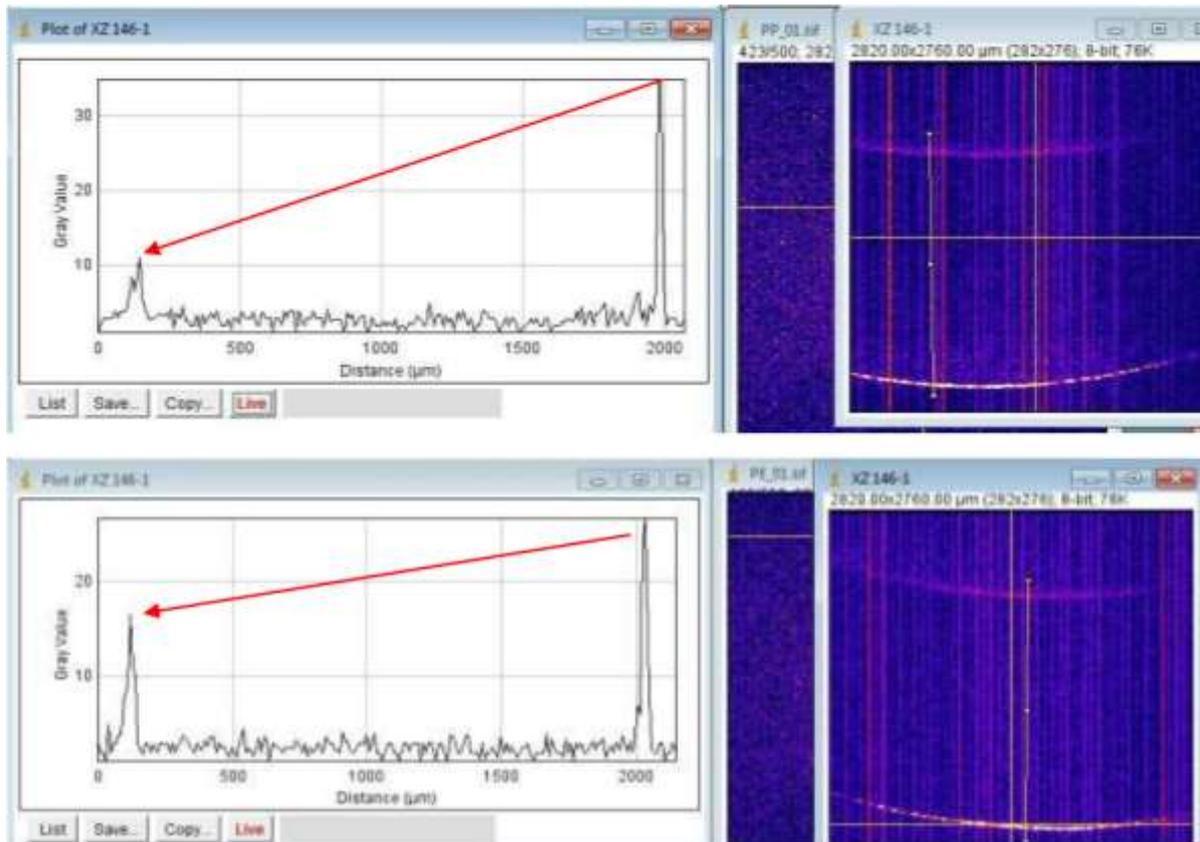
Beginn der Siegelnaht (Klebeschicht)



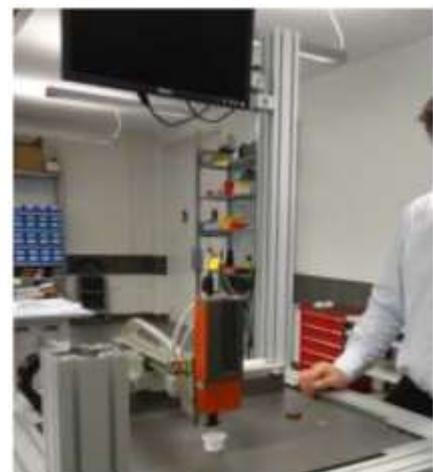
Durchbruch durch die Klebnaht oder eingebettete Faser.
(Durchmesser einige Mikrometer)
Die Ortsauflösung liegt bei 10 µm pro Bildpunkt und in z-Richtung 2,157 µm.
Um die Tauglichkeit des Verfahrens an Ihrem Produkt nachzuweisen führen wir gerne Testmessungen durch.

11.8. Materialcharakterisierung

Rein visuell kann man PP Material und PE kaum unterscheiden. Dazu dienen technische Einrichtungen. Zum Beispiel ist das Abstrahlungsverhalten von Materialien unterschiedlich. Mit der OCT Tomografie können sogar 3 Dimensionen zur Materialcharakterisierung verwendet werden. Diese Vorteile nutzt man in der 3D-Identifikation, was auch zur Unterscheidung von Kunststoffen dient, was sich sonst kaum unterscheiden lässt.



Die Absorption oder die Streuung zwischen PP und PE ist unterschiedlich und lässt sich mit dem OCT Verfahren schnell und zuverlässig unterscheiden.

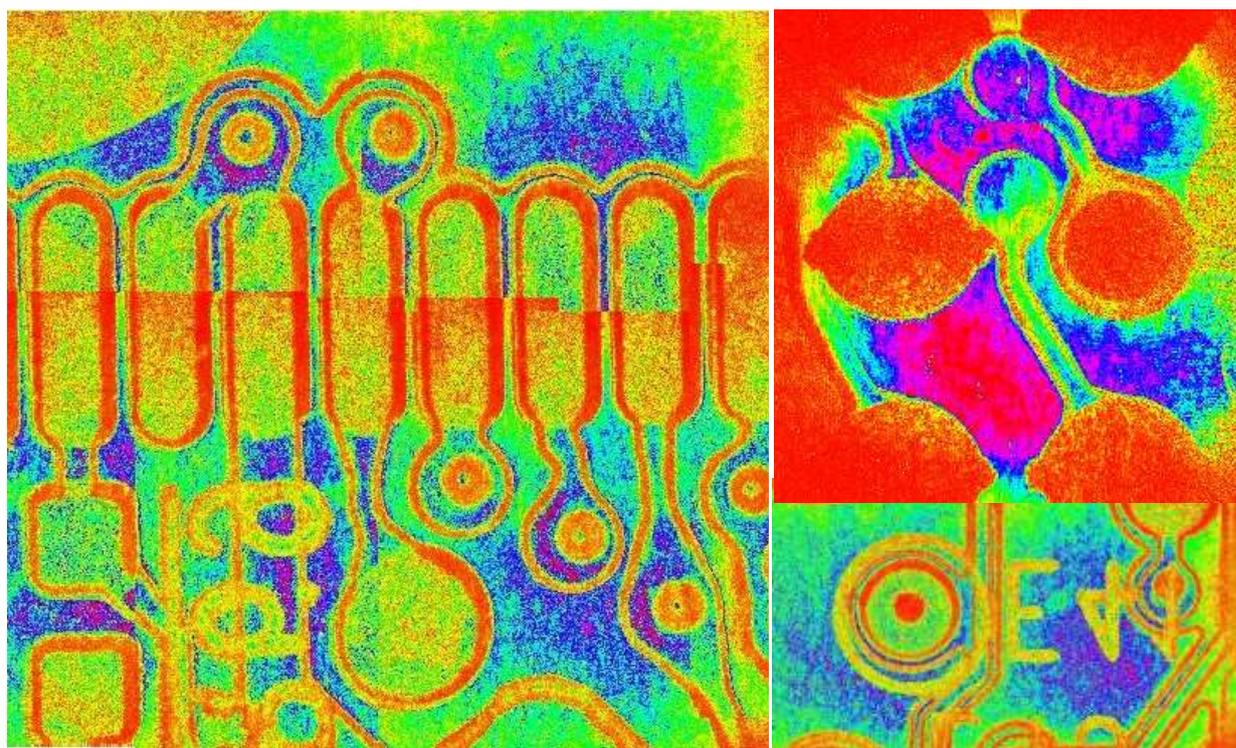


11.9. Geometrievermessung an elektronischen Bauteilen

Bei der Vermessung von Bauteilen oder Bauteilgruppen geht es oft um die Frage der Vollständigkeit und der Topografie.

Sind alle Elemente vorhanden oder fehlen einzelne Teile oder sind die Bauteile eben und in der gewünschten Planarität?

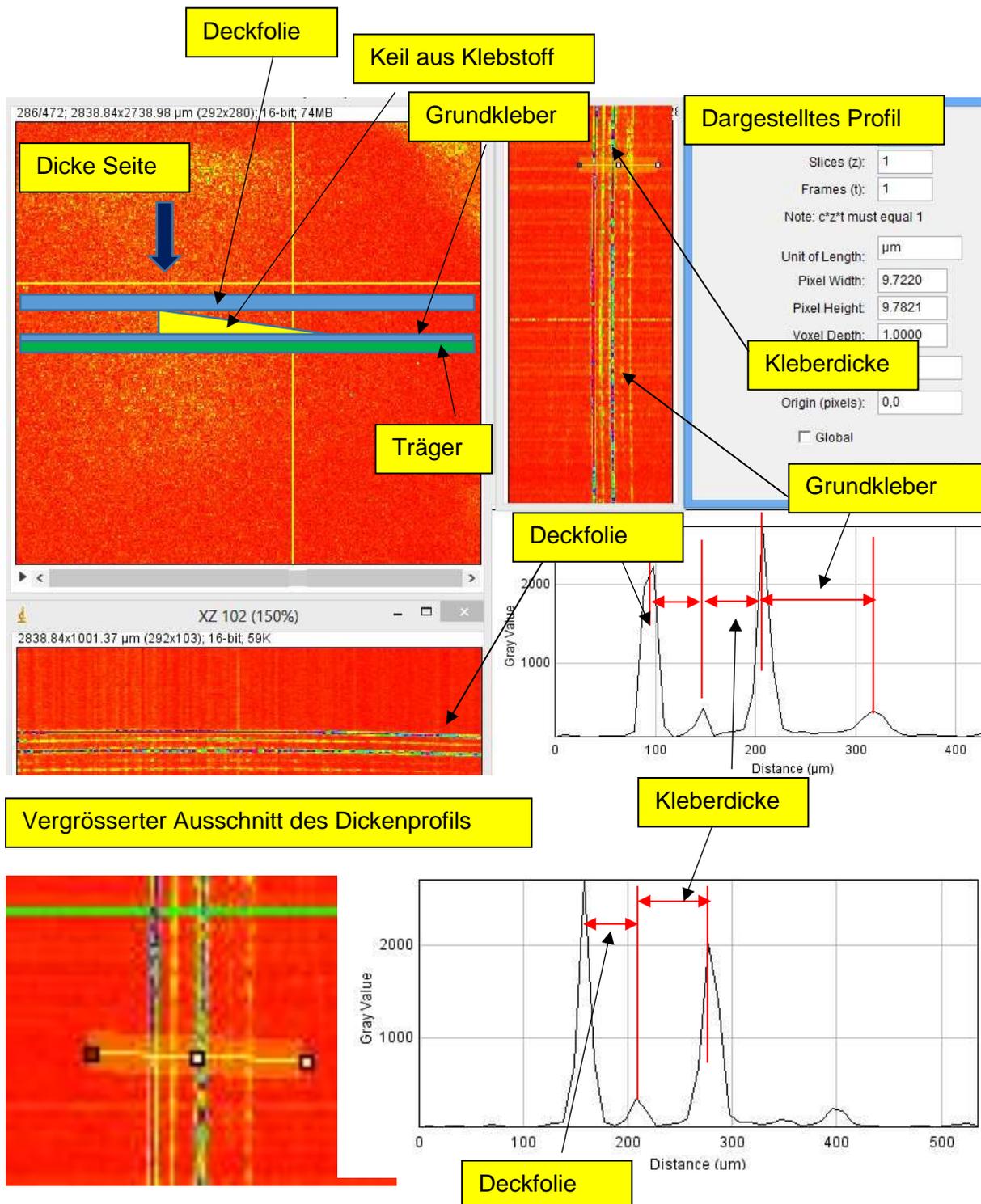
Solche Fragen werden mit dem ASP- Array höchst genau beantwortet. Die geometrische Auflösung in der lateralen Ebene liegt im Mikrometerbereich, die Auflösung in Z- Richtung liegt unter 1 Mikrometer.



Ob Sie einen Schriftzug in der Topografie vermessen oder Elektronikbauteile, eine ganz feine Bohrung oder einen Kratzer feststellen, ob Sie Delaminationen sicher oder Cracks lokalisieren müssen, die OCT Technologie öffnet neue, bis anhin unbekannte Wege in der industriellen Produktion.

11.10. Vermessen der Geometrie und der Dicke eines aufgetragenen Klebstoffkeils.

In einem einzigen Messvorgang werden die Dicke von drei Schichten (Deckschicht, Keil aus Klebstoff, Grundklebeschicht) sowie die Geometrie einer zusätzlich aufgetragenen Schicht gleichzeitig und völlig berührungslos und sehr genau vermessen.

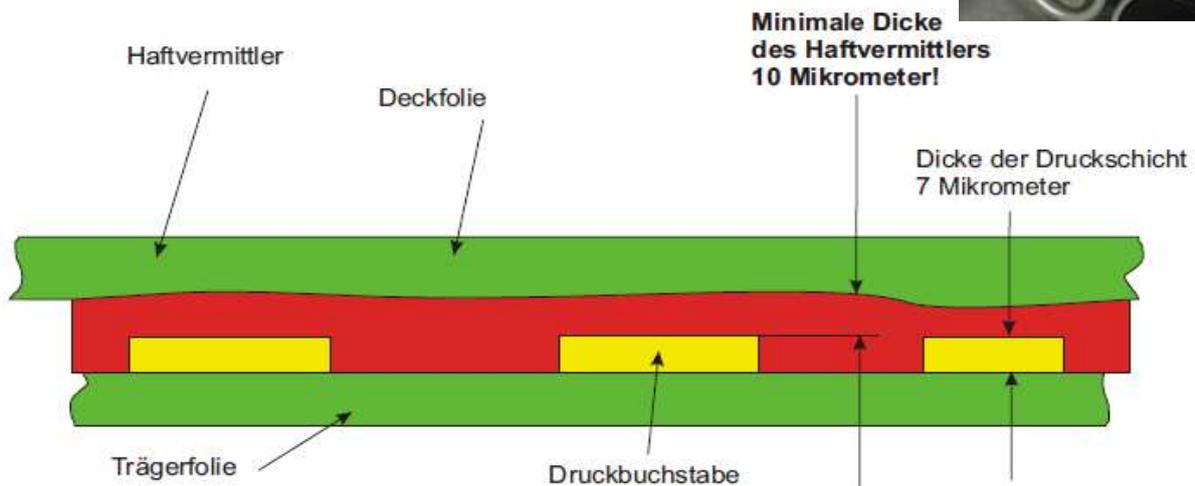


11.11. Einsparung an Haftvermittler:

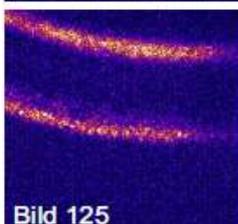
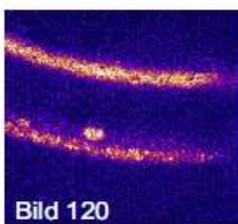
Bei der OCT Messung von Folien die zusammengeklebt werden ist die Fragestellung nach der Einsparung an Haftvermittler, weil diese Schicht viel Geld (Rohstoff, Anlageoptimierung) kostet.



- Austritt Trägerfolie
- Eintritt Trägerfolie
- Dicke Haftvermittler
- Durckbuchstabe Oberkannte
- Durckbuchstabe auf der Trägerfolie
- Trägerfolie Innenseite
- Trägerfolie Aussenseite



Messung von der Trägerfolienseite



Massstab der Messung

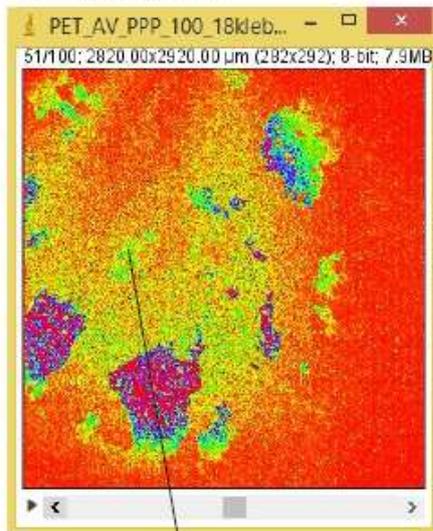
Unit of Length:	<input type="text" value="µm"/>
Pixel Width:	<input type="text" value="10.0000"/>
Pixel Height:	<input type="text" value="10.0000"/>
Voxel Depth:	<input type="text" value="2.9760"/>

Dicke der Druckschicht
7 Mikrometer

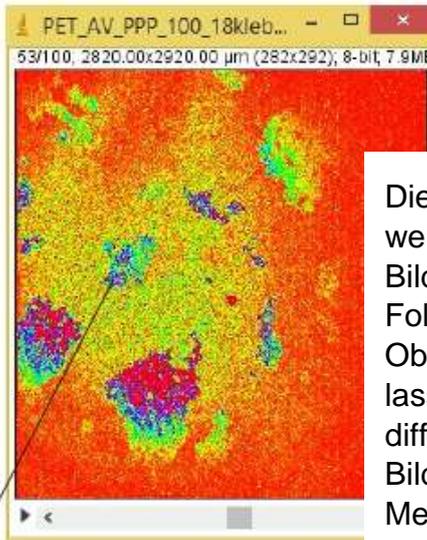
- Deckfolie Aussenseite
- Deckfolie Innenseite
- Austritt Durckbuchstabe
- Eintritt Durckbuchstabe
- Austritt Trägerfolie
- Eintritt Trägerfolie
- Dicke der Deckfolie
- Dicke Haftvermittler
- Druckbuchstaben- Höhe
- Dicke der Trägerfolie



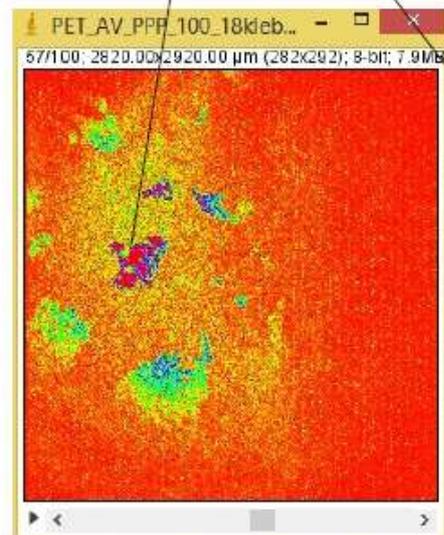
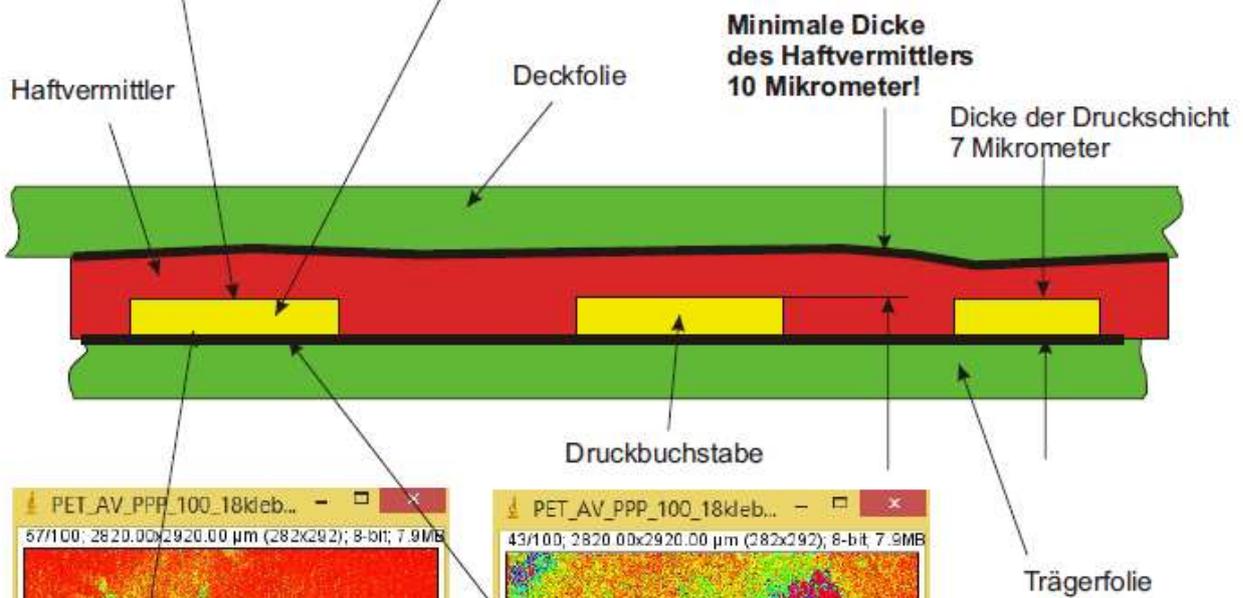
Druckstoff Eintritt
Bild Nr. 51 aus dem Stack von 150 Bildern.



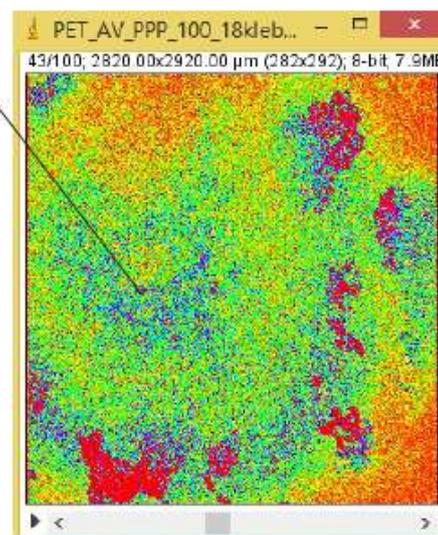
Lichtfront im Druckstoff,
Bild Nr. 53 aus dem Stack von 150 Bildern.



Die Hinweise zeigen, aus welcher Zone das OCT Bild aus dem Stack in der Folie stammt. Die Druck-Oberseite und - Unterseite lassen sich genau differenzieren. Im OCT Bild ist immer der gleiche Messort dargestellt.



Austritt der Lichtfront
Bild Nr. 57 aus dem Stack von 150 Bildern.



Lichtfront in der Interfaceschicht
Bild Nr. 43 aus dem Stack von 150 Bildern.

11.12. Wir messen die Dichte von Tabletten oder charakterisieren die Oberflächen von Produkten.

11.12.1. Voxelscan

Der Begriff **Voxel** (zusammengesetzt aus *volumetric* und *pixel*) bezeichnet in der 3D-Welt einen einzelnen Datenpunkt im betrachteten Volumen. Das heisst, ein Voxel ist ein Pixel in einem 2D-Bild das zusätzlich durch die dritte Dimension an einen Punkt im Raum gebunden ist. Bei Voxeln wird die Position nicht explizit gespeichert, sondern implizit aus der Position zu anderen Voxeln hergeleitet. Im Gegensatz dazu werden bei Punkten oder Polygonen die Positionen in den Koordinaten der Ecken gespeichert. Eine direkte Konsequenz dieses Unterschiedes ist, dass man mit Polygonen eine 3D-Struktur mit viel leerem oder homogen gefülltem Raum effizient darstellen kann. Voxel sind gut bei der Repräsentation eines gesampelten Raums, der inhomogen gefüllt ist.

Ein **volumetrisches Monitoring** ist gegenüber einem zweidimensionalen Monitoring bedeutend komplexer und beinhaltet exponentiell mehr Informationen. Die Überlegenheit volumetrischer Messungen gegenüber bekannten Systemen zur Identifikation zeigt sich zum Beispiel in der Vorhersage der Auswirkung von definierten Massnahmen in gewissen Situationen. Volumetrische Strategien zeigen Outcome-Effekte, d.h. sie öffnen eine neue Perspektive in der Beurteilung und Identifikation von Materialien, Proben oder vernetzten Prozessen.

Die gewöhnliche **Temperaturmessung**, ein bekanntes Monitoring- System, zeigt eine gesuchte Grösse am Ort des Fühlers. Volumetrische Messungen hingegen zeigen die Temperatur im Innern und – mit einem zweidimensionalen Array, an vielen verschiedenen Punkten gleichzeitig. Zum Beispiel ist der Sauerstoffverbrauch eine temperaturabhängige Grösse, d.h. wird diese Grösse überwacht, lassen sich schlüssige Aussagen zur Temperatur ableiten.

Fördertechnik

Durch das volumetrische Förderverhalten von Zahnradpumpen ist der Massenstrom proportional zur Drehzahl der Zahnradpumpe und dabei nahezu unabhängig vom vorhandenen Werkzeugdruck.

Biologische Substanzen

Schichten biologischer Substanzen werden heute oft mittels OCT vermessen und die der Scans erfolgt an einem unabhängigen Zentrum.

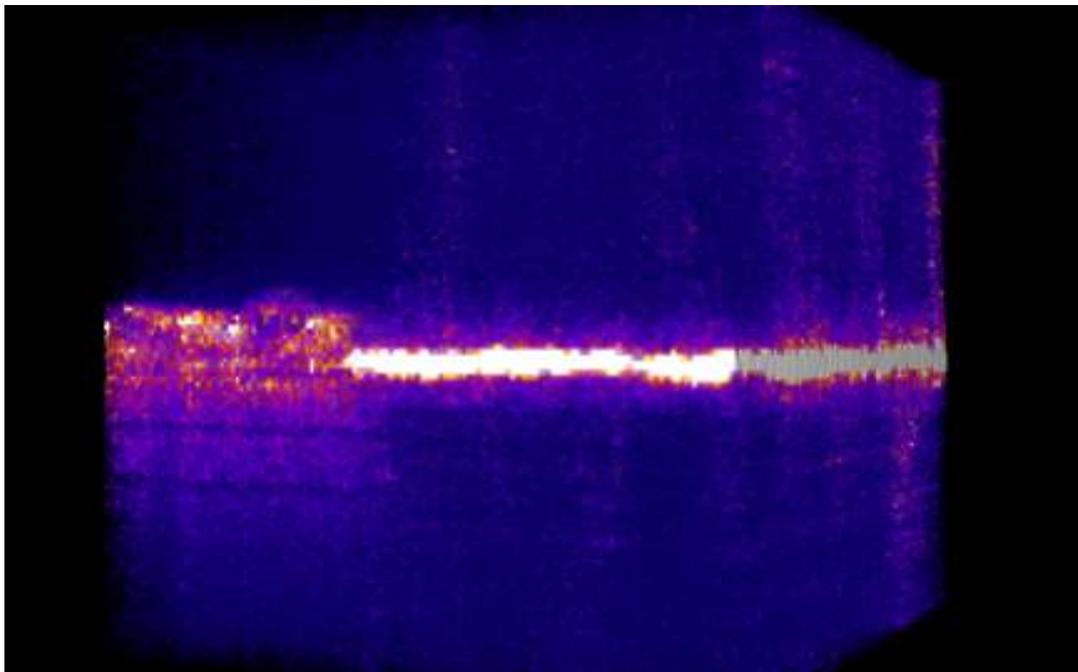
Die optische Kohärenztomographie (OCT) ermöglicht eine exakte dreidimensionale Darstellung u. Quantifizierung biologischer Abläufe oder Prozesse. (z.B. Therapieverlaufskontrolle)

Zusammenhänge zwischen der Dicke einer Schicht und der Haftung können in einer detaillierten Auswertung aus OCT Daten abgeleitet werden, was in der Anwendung von Prüfverfahren in der Biologie oder in der Industrie immer mehr an Bedeutung gewinnt.

11.12.2. Volumetrische Messung zur Qualitätssicherung

Zur Messung von Wirkstoffen oder deren Verteilung, zur Lokalisation kleinster Partikel, zur Erkennung von Grenzschichten oder zur Personenidentifikation - volumetrische

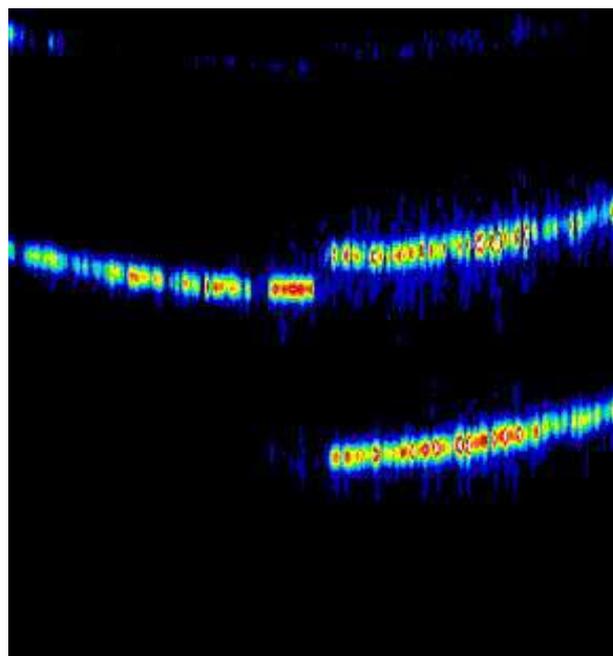
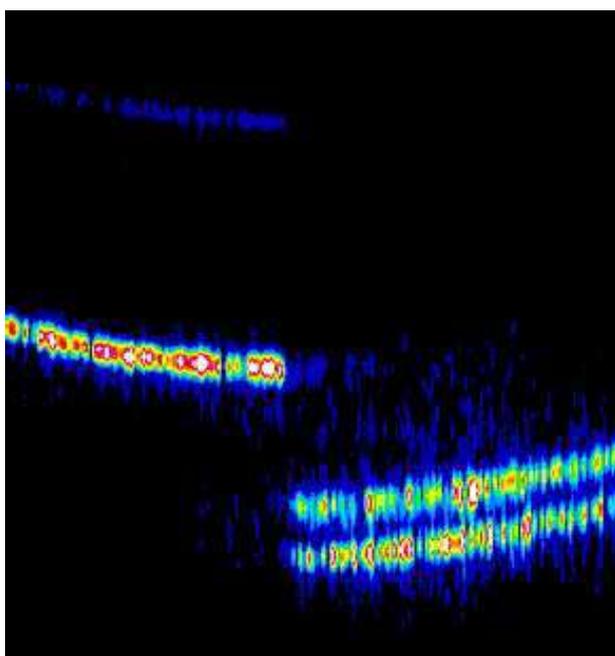
Messungen sind sicherer als zweidimensionale Messungen. Der eingesetzte ASP-Sensor (Active Sensor Pixel Array) liefert 1 Mfps (1 Mio Bilder pro Sekunde).



Der Volumenscan lässt Details im Innern einer Beschichtung und auch zwischen der Schicht und dem Träger deutlich erkennen.

11.12.3. Produkteidentifikation

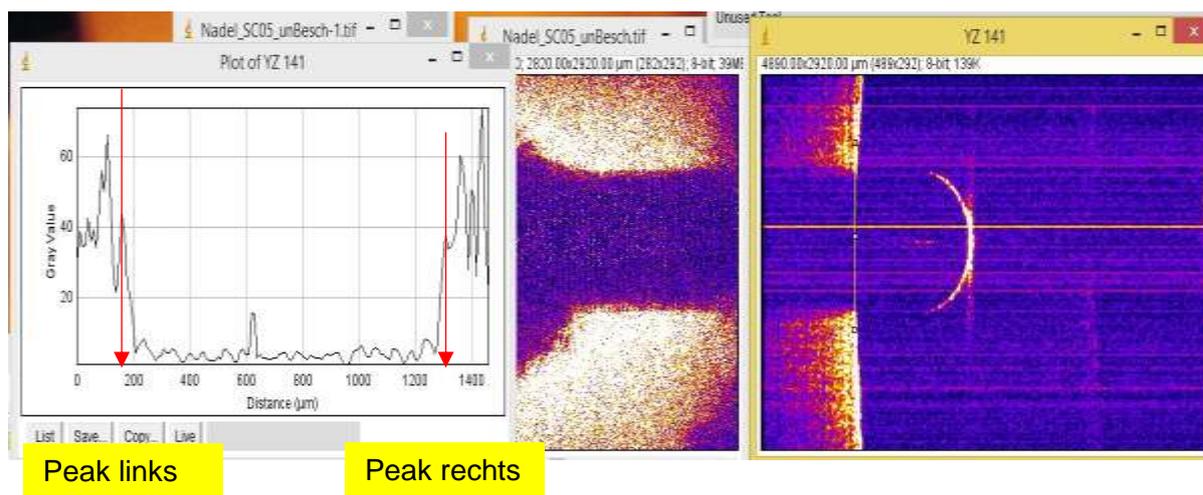
Die Identifikation der in einem Produkt eingebauten Strukturen lässt sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit feststellen. Die tomografische Aufnahme öffnet bisher unbekannte Anwendungen für die moderne OCT- Technologie in der industriellen Produktion.



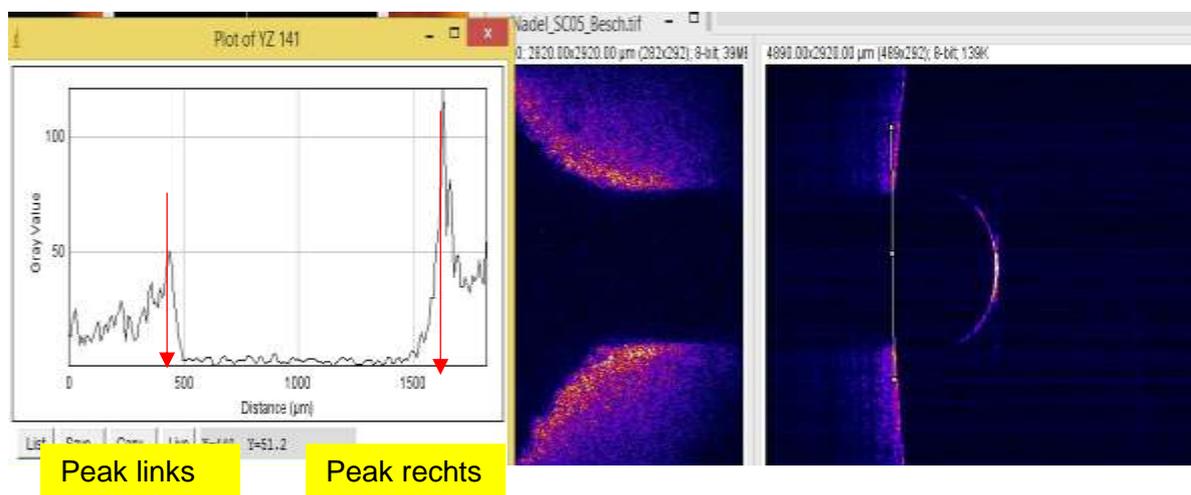
11.12.4. Vermessen beschichteter Edelstahlkanülen

Zur Vermessung beschichteter Edelstahlkanülen mit einem kleinen Durchmesser (0,5 mm bis 1 mm) werden die Bauteile mit dem OCT System im unbeschichteten Zustand aufgenommen und im beschichteten Zustand. Aus der Differenzbildung resultiert die Dicke der Beschichtung.

Unbeschichteter Zustand



Beschichteter Zustand

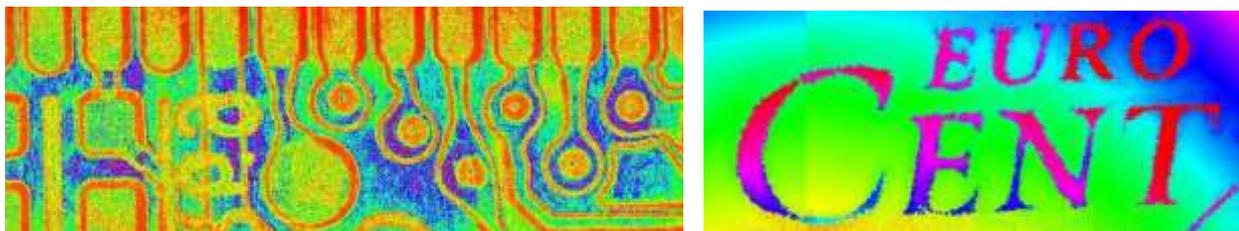


Die Messwerte werden aus der grafischen Darstellung extrahiert, sodass daraus die Durchmesserzunahme und demzufolge die Dicke der Beschichtung gemessen werden kann. Die geometrische Ortsauflösung beträgt im vorliegenden Falle 10 Mikrometer.

Durch die Vermessung der Schicht vor dem Beschichten und nach dem Beschichten ergibt sich die Dicke der Beschichtung. Diese Art der Vermessung ist höchst genau. Diese Messung stellt oft die einzige Möglichkeit dar, beschichtete Bauteile entsprechend exakt und zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten zu vermessen.

11.12.5. Oberflächeninspektion Porosität, Rauheit, Topografie

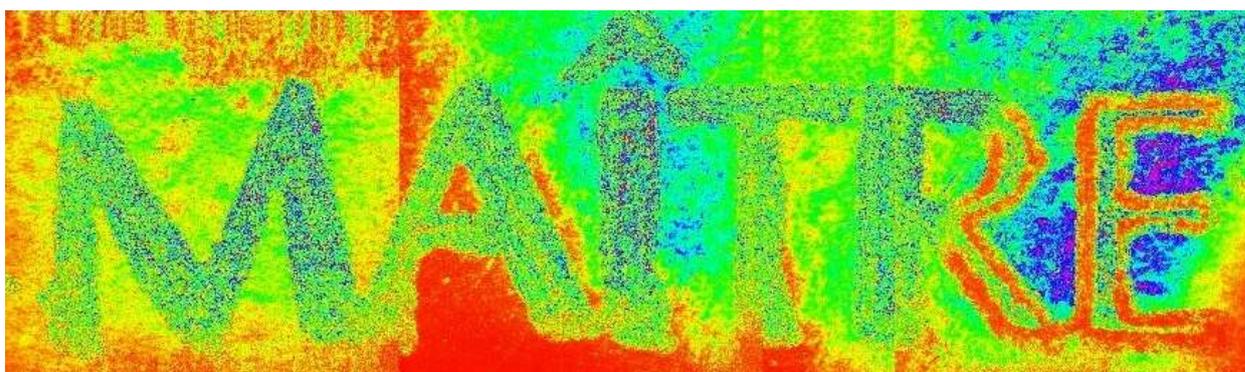
Ob Poren festgestellt oder vermessen werden sollen oder die Rauheit, ob die Ebenheit einer Fläche oder die Homogenität einer Schichtdicke, das OCT Verfahren mit dem ASP Array dient zur mikrometergenauen Vermessung geometrischer Grössen mit Licht, d.h. schnell und sehr genau.



Jede Farbstufe im OCT- Bild entspricht einer Höhe. Die Höhe wird exakter vermessen als 1 Mikrometer.

Oft führen gravierende Veränderungen der Einflussfaktoren dazu, dass moderne Verfahren nicht eingesetzt werden um Druckerzeugnisse schnell und unkompliziert so herzustellen, dass der Druck optimal wird. Mit dem ASP- OCT- Verfahren aber steht erstmals eine solche Methode bereit. Damit lassen sich schnell und berührungslos optimale Mischungen der Druckfarben herstellen, unabhängig von der:

- Härte der Walzen oder der Durchmesser
- Farbe oder dem Farbtyp
- Farbmenge (Mit Bindemittel und / oder Lösungsmittelanteil)
- Drehzahl der Mischwalzen
- Ortslage der Messung (am Spalteinlauf oder am Spaltauslauf)
- Temperatur und Temperaturentwicklung
- Eingebachten Feuchtmittel
- Andruckkraft der Walzen

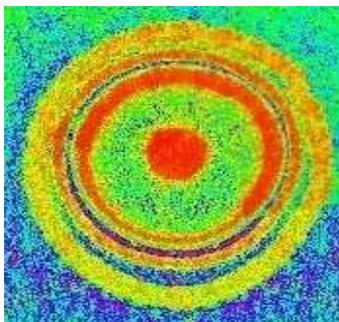


Der Hersteller von Druckmaschinen kann für seine Kunden einen bedeutenden Vorteil erschliessen wenn die Farbmischwerke messtechnisch optimiert werden, weil dies durch Menschenhand kaum mehr in der gewünschten Geschwindigkeit gewährleistet werden kann.

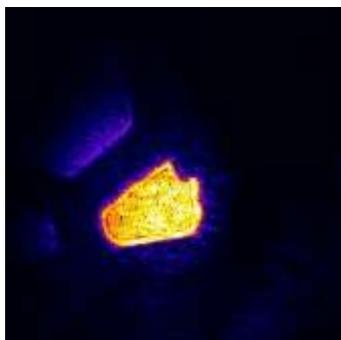
Die schnellere Betriebsbereitschaft und die optimale Rohstoffausbeute führen zu jährlichen Einsparungen von mehreren € 100'000,00.

11.12.6. Oberflächeninspektion Porosität, Rauheit, Topografie

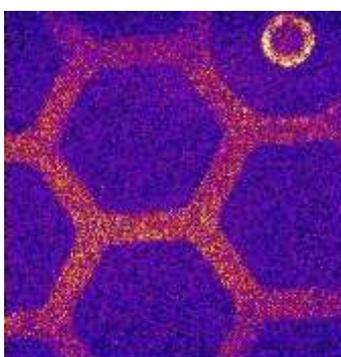
Mit dem Spritzgussverfahren hergestellte Bauteile werden vermessen um Fehlproduktion zu vermeiden. Die Prüfzelle dient dazu, solche Bauteile zu exakt vermessen. Je nach Vorgabe wird eine Anzahl Bauteile in die Prüfzelle übernommen und mikrometergenau vermessen. Bei der Batch- Prüfung stehen 2 Prüfteller mit den Kavitäten für die Bauteile zur Verfügung. Die Prüfung respektive die Vermessung der Bauteile läuft automatisch ab. Ist der Messvorgang abgeschlossen leuchtet die Betriebszustands- Anzeige. Die Mess- und Auswertekriterien werden durch den Auftraggeber bestimmt. Es können beliebige Auswertungen aus den Signalen vorgenommen und protokolliert werden.



Das nebenstehende Bild zeigt ein Prüfergebnis auf einem glänzenden Bauteil aus der Praxis. Im Bauteil aus Stahl ist eine Nute nicht richtig ausgeformt. Die OCT Methode arbeitet unabhängig vom Reflektionsgrad.



Das Bild links zeigt ein Kunststoff- Spritzteil. Die Geometrieprüfung solcher Teile dauert nur Sekunden. Bild rechts zeigt eine abstehende Braue von etwa 100 µm Höhe auf einem komplexen Kunststoffteil.

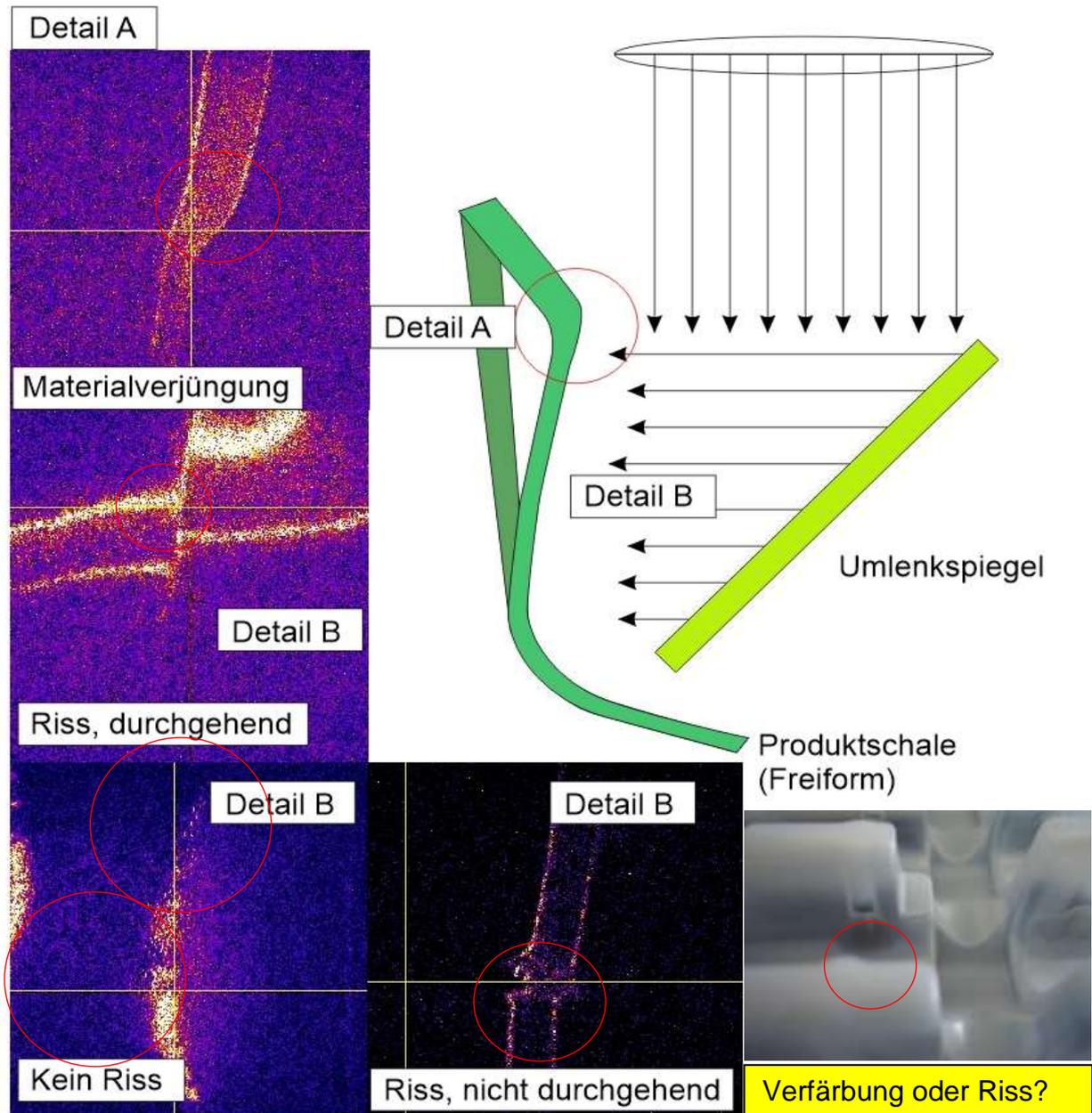


Die Waben aus Kunststoff (Bild rechts) und deren Randanschluss (Bild links). Die Stegbreite der Wabe beträgt etwa 140 Mikrometer. Der Anschlussring der Wabe liegt nur wenige Mikrometer tiefer die obere Kante des Wabenstegs.

In der OCT- Prüfzelle können verschiedene Bauteile vermessen werden. Zu jedem Bauteil gehört ein Prüfteller, damit die Vermessung automatisch und reproduzierbar durchgeführt werden kann.

11.12.7. Riss, Verfärbung oder Kratzer?

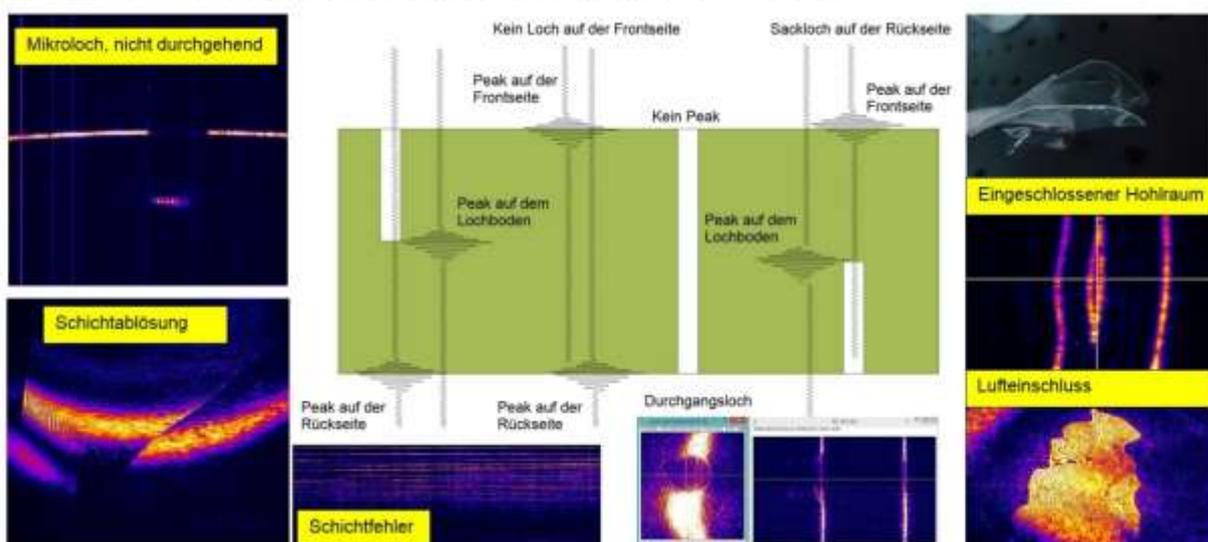
Beim Mikroriss tritt die Lichtstrahlung von der Luft in das Material ein und zeigt den Unterschied im Brechungsindex zwischen der Luft (1) und dem Material (1,5 und grösser). Ist ein Riss im Material erfolgt der gleiche Lichtübergang, d.h. der Riss wird deutlich sichtbar. Mit der OCT Kamera werden am interessierenden Ort 1 Million zweidimensionale Bilder mit einem Bildabstand von wenigen Mikrometern als Bilderstapel erfasst.



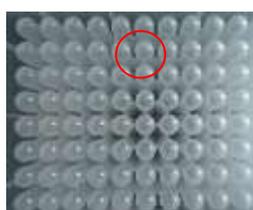
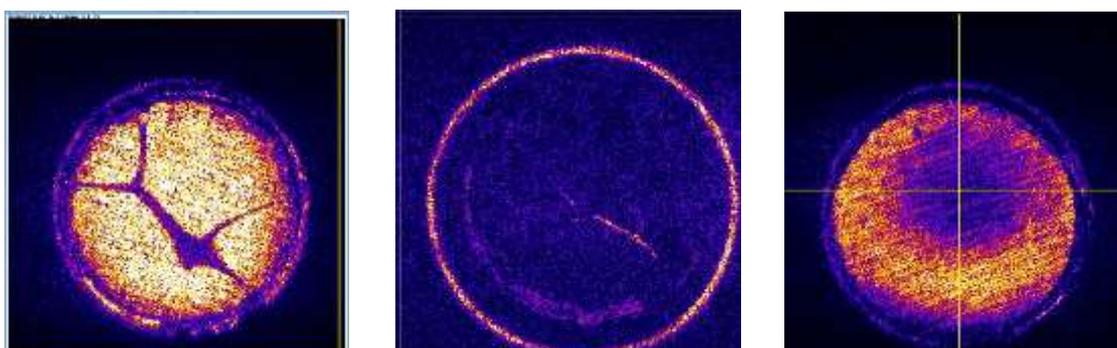
Beim OCT-Verfahren die laterale Auflösung von der Auflösung in z-Richtung entkoppelt. Zur Prüfung von Bauteilen auf Risse oder auf Lufteinschlüsse werden beliebig grosse Bilderstapel schichtweise mit einem Tiefenabstand von wenigen Mikrometern erstellt. Die Unterschiede im Brechungsindex werden deshalb auch in ihrer Tiefe bestimmt. Kratzer werden von Rissen, die durch ein Bauteil verlaufen, klar unterschieden.

Brüche in Molekülketten sind kleinste Kavitäten die sich im Brechungsindex unterscheiden und deshalb ein deutliches Signal liefern. Geht das Licht durch Luft in das Material oder tritt Licht von einem Material an die Luft, entsteht immer ein ausgeprägtes Signal. Schichtdicken, Hohlräume, Materialveränderungen oder Mikrolöcher lassen sich deshalb deutlich erkennen.

OCT- Systeme zeigen mehr als Standard- Kameras



Die folgenden OCT- Bilder zeigen einen Ausschnitt aus einem Kavitäten Array in dem chemische Reaktionen untersucht werden. Die Bauteile müssen rissfrei sein und dürfen keine Lufteinschlüsse aufweisen. Eine Inspektion mit dem OCT- System liefert eindeutige Resultate und erlaubt sogar, die Risttiefe mikrometergenau zu vermessen.



Einschluss (Bild oben links)
Mikroriss (Bild oben Mitte)
Fehlerloses Teil (Bild oben rechts)
Pipettier- Array (Normalbild links)
Detail einiger Kavitäten (Normalbild rechts)



Gegenüber konventionellen Visualisierungssystemen liefern OCT – Kameras eine ganz andere Information, weil die Signale durch den Unterschiede im Brechungsindex entstehen und nicht durch reflektiertes Licht. Beim OCT- Verfahren sind die Signale sind nicht durch die Farbe, die Oberfläche oder die Neigung des Bauteils beeinflusst.

In der Folge ist Teil eines Bilderstapels (Bild Nr. 59, Oberfläche aussen, bis Bild 51, Innenfläche) dargestellt. Die Unterschiede im Brechungsindex sind sehr deutlich, weshalb die Ursache (Riss, Deformation, Einschluss, Verspannung) jederzeit sicher und zuverlässig bestimmt werden kann.

Bild 59 Aussenseite

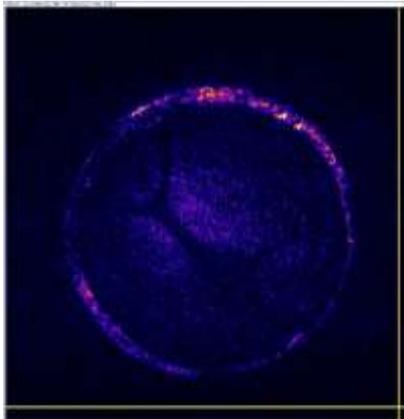


Bild 58 Tiefe 30 Mikrometer

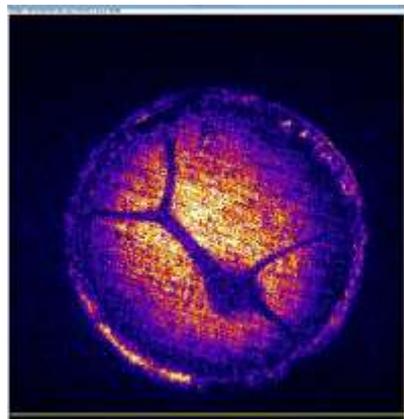


Bild 57 Tiefe 60 Mikrometer

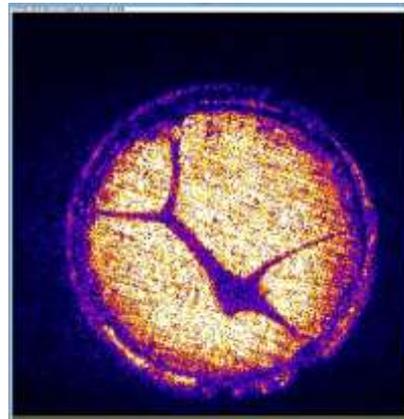


Bild 56 Tiefe 120 Mikrometer

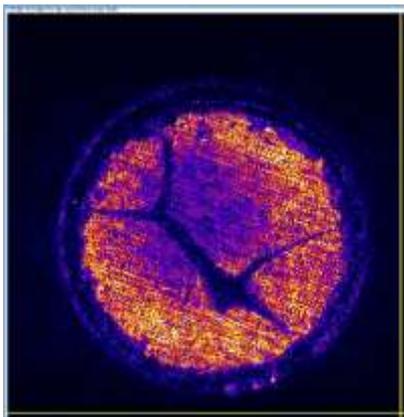


Bild 55 Tiefe 150 Mikrometer

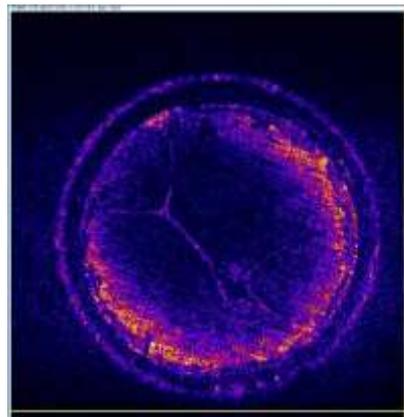


Bild 54 Tiefe 180 Mikrometer

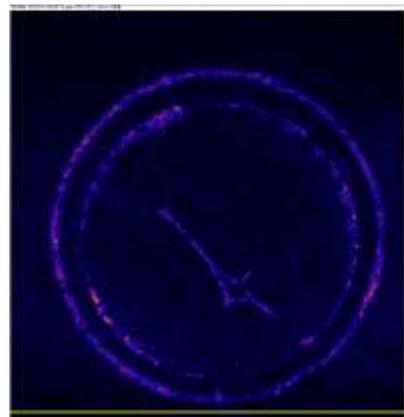


Bild 53 Tiefe 210 Mikrometer

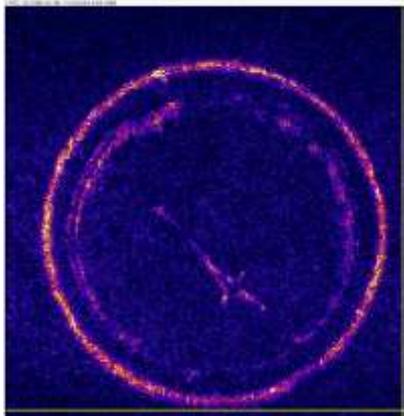


Bild 52 Tiefe 240 Mikrometer

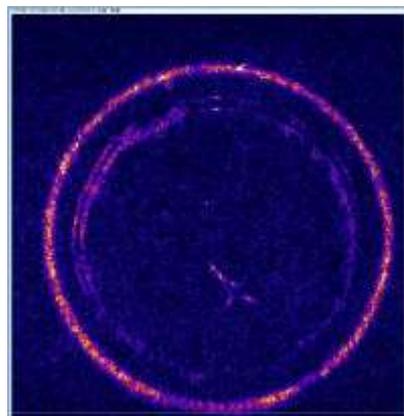
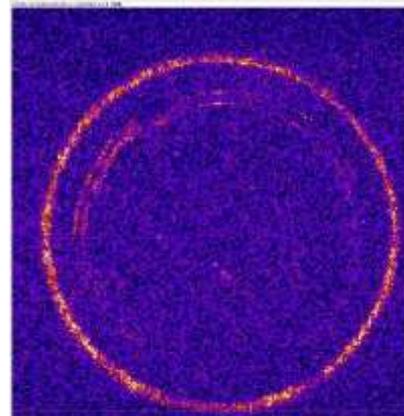


Bild 51 Tiefe 300 Mikrometer



Volumenscan in einem Schrittabstand pro OCT- Bild von 30 Mikrometer. Ob Mikrorisse oder Lufteinschlüsse, Brauen oder gebrochene Kanten, im OCT- Bild erscheinen solche Fehler unverkennbar deutlich. Weil das OCT Verfahren Unterschiede im Brechungsindex darstellt und dieser Unterschied zwischen Luft und Material immer gross ist, liefert das Verfahren gegenüber Standardkameras viel deutlichere Signale!

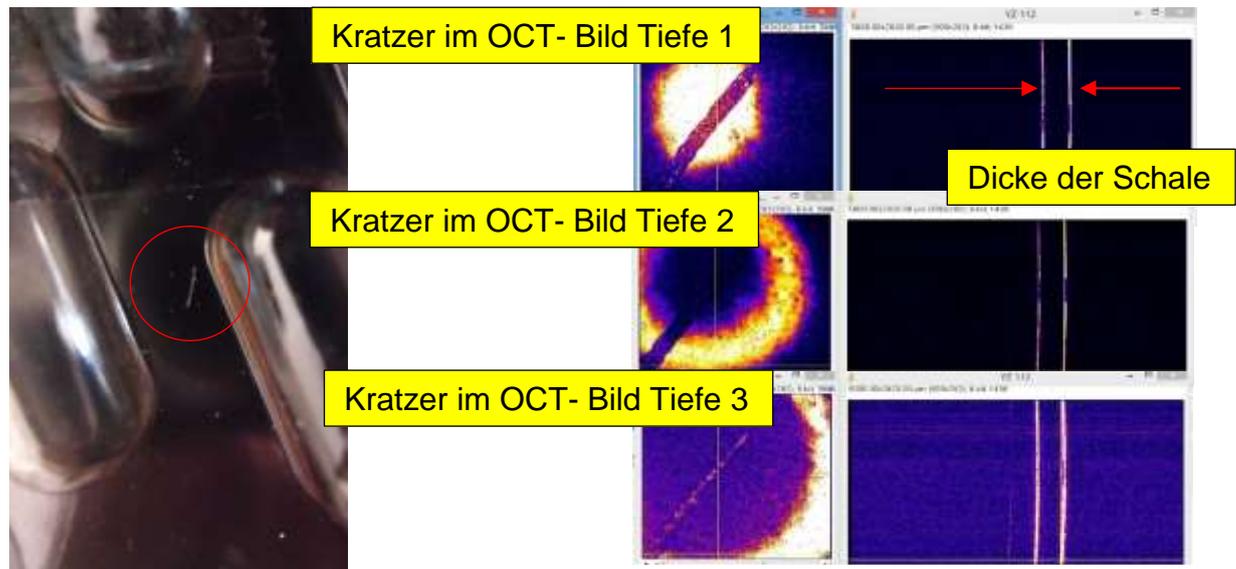
11.12.8. Mikrolöcher in Schalen, Blistern und Kapseln.

Bei der Herstellung von Schalen für Tabletten oder andere Güter entstehen zum Teil Schäden an den Kavitäten durch Temperaturfehler oder ungünstige Krafteinleitungen im Tiefziehprozess, durch beschädigte Werkzeuge oder durch eingeklemmte Partikel. Solche Fehler müssen vor dem Verpacken erkannt werden.



Beschädigungen, Risse oder Kratzer lassen sich mit dem OCT Verfahren klar lokalisieren und identifizieren. OCT- Systeme liefern deutliche Signale im Einsatz an transparenten Bauteilen, wie z.B. bei der Prüfung von Blisterschalen.

Während Standard- Kamerasystemen bei der Prüfung an transparenten Teilen „Kratzer oder Fasern“ respektive „Partikel oder Mikrolöcher“, kaum unterscheiden können liefern OCT- Systeme deutliche Signale.



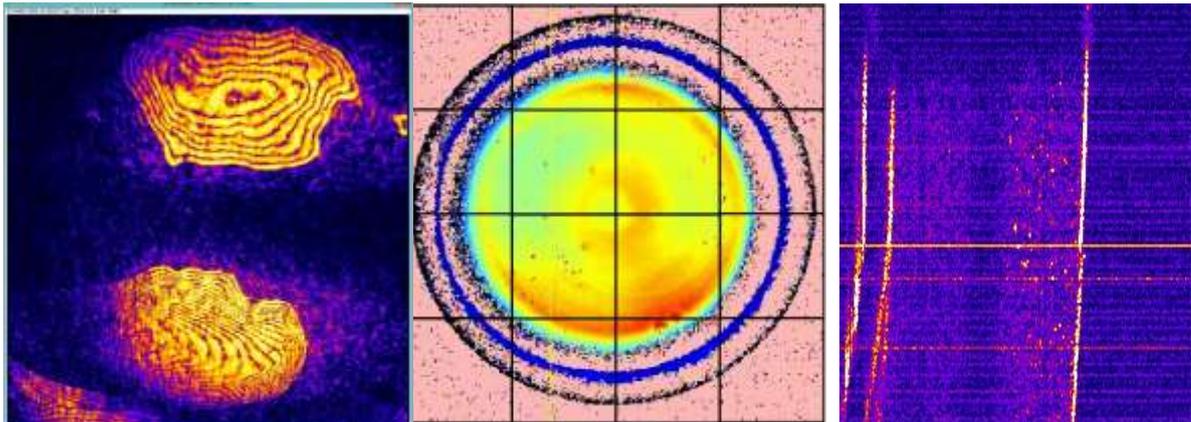
Mit dem OCT- Verfahren wird erkannt, ob ein Loch durchgehend ist. Gleichzeitig wird auch die Dicke jeder Schicht gemessen, auch wenn diese aus mehreren Lagen besteht.



Neue Werkzeuge bei Kunststoff-Spritzanlagen erfordern viele exakte Messungen mit Systemen, welche höchst genau und schnell arbeiten. Weil die Produktionsgrößen bei höherer Lieferbereitschaft und höherem Kostendruck sinken, sind gerade deshalb neue Verfahren gefragt, welche Geschwindigkeit, Genauigkeit und Flexibilität vereinen. Das OCT-Verfahren vereint die hohe geometrische Auflösung, eine hohe Messgeschwindigkeit und Präzision. Mit dem Verfahren werden Bauteile in Sekunden vermessen.

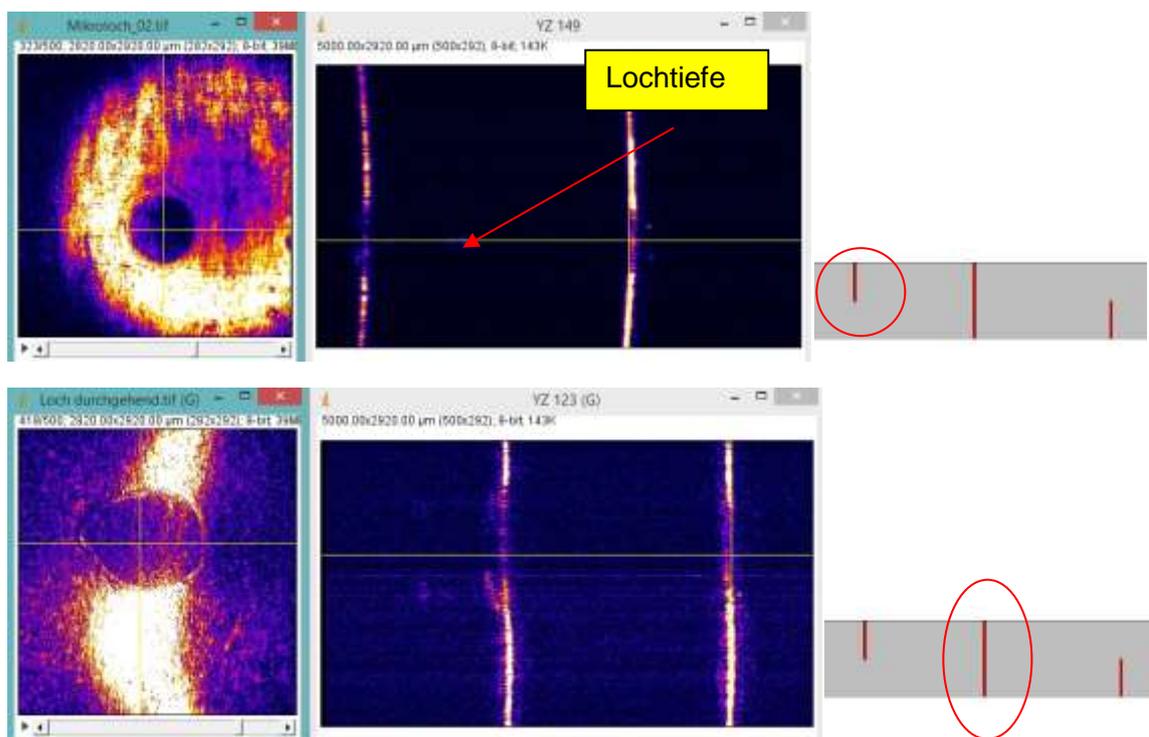
Lufteinschlüsse in Kunststofffolien Kontur und Dickenvermessung

Offene Siegelnaht

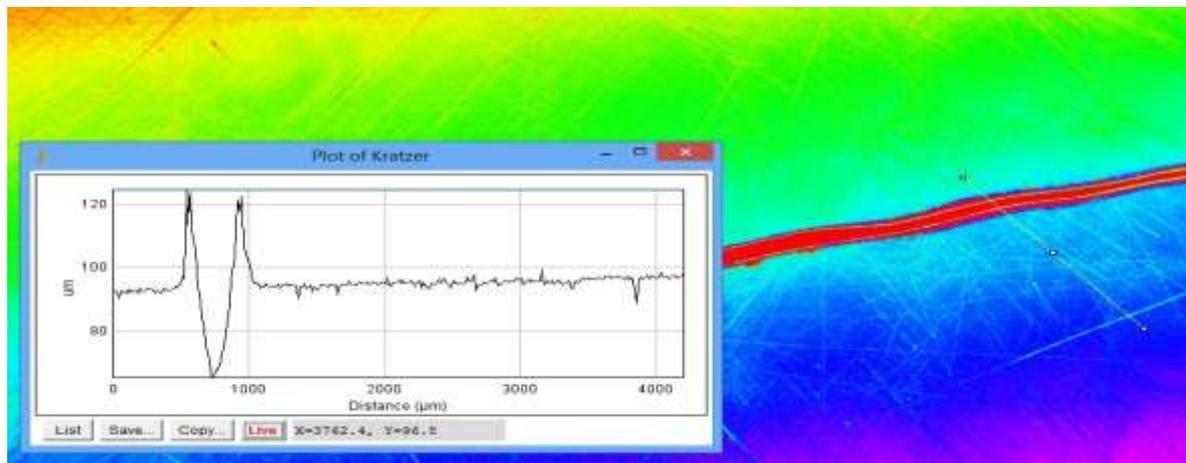


11.12.9. Loch in der Peel Off Folie (Vergrößerungsfaktor 10)

Im OCT-Bild zeigt sich ein kleines Loch wenn es durch ein Bauteil hindurch geht oder nicht. Die Tiefe eines lokalisierten Lochs erscheint als klares Signal. Das obere Bild zeigt ein Mikroloch das nicht durch die Schicht hindurch geht, das untere Bild ein durchgehendes Loch.

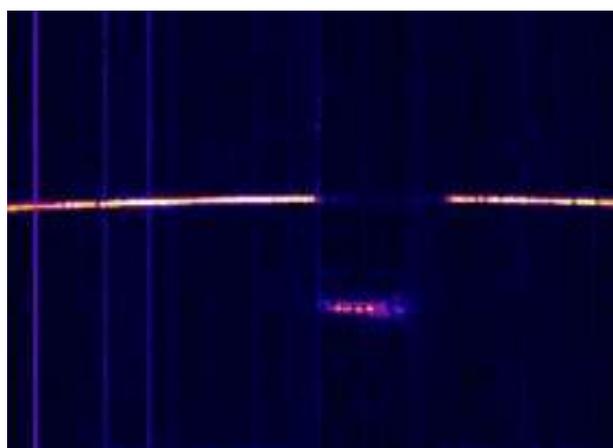
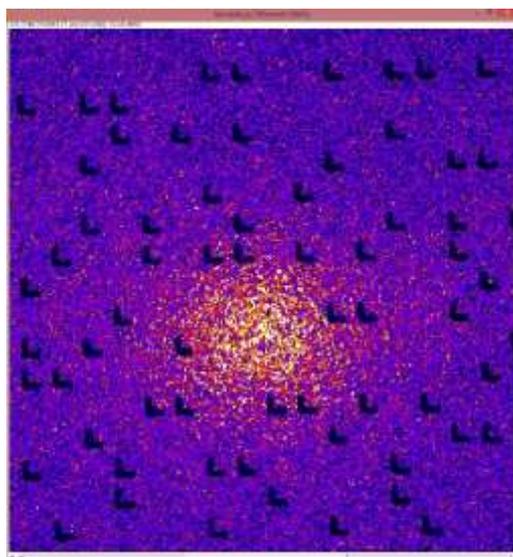


Ein Kratzer zeigt sich im OCT Bild, weil im Innern eines Materials keine Lichtübergänge mehr stattfinden, wie dies bei einem Riss der Fall ist. Der Kratzer ist in der Tiefe klar begrenzt. Das folgende OCT Bild zeigt feinste Kratzer und einen tiefen Kratzer auf einer Bauteiloberfläche.



Lasermarkierung zur Produkte- Identifikation

Die Kennzeichnung von Produkten erfordert moderne Lösungen. Sei es zur Kennzeichnung von Produkten oder um deren eindeutige Identifikation. Mit dem OCT Verfahren können Vorschriften klar überprüft werden, was nicht nur die einwandfreie Markierung gewährleistet sondern dass die Prozesssicherheit erhöht und die Effizienz der Hersteller und Verarbeiter verbessert.



Die Nut im OCT- Bild oben ist etwa 300 µm breit und 120 µm tief. Das OCT Bild links zeigt eine Laseridentifikation mit Kennzeichen die kleiner als 100 µm sind. Unsere Anlagen wurden für industrielle Überwachungs- und Identifikationsaufgaben entwickelt und erfassen nahezu 100 Millionen Pixelwerte pro Sekunde.

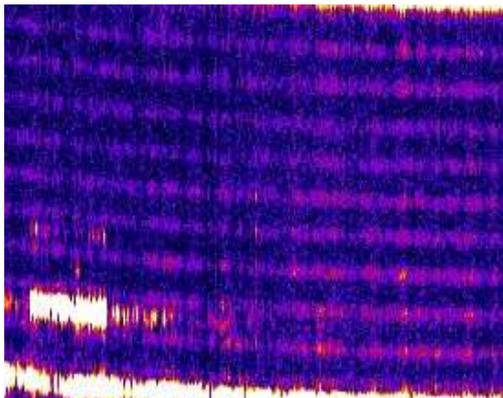
11.12.10. Stand der Technik

Die geometrische Auflösung von OCT- Systemen liegt im Sub-Mikrometerbereich und die Eindringtiefe in streuendes Material kann auch 1 mm Dicke überschreiten. Das OCT- Verfahren erschliesst neue Wege in der industriellen Messtechnik.

Aus den zeitlichen Unterschieden der Signale von reflektiertem Licht aus einer Probe werden zum Beispiel dreidimensionale Bilder erstellt und mit den Vorgaben von CAD- Daten abgeglichen, so dass Fehler in Werkzeugen sofort erkannt werden. Komplexe 3D-Bilder werden durch Stitching über eine ganze Probenoberfläche erstellt.

Ein OCT- Bilderstapel besteht aus bis zu 2000 Bildern in einem Abstand von wenigen Mikrometer (oder nm).

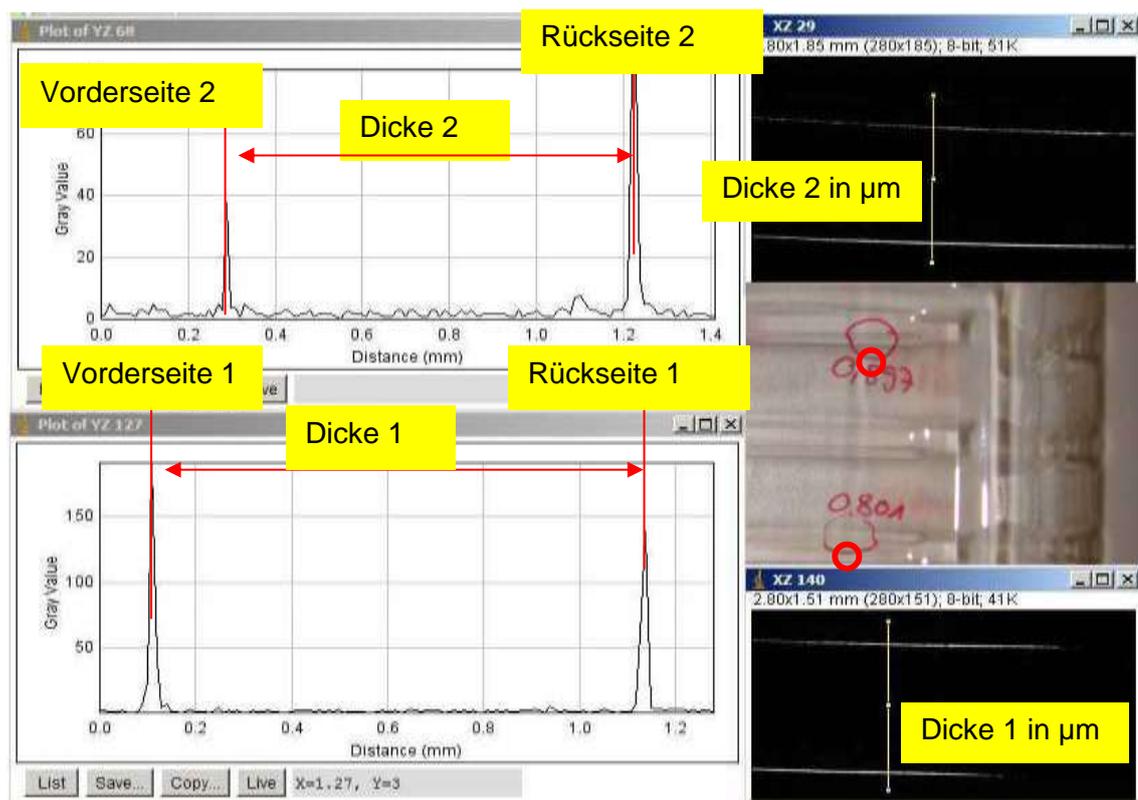
In den OCT- Signalen werden optische Unterschiede im Betrachtungsraum sichtbar, wie zum Beispiel im nebenstehenden Bild, in dem Lufteinschlüsse weiss erscheinen und Schichtübergänge violett. In einem Messvorgang erkennt man die Dicke einzelner Schichten, Trennstellen zwischen Schichten sowie Einschlüsse zwischen den Schichten oder Schichtablösungen.



Durch den Einsatz der OCT- Technologie werden die Kosten für die Vermessung von Bauteilen oder deren Prüfung bei höchster geometrischer Auflösung und kürzester Messzeit erheblich verkleinert.

11.12.11. Formbauteile und Volumen gleichzeitig vermessen.

Das OCT-Verfahren erlaubt „Volumenscans“ und erreicht eine Tiefenauflösung (Achse senkrecht zur Oberfläche) im Submikrometer-Bereich. Es wird eingesetzt zur Feststellung von „Materialverdünnungen“ beim Umformen von Kunststoffen. Dickenabweichungen im Submikrometerbereich werden mit dem Verfahren sicherer festgestellt. Soft- und Hardware sind in der Standardkonfiguration vorhanden und dienen zur Weiterentwicklung des Systems für die flächenmässige Schichtdickenmessung und Oberflächenanalyse.



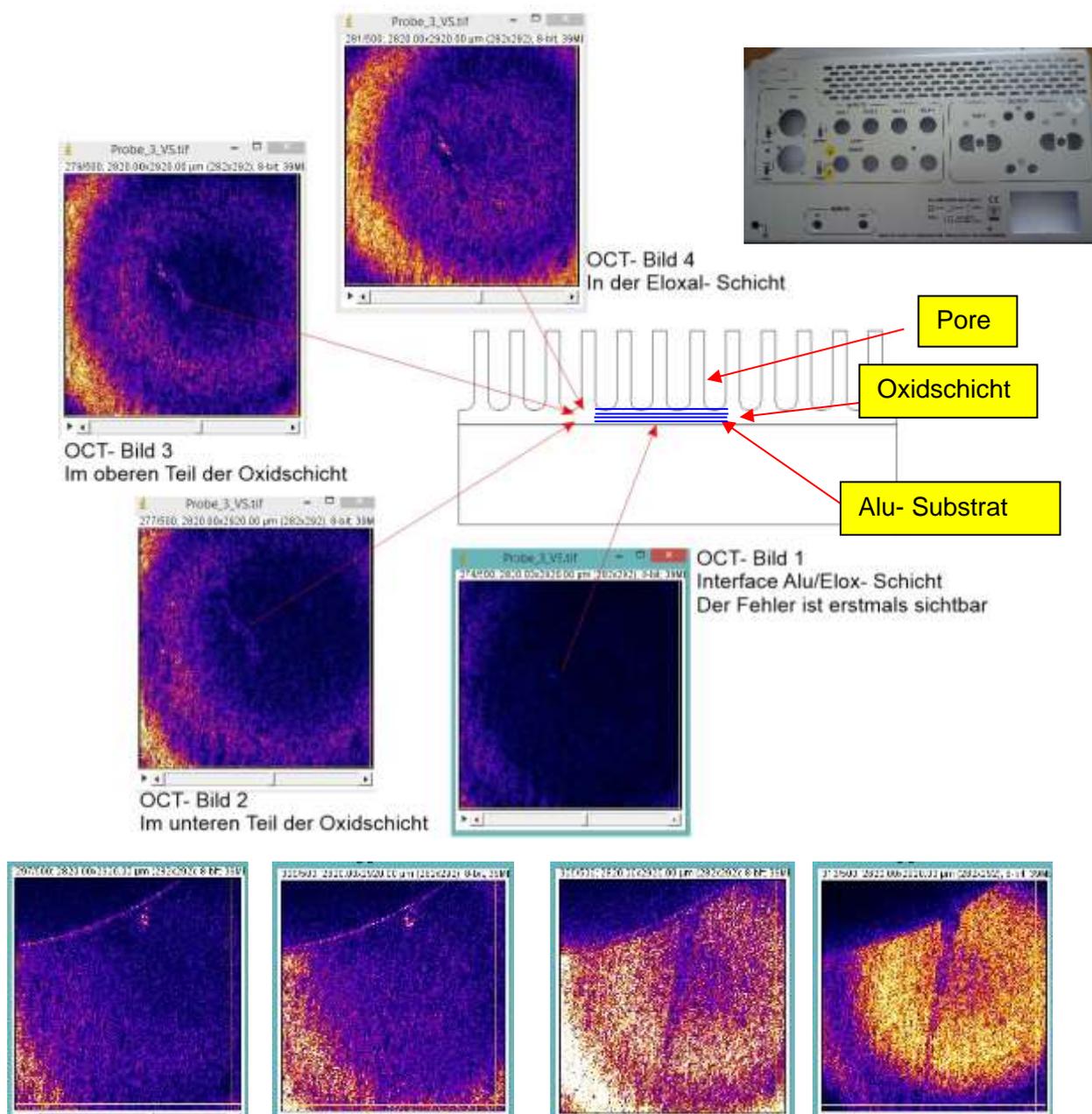
Die Vermessung der Oberflächengeometrie (Signale der Vorder oder Rückseite), der Volumen (Differenz der Geometriesignale) oder der Schichtdicke erfolgt in einem Messvorgang. Gleichzeitig werden auch Inhomogenitäten im Innern des verarbeiteten Materials (Materialverdünnung, Partikel, Delamination) festgestellt.



In Bauteilen aus mehrschichtigen Folien, lassen sich mit der OCT- Methode gleichzeitig Lufteinschlüsse oder Delaminationen in ihrer Tiefenlage lokalisieren. Die zwei OCT Bilder zeigen eine grosse Delamination (> 1500 in μm , links) in der Tiefe und Mikrolöcher mit einem Durchmesser von 100 in μm (rechts) in der Tiefe.

11.12.12. OCT Messungen vor dem eloxieren.

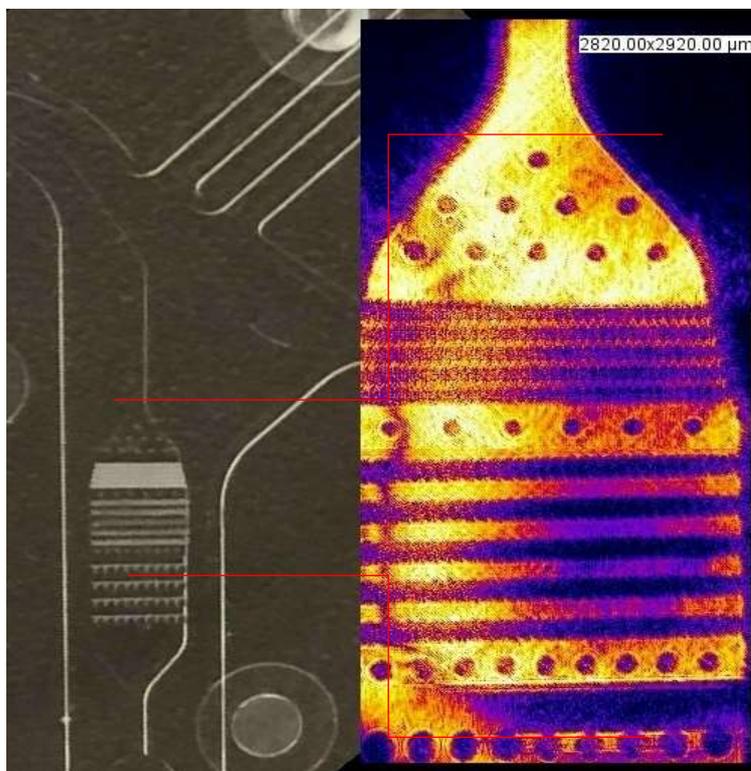
Bereits in der Interface- Schicht zwischen dem reinen Aluminium und der ersten, sehr dünnen Oxidschicht, (OCT- Bild 1) lässt sich der Fehler im Substrat lokalisieren. Der Fehler liegt wenige nm über der reinen Aluminiumoberfläche in der ersten, dünnen Oxidschicht. Im unteren Teil der Oxidschicht (OCT- Bild 2) wird der Fehler bereits deutlicher. Er liegt weniger als 1 Mikrometer über der reinen Alu-Oberfläche, wird im oberen Teil der Barrierschicht (OCT- Bild 3) besser sichtbar und zeigt sich unterhalb der porösen Eloxal- Schicht am deutlichsten (OCT- Bild 4).



Die OCT-Messungen auf der eloxierten Platte zeigen den Fehlerverlauf in der Korrosionsschicht, ausgehend von der Substratoberfläche bis zur Aussenseite der Eloxalschicht. Eine kleine Gefügeveränderung auf dem Träger ist der Ausgangspunkt des Fehlers, der nach dem eloxieren, also nach erbrachter Arbeit,

auf dem Bauteil zurück bleibt. Vom Ausgangspunkt auf dem nicht eloxierten Bauteil aus wächst die Störung in der Eloxalschicht und bleibt als störender Fehler auf dem fertigen Produkt zurück.

11.12.13. Schicht um Schicht im Mikrometerschritt



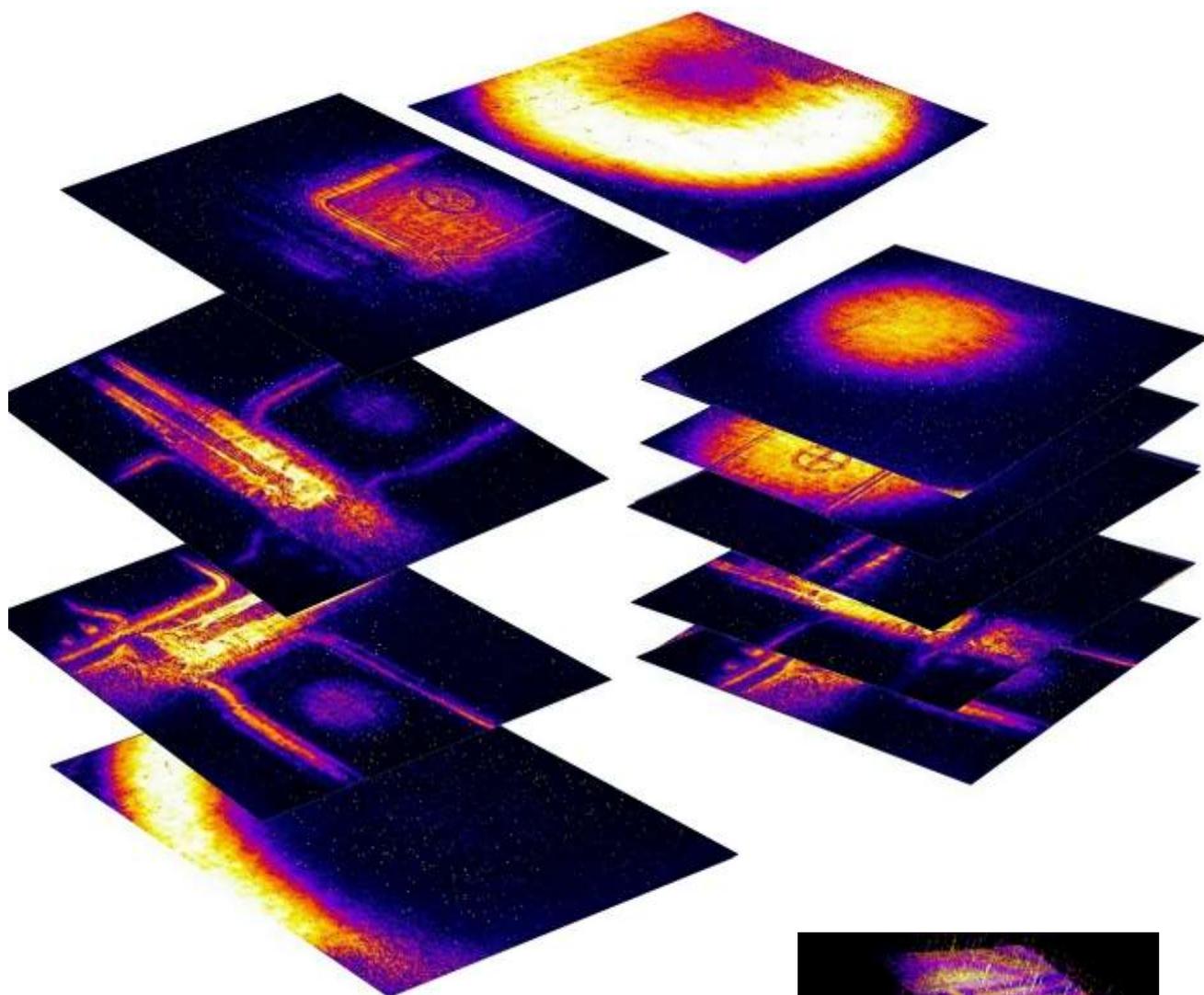
Mit Mikrokanälen werden Medikamente gemischt, chemische Prozesse beobachtet, Potentiale getrennt, Verbindungen geschaffen oder sogar Prozesse gesteuert. Wir zeigen in einer kurzen Übersicht wie man die Kanäle in solchen Systemen vermessen oder den Durchfluss von Fluiden berührungslos und höchst präzise bestimmen kann.

Mikrofluidik ist die Wissenschaft und die Technologie zur Manipulation und Steuerung von Flüssigkeiten, in der Regel im Bereich von Mikroliter bis PicoLiter, in Netzwerken von definiert gebauten Kanälen mit Abmessungen von einigen zehn bis einigen hundert Mikrometern.

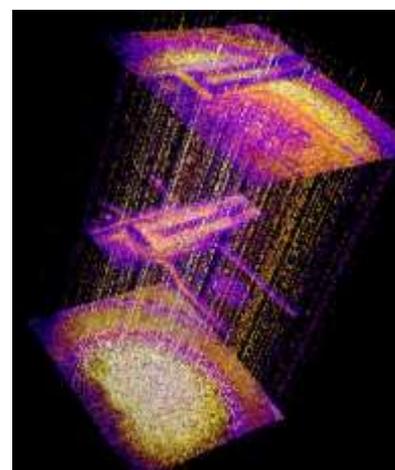
Die Microfluidic- Technik hat in den frühen 1990er Jahren begonnen und spielt heute in der analytischen Chemie und der Entwicklung von mikroelektronischen Technologien eine bedeutende Rolle. Eine OCT- Aufnahme besteht im Normalfall aus bis zu 500 Einzelbildern in einem Stack. Jedes Einzelbild hat 300 * 300 Bildelemente. Die OCT- Daten werden als Tomogramm dargestellt und als individuelle Bildfolge verarbeitet.

Neben der geometrischen Vermessung von Bauteilen mit dem OCT- Verfahren kann auch der Dopplereffekt zur Messung der Geschwindigkeit bewegter Objekte genutzt werden. Bringt man „kleine“ Teilchen in eine Flüssigkeit, lassen sich dank der hohen Ortsauflösung der OCT- Systeme auch Strömung in Mikrokanalstrukturen studieren. Mit den ASP Array können gleichzeitig mehrere Ebenen erfasst werden, woraus ein dreidimensionales Strömungsbild erstellt werden kann. Moderne OCT- Systeme erlauben auch die exakte Vermessung von technischen rauen Oberflächen, zum Beispiel die Spaltweite von Turbomaschinen, was zur Erhöhung des Wirkungsgrads dient.

Die Breite der Mikrokanäle sowie deren Tiefe oder die Geschwindigkeit des Mediums respektive der Strukturen im Innern der Module, Phasenänderungen oder stoffliche Eigenheiten können mit der OCT- Technologie zuverlässig von aussen her festgestellt werden. Aus einem aufgenommenen Stack können die OCT- Bilder, welche interessieren, gezielt herausgenommen und der Auswertung zugeführt werden. Im folgenden Bild ist ein ganzer Stack vom OCT Bildern dargestellt und die daraus entnommenen interessierenden Bilder dargestellt.



Aus dem Originalstack (Bild rechts) kann jedes Einzelbild zur Detailanalyse herausgenommen werden. Mit einem einzigen Lichtpuls werden geometrische Formen, Fluide, topografische Strukturen, Mischungen und alles, das dem Licht seine Spur aufzwingt, vermessen.

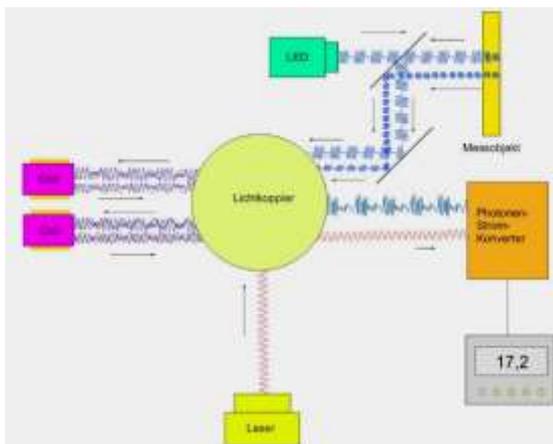


12. Wir lösen auch Ihre Messaufgabe

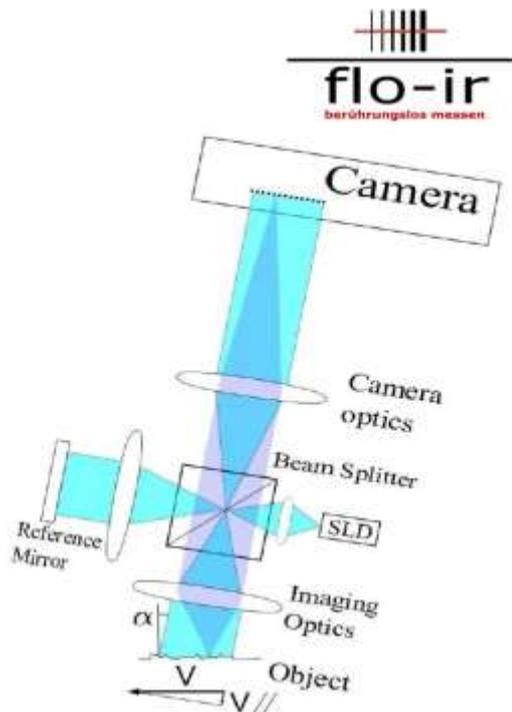
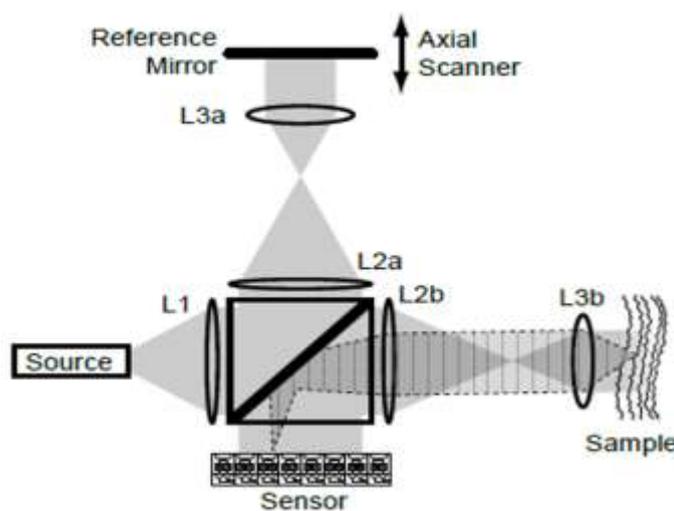
Low-Coherence-Interferometrie (LCI) oder parallel Optical low-Coherence Tomography (pOCT) sind moderne optische Verfahren, welche für die Vermessung von Oberflächen oder Schichtdicken mit einer Genauigkeit im Sub-Mikrometerbereich eingesetzt werden. Die Verfahren arbeiten mit optischen Fasern oder mit einem zweidimensionalen Array und sind robust genug für den Einsatz im industriellen Umfeld. Das OCT Verfahren wird im laufenden Betrieb oder am stehenden Objekt angewendet. Die vielfältigen Systeme lassen sich relativ leicht an bestehende Aufgabenstellungen anpassen.

Punktmessung (mit Fasern)

Arraymessung von 2 Seiten mit 1 Mio fps.



OCT Messprinzip mit dem ASP- Array



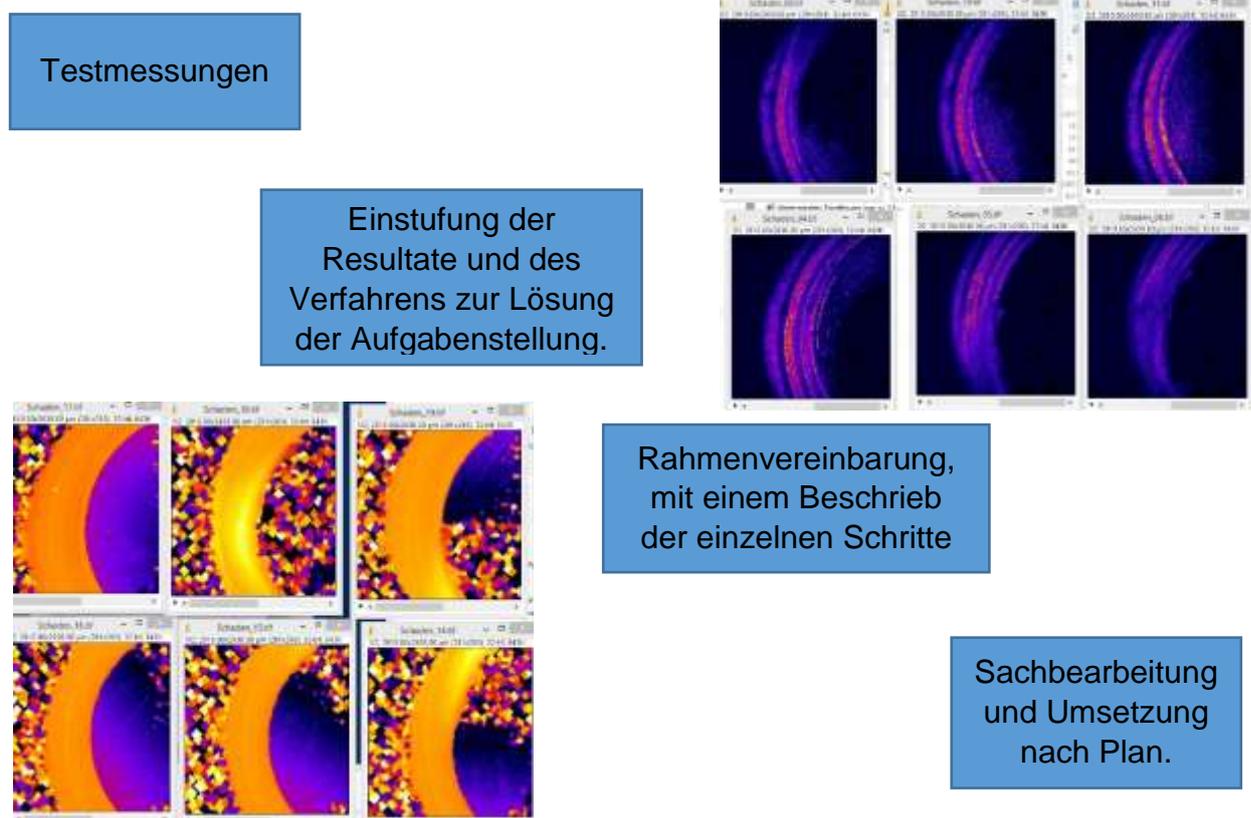
12.1. In line Prozessoptimierung und Verfahrensaufbau

Die Integration der OCT Anlagen in den industriellen Prozess erfordert die Adaption der Technologie an die Aufgabenstellung. Der eigentliche Messkopf der OCT- Einrichtung ist ein Standardprodukt und besteht aus dem patentierten ASC- Array, der Pulsquelle (SLD, LED, Anderes) sowie dem Mess- und Referenzarm (OCT Bedingungen).

Die Pulsquelle wirkt sich auf die Kohärenzlänge aus (Auflösung in z- Richtung), die Optik auf den Messabstand oder auf die laterale Auflösung, der Mess- und Referenzarm auf Eigenheiten des zu messenden Produktes. (Bewegung in allen Richtungen)

Um abzuklären ob sich das OCT Verfahren für einen vorgesehenen Einsatz eignen sind in der Regel Testmessungen notwendig.

Als erster Schritt werden dabei Testmessungen im Labor durchgeführt mit einer Auswertung und mit einer Einstufung der Resultate in Bezug auf die Aufgabenstellung. Erste Testmessungen erfolgen in der Regel ohne Kostenfolge.



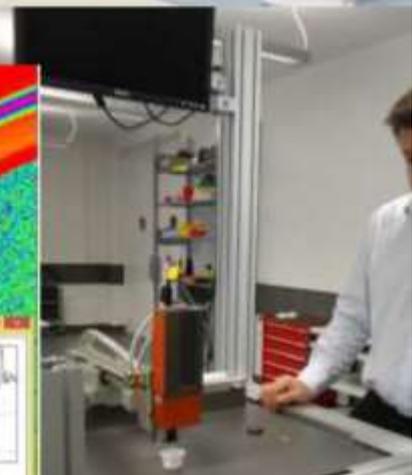
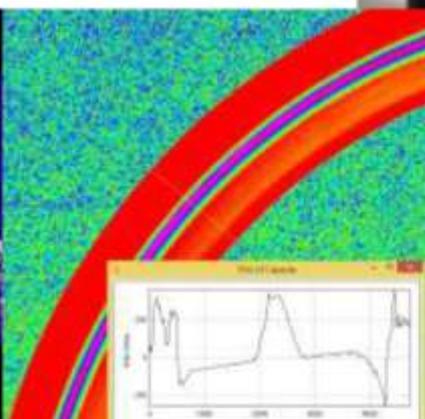
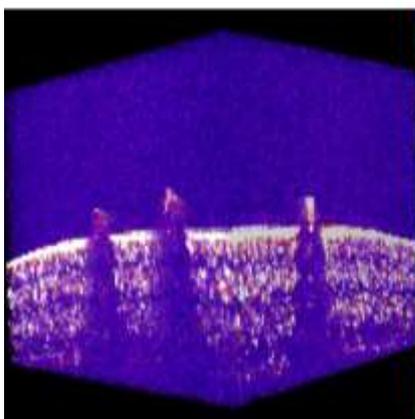
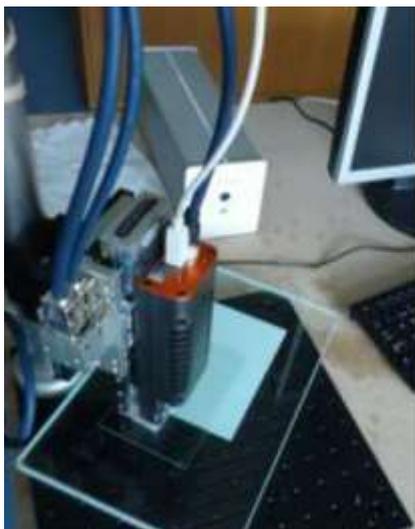
Als Resultat aus den ersten Testmessungen sind die zur Lösung der Aufgabenstellung notwendigen Anpassungen im optischen Strahlengang oder in der Messkopf- Auslegung bekannt. Solche Zusatzarbeiten erfordern von uns Fachpersonal und Materialaufwendungen was wir in einer Rahmenvereinbarung regeln. Die Rahmenvereinbarung zwischen dem Kunden und uns ist eine Grundlage für die weitere Projektbearbeitung. In der Rahmenvereinbarung sind beispielsweise die einzelnen Schritte zur Projektumsetzung sowie Milestones, Rechte und Pflichten der

Projektpartner umschrieben. Die einzelnen Schritte in der Umsetzung werden in der Folge wie abgemacht bearbeitet.

Weil vertiefte Erfahrungen im Einsatz der OCT- Technologie in industriellen Prozessen im Gegensatz zu medizinischen Anwendungen, fehlen, finden sich Anwendungen in der Industrie vor allem dort, wo mit geringem Aufwand ein grosser Nutzen erreicht wird.

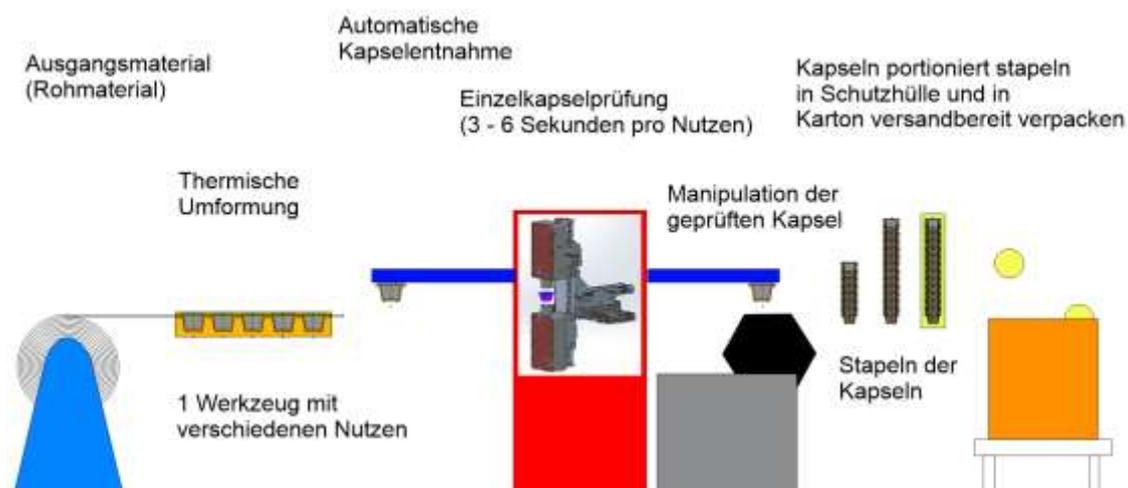
Beispiel 1: Die geometrische Vermessung von Bauteilen bis 30 mm Durchmesser ist bereits heute gegenüber der Vermessung mit Standard- Kamerasystemen 5 mal schneller und kann gar 50 mal schneller werden.

Beispiel 2: Nur durch die Messung der Dicke jeder einzelnen Schicht in einer Folie mit mehreren Schichten erlaubt eine Regelung einer Produktionsanlage. Durch den Einsatz der OCT Technologie werden einzelne Schichten im laufenden Betrieb gemessen sodass der Verbrauch von teuren Materialien (Gassperrschicht) bei gleicher Produktqualität reduziert werden kann.

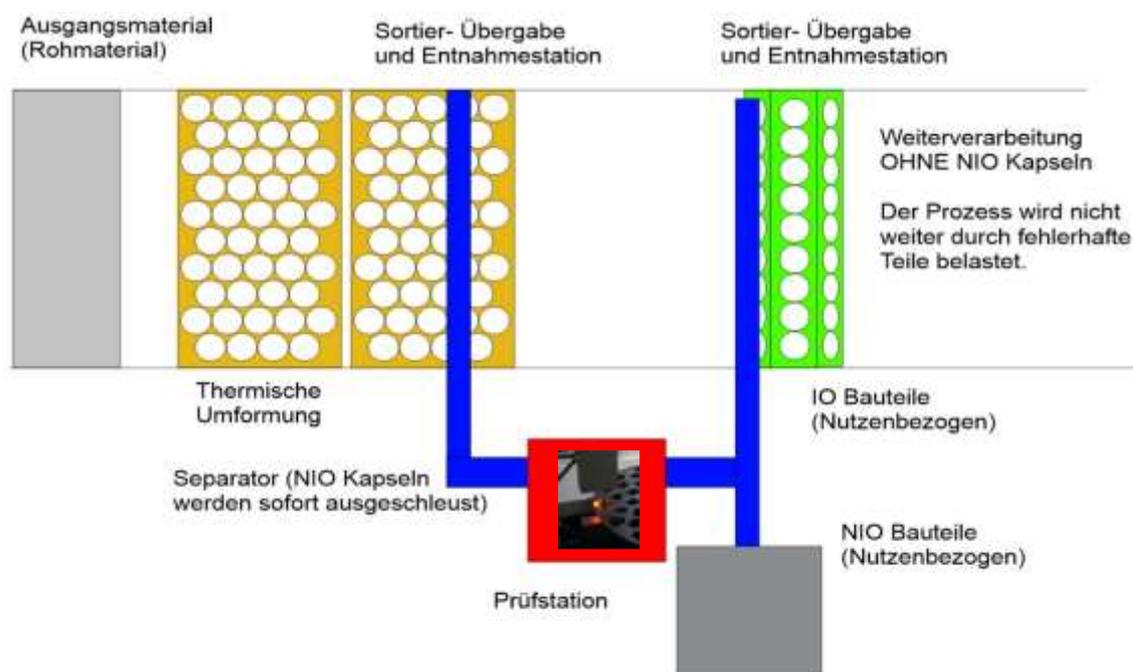


12.2. In line Prozessoptimierung und Verfahrensaufbau

In Produktionsprozessen, in welchen viele Bauteile in kurzer Zeit produziert werden, müssen so überprüft werden, dass Fehler in der Produktion möglichst schnell festgestellt werden. Bei Kaffeekapseln werden pro Stunde mehr als 60'000 Kapseln produziert. Arbeitet der Nutzen in einem Werkzeug nicht richtig, ist es vorteilhaft, wenn dieser fehler direkt nach dem Entformen festgestellt wird, da sonst die nachfolgenden Prozesse fehlerbehaftete Teile beinhalten, was die Wertschöpfung aus der Produktion verkleinert.



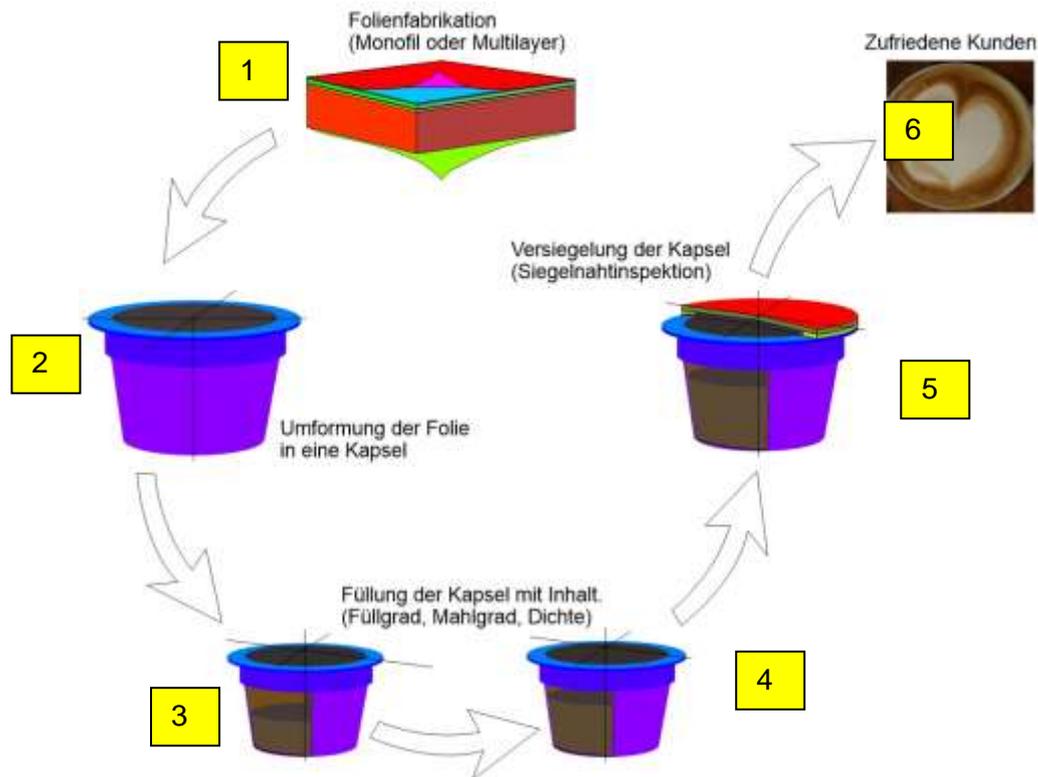
Die Seitenansicht eines Produktionsprozesses zeigt eine OCT- DUAL- Messkopf-Prüfstation welche direkt nach dem Entformen die wichtigsten Kriterien einer Kapsel inspiziert und fehlerbehaftete Teile sofort erkennt.



Fehlerbehaftete Teile werden direkt nach der Prüfung ausgeschieden und belasten demzufolge die Produktion nicht mehr.

12.3. Konsequente, ganzheitliche Prozessführung

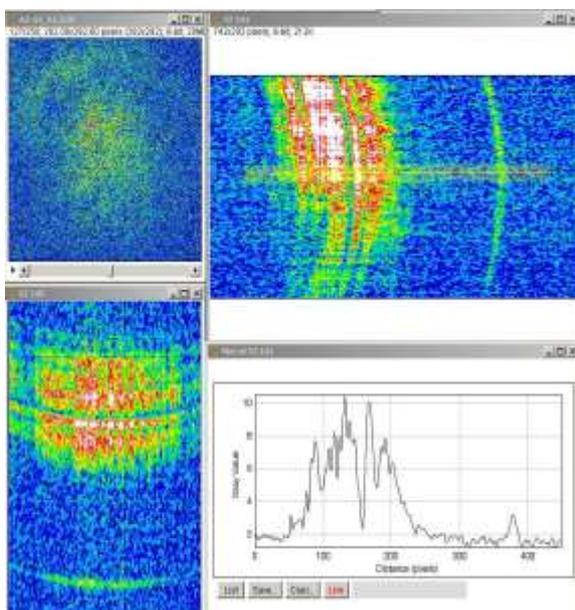
Jeder Prozessschritt hat seine Toleranzgrenzen, was durch die Automation nach technisch/wirtschaftlichen Kriterien überwacht und kontrolliert wird. Werden die einzelnen Teilprozesse einer Prozesskette ganzheitlich betrachtet, ergibt sich daraus ein Prozessfenster mit einer kleineren Gesamt-Toleranzgrenze, ein Vorteil, der zu einer höheren Wertschöpfung aus dem Produkt führt.



Bedenkt man, dass eine Gassperrschicht die 1 µm zu dick produziert wird, schnell jährliche Kosten von mehr als € 100'000.-- nach sich zieht und die Folgeprozesse dadurch auch tangiert werden, erkennt man, welchen Beitrag eine ganzheitliche Prozesskontrolle liefert. Durch Kenntnisse des statistischen Verhaltens der Einzelprozesse lässt sich die Gesamtprozessführung deutlich verfeinern.



12.4. Optische Kohärenz Tomografie OCT-Messanlage

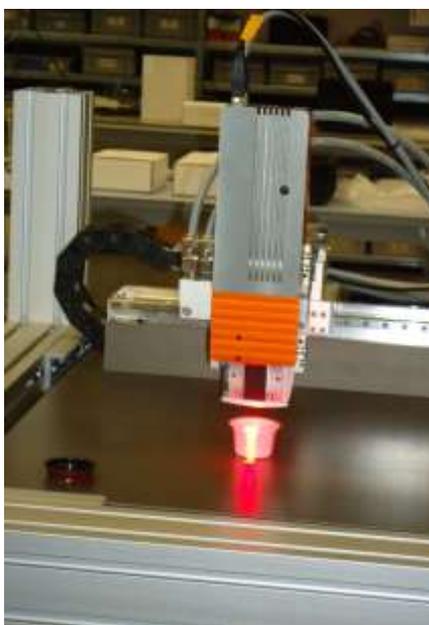


Wir bieten unseren Kunden und Partnern eine Serie von Beschreibungen über Anwendungen der OCT-Technologie und wie das pOCT-Verfahren im industriellen Umfeld angewendet werden kann.

Wir führen auch Messversuche für unsere Kunden mit dem pOCT-Verfahren durch oder bieten das System unseren Kunden auch für Testzwecke an.

Die OCT-Technologie erlaubt die Vermessung von Oberflächen im Submikrometer-Bereich und die Dickenmessung von Beschichtungen.

- ➔ Ist der Messkopf am Netz angeschlossen und über die USB Schnittstelle mit dem Rechner verbunden, können bereits Messungen ausgeführt werden.
- ➔ Der OCT- Messkopf kann auf alle Manipulatoren aufgebaut werden.
- ➔ Es werden verschiedene Ausführungen angeboten.



OCT- Tischanlage



OCT- Messzelle



OCT- Punktmessung

OCT Anlagen stehen in jeder Ausführungsart immer mehr in industriellen Prozessen weil das Verfahren wenig Platz beansprucht, schnell und berührunglos arbeitet und mehr Informationen liefert als handelsübliche Kamerasysteme, sda die erfassten Signale auf Interferenzen und auf Laufzeitunterschieden beruhen und nicht auf Reflektionen oder auf der Streuung des Lichts von einer Oberfläche.

12.5. Berührungslos → schnell → präzise

Bei der OCT-Technologie (**Optical low-Coherence Tomography**) werden spezielle, für die 3D-Messtechnik entwickelte, CMOS-Bildsensoren verwendet. Weil jedes Bildelement mit einer eigenen Optik und Signal-Vorverarbeitung ausgerüstet ist, verarbeiten diese Bildsensoren bis zu **1 Million 2D-Scheiben** (Einzelbilder) **pro Sekunde** mit einer vertikalen Auflösung von bis zu **20 nm**.

Müssen Sie Bauteile exakt vermessen oder müssen Sie die Qualität Ihrer Produktion reproduzierbar nachweisen, dann bieten wir Ihnen unsere modernste Messtechnik an. Wir vermessen für Sie Mikrostrukturen auf Bauteilen im Submikrometerbereich oder stellen Ihnen Anlagen zur Überwachung der Produktequalität zur Verfügung.

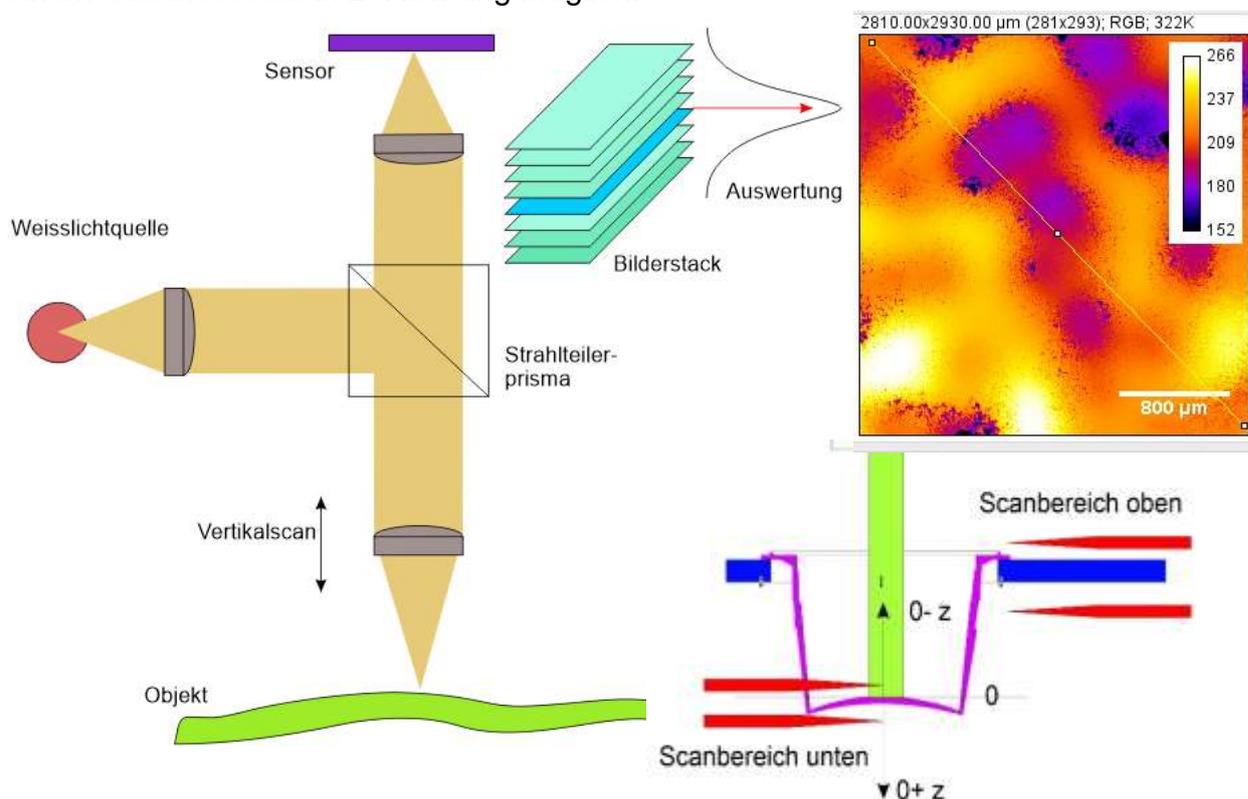
Wir inspizieren die Siegelnaht von Verpackungen aller Art schneller als 500 mm pro Sekunde und mit kleineren Bildpunkten als 30 Mikrometer * 30 Mikrometer. Die OCT Technologie ist robust im Einsatz und bietet Ihnen Sicherheit zu moderaten Kosten.

Wir führen Messaufgaben für Sie durch und bieten Ihnen unsere Kompetenz in der photometrischen Messtechnik an.

12.6. Erfassen der 3D Mikrogeometrie

12.6.1. Fokusvariation:

Der Messbereich einer Fokus- Variations- Einrichtung ist vom Objektiv abhängig. Je nach gewählter Vergrößerung liegt der laterale Messbereich zwischen 0,1mm² bis 100 mm². Der Messbereich in der Höhe eines Einzelsystems liegt bei 3,2 mm bis 22 mm. Eine Erweiterung der Höhenabtastung ist durch die Verschiebung der Kamera auf einem Glasmassstab in z- Richtung möglich.



Die für jedes Objektiv ist die Auflösung in vertikaler Richtung frei wählbar. Sie kann bis zu 10 nm betragen. Mit dem System der Fokusvariation werden hohe Auflösungen über mehrere Millimeter erreicht. Bei der Fokusvariation wird die geringe Schärfentiefe der Optik genutzt um daraus die Tiefeninformation einer Oberfläche zu ermitteln. Dabei wird die Änderung in der Scharfabbildung, anhängig von der Topografie der Oberfläche, relativ zum Abstand der Optik, analysiert.

Das Bauteil, welches vermessen werden soll, wird auf den Probehalter gelegt und mit moduliertem Weisslicht beleuchtet. Die koaxiale Beleuchtung wird erreicht indem das Licht in die Optik geleitet und über einen halbdurchlässigen Spiegel durch das Objektiv auf den das Bauteil fokussiert wird. Das Licht welches von der Probe reflektiert wird als Bild über eine Präzisionsoptik auf den Sensor projiziert. Die laterale Auflösung ist durch die gewählte Apertur der Optik bestimmt, die Auflösung in z- Richtung durch die z-Achsen- Auflösung des Vertikalscans. Das resultierende Bild hat idealerweise nur eine kleine Tiefenschärfe.

Wird der Abstand zwischen dem Bauteil und dem Objektiv laufend verändert und werden dabei kontinuierlich für jedes Tiefenprofil Bilder aufgenommen, ergibt sich daraus ein Stack von Bildern für jede Tiefenposition, in denen jeweils unterschiedliche Bereiche des Bauteils „scharf“ abgebildet sind.

Von zentraler Bedeutung ist das korrekte Zusammenspiel zwischen dem vertikalen Vorschub, der Modulation der Lichtquelle und der Bilderfassung auf dem Sensor.

Für jede Position auf dem Objekt wird die abgebildete „Schärfe“ berechnet, die verwendet wird, um die Tiefe, also den Abstand zwischen dem Objekt und dem Sensor, zu bestimmen, sodass aus dem Messdaten eine 3D- Repräsentation in Nanometer-Genauigkeit der vermessenen Oberfläche erzeugt werden kann. Die vertikale Auflösung erreicht 10^{-8} m, die laterale Auflösung $5 \cdot 10^{-6}$ m.

12.7. Modernste Technologie erschliesst neue Potentiale

Die OCT Technologie wird heute zur Produktionsüberwachung und zur Prozessentwicklung mit professioneller Software zum Visualisieren von 3D-Oberflächen in Echtzeit zum Erstellen von Oberflächentopografien oder zur Schichtdickenmessung eingesetzt. In benutzerfreundlicher Desktop- Umgebung können die Systeme durch Kunden selber eingesetzt und bedient werden. Jeder Schritt in der Vermessung wird abgespeichert sodass die volle metrologische Nachvollziehbarkeit garantiert und die Feineinstellung aller Schritte sofort möglich ist.

Tomogramme bestehen aus einzelnen Tiefenbildern (Bis 500 Einzelbilder) die einander überlagert werden. Der Grauwert entsteht durch die zeitlich veränderte Reflektion (oder Streuung) der ausgesendeten Photonen von der Oberfläche des Objektes. Unterschiede (Tiefe des Reliefs, Haftung, Verunreinigung) werden auf diese Weise mikrometergenau vermessen.

Fragen Sie nach den Einsatzmöglichkeiten oder fordern Sie weitere Informationen unter floir@sunrise.ch an.

12.8. Übersicht zu verschiedenen modernen Prüfverfahren

Verfahren und Anwendungen moderner Mess- Kontroll- und Prüfsysteme				
	Standard OCT	Faser OCT	HFUS	PTRT Verfahren
Schichtdickenmessung transparente Schichten	2	2	0	0
Schichtdickenmessung diffuse Schichten	1	1	1	0
Schichtdickenmessung opake Schichten	0	0	2	1
Schichtdickenmessung poröse Oberflächen	2	2	0	1
Vermessung der Dicke flüssiger Schichten	2	2	0	1
Zerstörungsfreie Materialprüfung	2	1	2	2
3D Identifikation von Produkten	2	2	0	0
Geometrische Vermessung kleinster Bohrungen	2	1	0	0
Geometrievermessung von Bauteilen aller Art	2	1	0	0
Vollständigkeitsprüfung von Mikrobauanteilen	2	1	0	0
3D- Topografie Vermessung (Erhebungen, Kurven)	2	1	0	0
Haftung zwischen zwei Schichten (Transparent)	2	2	0	0
Haftung zwischen zwei Schichten (diffus)	1	1	0	0
Haftung zwischen zwei Schichten (opak)	0	0	0	1
Fehlende Teile in Blistern erkennen	2	1	1	1
Siegelnahtqualität	2	1	0	1
Siegelnahtbreite	2	1	0	1
Erkennen und vermessen von Gasbarriereschichten	1	1	1	0
Partikelidentifikation	2	1	0	1
Überwachung laufender Produktionsprozesse	2	2	1	2
Materialcharakterisierung	2	2	0	1
Vermessung mehrschichtiger Folien	1	1	1	1

Diese Information zeigt das immense Potential das in modernen Messverfahren zur Optimierung von Produktionsprozessen steckt. Wer moderne Technologie einsetzt kann gezielt auf den Produktionsprozess einwirken und sich dadurch einen entscheidenden Marktvorteil verschaffen weil er weniger Material verbraucht und demzufolge die Produktivität erheblich steigert.

Wir stehen mit unserer Fachkompetenz und modernstem Gerätepark gerne zu Ihrer Verfügung.

Verlangen Sie weitere Informationen über verschiedene Applikationen. Unsere Laborsysteme stehen für die Verfahrensintegration zur Verfügung. Wir vermessen für Sie zerstörungsfrei und berührungslos Schichtdicken aller Art, Mikrostrukturen in 3D oder Bauteile im Submikrometerbereich.

13. Was bringt die Zukunft?

(DPC- x-ray imaging)

13.1. Phasenkontrast- Röntgen

Industrial computer tomography (CT) and radiography are much more than only methods for “non-destructive testing”. The new DPC- x- ray imaging method opens new applications for “structure analysis”, (orientation of fibers, inclusions inside CFG) or “condition monitoring” (Humidity, corrosion) and even in situ measuring (Geometries or thickness) especially for weakly absorbing materials. The DCP- X-ray imaging is a instrument that gives you a view inside a material under real conditions, also in running processes. With modern computers, collected data can be processed in 3D.

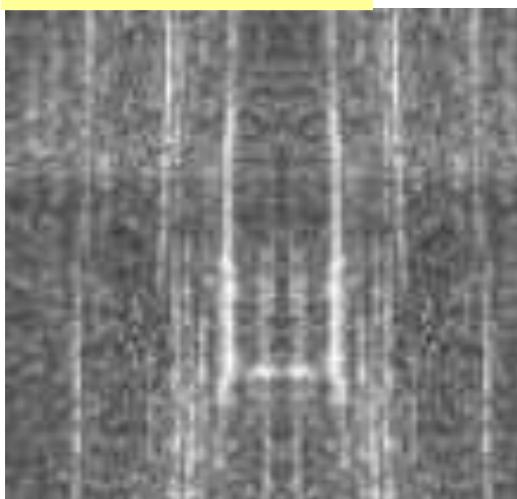
Are you seeking new solutions?

If you are seeking a solution for a task, where there exists no product in the market, let me know. Send me a description of the task and if possible a sample, that we can prepare the proposal for you. If you are agree, we can present some results of your task during the “Technical meeting about DPC– x- ray imaging and additional non invasive methods” on Oct 27th 2011 at the “Technopark Zürich”

- Sealing inspection of aluminium- or plastic- containiers.
- Inspection of liquid filled containers or menue boxes. (Thickness, Sealing)
- Thickness measurement or condition monitoring in running processes.
- Crack localisation in laminated construction materials.

We explain you some tasks which can be resolved with new methods and explain you new ways in process monitoring and packaging inspection as well as in non destructive testing. You know "imagination is more than know"!

Cracks in CFK material



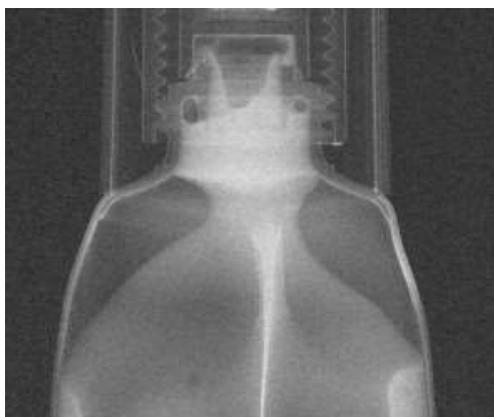
The result from a non destructive test after shooting metal balls on the surface of CFK Material explains, that there are grown some cracks inside the composite.

This result has been produced by one of our technology partner, applying the newest–Phase **D**ifference **C**ontrast x-ray technology.

The technology is available today under laboratory conditions.

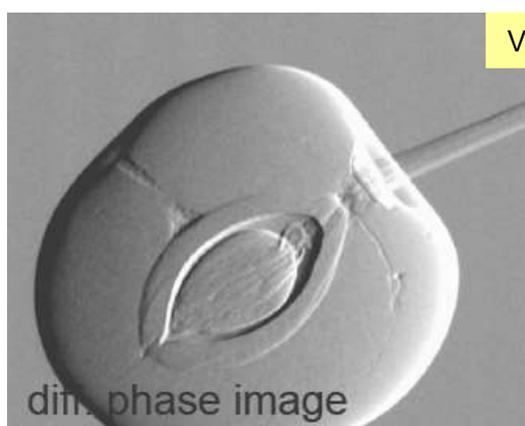
By courtesy of the northwest composite center UK (With small font)

The following pictures (produced by csem, our technology partner for PDC- x- Ray) explain results from non destructive- testing and non contact measurement application.

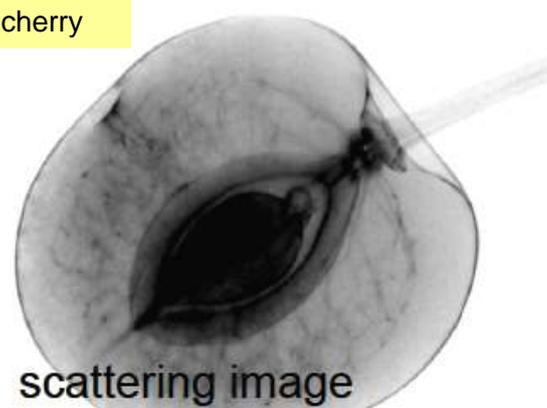


The view inside materials (opaque or transparent) opens new ways to detect incipient damages in the earliest possible stage.

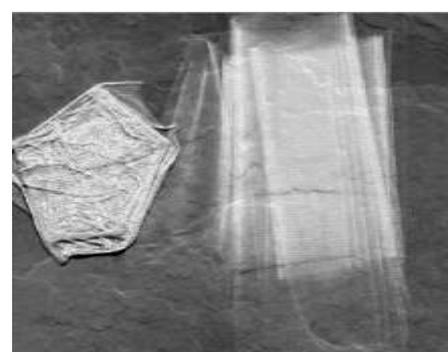
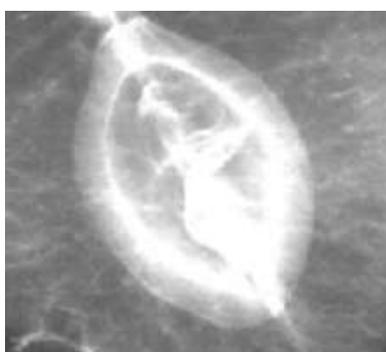
Cells inside a cherry appear in the same image as well as the path of a worm or the thickness of the skin of the fruit.



View inside a cherry



The view inside (a box, a container, a bottle) opens new ways to influence your success, because you see many not expected things under a real context as fast as possible. The DCP x- Ray technology and additional methods open you a new dimension in inspection, monitoring and controlling.

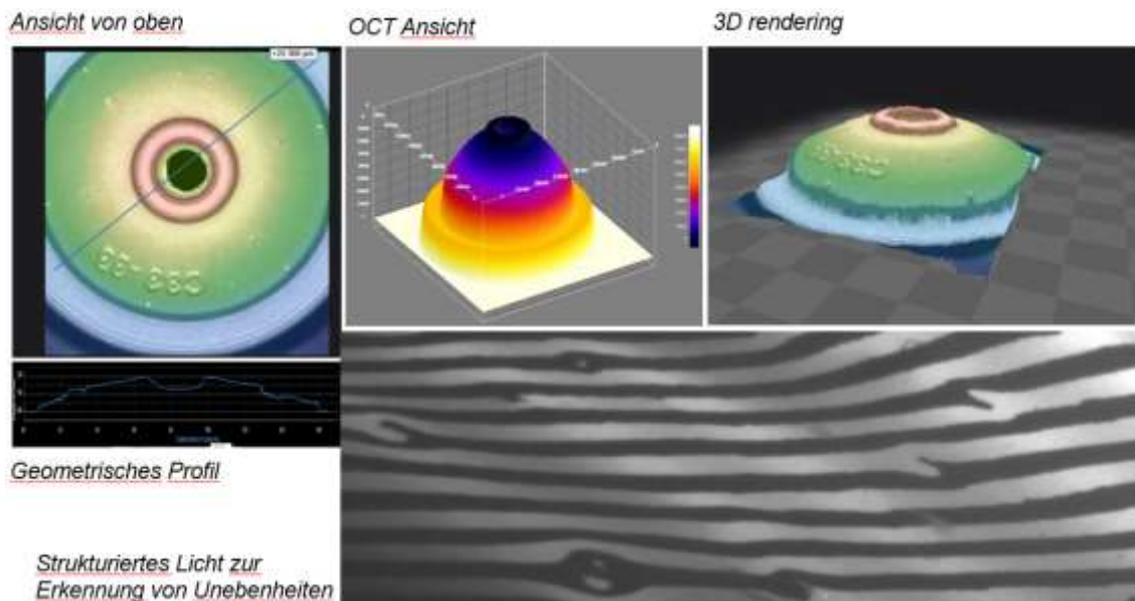


Verlangen Sie weitere Informationen zu Themen die Sie interessieren. Wir haben umfangreiche Detailbeschreibungen und Anlagespezifikationen welche der Aufgabenstellung angepasst sind.

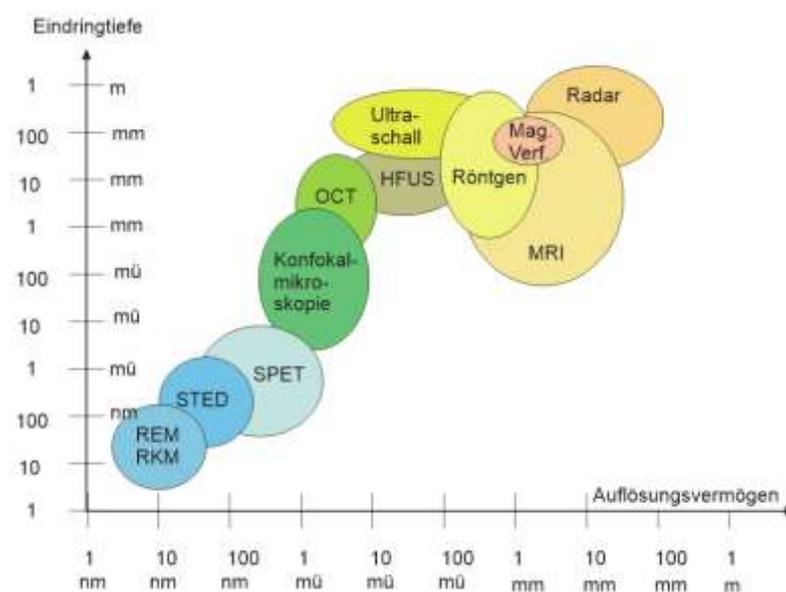
13.2. Andere optische Verfahren

Wir arbeiten auch mit der Streifenlichtprojektion, mit strukturiertem Licht oder mit der Lichtfeld- Technologie. Verlangen Sie im Falle Ihres Interesses weitere Informationen.

OCT- Methode, Lichtfeldtechnik und strukturiertes Licht



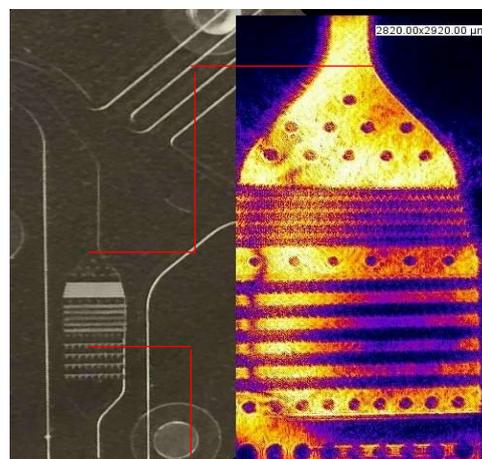
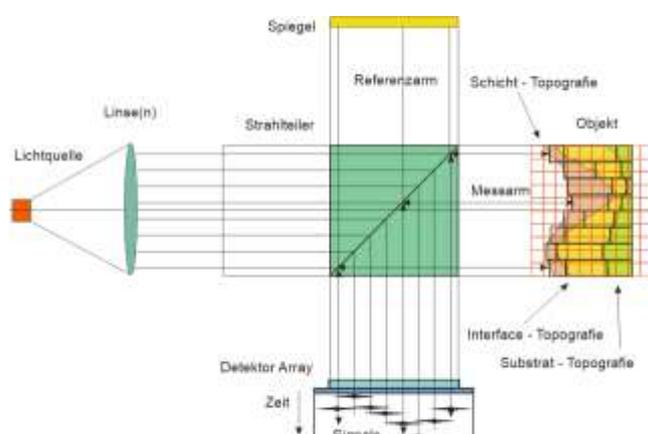
Die OCT Methode ist wie die Ultraschalltechnik oder die Mikroskopie im modernen Produktionsumfeld kaum mehr wegzudenken. Die folgende Grafik zeigt die Auflösung und die Eindringtiefe verschiedener Verfahren.



Radarverfahren erreichen eine Eindringtiefe (Abhängig von der Radarfrequenz) von mehr als 1 m bei einer Auflösung im Bereich mehrerer mm bis cm. Magnetische

Verfahren erreichen bei einer Eindringtiefe von mehr als 100 μm noch eine Genauigkeit im mm- Bereich. Die Auflösung der Ultraschalltechnik beträgt typischerweise 0,1 bis 1 mm und die Frequenz der für die Bildgebung verwendeten Schallwellen liegt bei 3 bis 40 MHz. Hochfrequenzultraschall (HFUS) wurde für Forschungszwecke und klinische Anwendungen verwendet. Bei Frequenzen von ca 100 MHz wurde eine Auflösung von weniger als 10 μm erreicht. Hohe Frequenzen werden jedoch bei grosser Eindringtiefe stark gedämpft. Mikroskopie und konfokale Mikroskopie sind Bildgebungstechniken mit einer extrem hohen transversalen Bildauflösung von 1 μm oder feiner. Die Bildgebung wird typischerweise durch die optische Beugung begrenzt, zudem ist die Eindringtiefe begrenzt. Das Signal und der Kontrast werden durch unerwünschtes Streulicht erheblich beeinträchtigt. Die OCT Methode füllt die Grenze zwischen Ultraschall und Mikroskopie. Die axiale Bildauflösung im OCT wird durch die Bandbreite der Lichtquelle bestimmt. OCT-Technologien haben axiale Auflösungen im Bereich von 1 bis 10 Mikrometern, die ungefähr 10 bis 100 Mal feiner sind als die Standard-Ultraschallbildgebung. Die hohe Auflösung der OCT-Bildgebung ermöglicht die Visualisierung der Morphologie der Gewebearchitektur und ermöglicht eine berührungslose hochauflösende Bildgebung. Die Hauptbeschränkung von OCT Systeme besteht darin, dass das Licht von vielen Objekten gestreut wird. Weil OCT auch mit Glasfasern verwendet werden können, ermöglicht die Methode den Bau einer Vielzahl von Zusatzinstrumenten wie Kathetherendoskope oder Laborskope um die Bildgebung in Organsystemen oder festen Geweben zu ermöglichen.

Die Bildgebung ist analog zur Ultraschall- Bildgebung. Die Bildgebung in der OCT Anwendung erfolgt im Wesentlichen durch die Messung der Zeitverzögerung von rückreflektiertem oder rückgestreutem Licht aus dem Inneren von Mikrostrukturen. OCT-Bilder sind zwei oder drei dimensionale Datensätze, die eine optische Rückreflexion oder Rückstreuung einer Querschnittsebene oder eines 3D-Volumens darstellen. (Unterschiedliche optischen Eigenschaften). Die Dimension der vermessenen Strukturen kann aus den Signalen (Signalstärke, Lichtlaufzeit) abgeleitet und rekonstruiert werden. Die axiale Messung von Tiefenabständen wird als A-Mode-Scanning bezeichnet, die Querschnittsbildgebung als B-Mode-Scanning.



Die volumetrische oder 3D-Bildgebung erfolgt durch Erfassen mehrerer B-Mode-Scans. Weil die Lichtgeschwindigkeit extrem hoch und die Genauigkeit unschlagbar klein ist, wird das Verfahren immer dann eingesetzt, wenn Genauigkeit und Geschwindigkeit

gleichzeitig gefordert sind. Mit der optischen Messtechnik ist man in der Lage, das Volumen von mikrofluidischen Chips in Nanolitergenauigkeit berührungslos oder Nanopartikel mit höchster Präzision zu vermessen. Zudem lassen sich mit der SPET Methode Viren in Echtzeit beobachten.

14. Wir bieten

- Geräte und Prüfanlagen zum berührungslosen Messen
- Beschichtungen und Schichten im Bauwesen
- LockIn – Thermographie, Zerstörungsfreie Prüfungen ausgedehnter Flächen
- Zerstörungsfrei im Millisekunden-Takt
- Zerstörungsfreie Prüfung Beschichtungen
- Sie haben die Lackieraufgabe – Wir haben die optimale Messtechnik
- Messungen mit Photonen auf den Punkt gebracht
- Wenn ein „Lichtblitz“ Vernetzungsebenen aufzeigt, die Kontur einer Oberfläche
- vermisst und die Dicke einer Schicht berührungslos erkennt
- Schichtdickenmessung mit modernsten Messanlagen
- Folienproduktion und Klebefilme – Selektive Messung der Schichtdicke
- Berührungslose Messung der Dicke von einem Klebefilm im
- Submikrometerbereich
- Schichtdickenmessung bis zu 6 Folien
- Messung der Oberflächentopografie mit höchster Präzision und Messung der
- Foliendicke
- Berührungslos und schnell
- Feststellen von Vernetzungsebenen
- Messung der PET-Dicke
- Erkennen von Material- und Siegel Fehlern
- Siegelnahtinspektion, Schichtdicken- und Volumenvermessung mit dem
- OCT-System
- Viel mehr als nur Siegelnahtinspektion in der laufenden Produktion
- „Messen mit Licht“
- Volumetrische Messungen mit dem OCT-System
- Beschreibung Voxelscan
- Inspektionen in der laufenden Produktion
- Die neue Generation der biometrischen Zutrittskontrolle, Siegelnahtinspektion_Anforderungen und Resultate

Mit OCT Systemen können wir neue Kriterien zuverlässig überprüfen und automatisch bewerten. Die folgenden Bilder zeigen einen Getränkeflaschenverschluss, bei welchem

festgestellt wird, ob die Sollbruchstelle richtig ausgeformt ist oder nicht. Im Markt ist das OCT Verfahren das einzige Verfahren, welches diese Überprüfung ermöglicht.



14.1. Vorteile der OCT- Methode

- Hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit
- Robust im industriellen Einsatz
- Geringer Platzbedarf
- Eindeutige, sichere Vorder- und Hintergrundausblendung
- Der Messprozess kann flexibel ausgebaut und automatisiert werden
- Alle Messungen werden automatisch protokolliert und dokumentiert
- Sehr schnelle Messung
- Jeder Prozess-Schritt ist mit Datum, Zeit und Aktion gesichert
- Das Messprotokoll entspricht internationalen Standards
- Kein Personal zur Messung notwendig
- Identifikation eingepprägter Werkzeugnummern
- Feststellung der Bauteilorientierung.

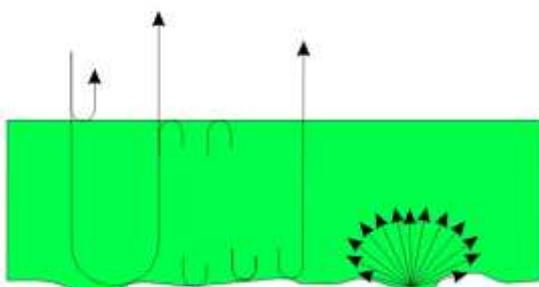
14.2. Höchste Qualität mit dem ASP Sensor Array

Das ASP Array wurde in der Schweiz entwickelt und patentiert. Das einzigartige Verfahren ermöglicht eine ultraschnelle Bildaufnahme mit bis zu 1 Mio fps. Darüber hinaus zeichnet sich das System durch eine extrem lichtempfindliche und robuste Signalgebung bei hoher Lichtausbeute aus. So werden Höhengauflösungen bis in den Nanometerbereich erreicht. Im Gegensatz zu herkömmlichen Messverfahren werden bei dem OCT- Verfahren Streulichteffekte, Messartefakte und Vorzugsrichtungen verhindert.



Die Höhenwerte von jedem Bildpunkt ergeben eine exakte dreidimensionale Rekonstruktion der Oberfläche.

Durch die Intensitätsinformation erhält man ein hochaufgelöstes tiefenscharfes Bild. Bei optionaler Verwendung einer Farbkamera kann darüber hinaus ein Farbbild der Oberfläche erzeugt werden



Schichtdickenmessung

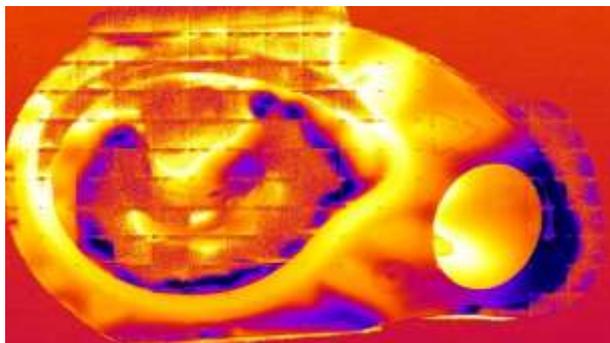
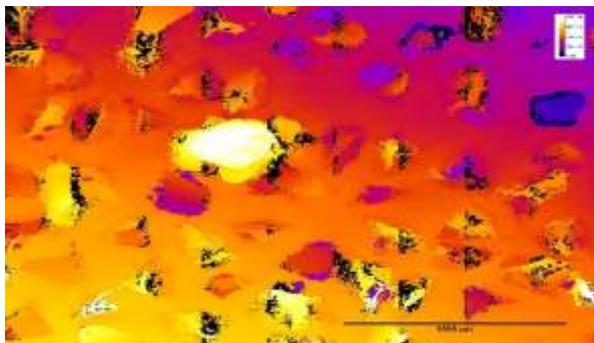
Bei der Vermessung transparenter Proben werden die Intensitätspeaks des reflektierten Lichts der einzelnen Schicht erfasst. Das OCT System hat in Z-Richtung eine Fokusebene welche eine ganze Schichtfolge mit einem einzigen Puls erfasst und deren Dicke oder Vernetzung misst.

Exakte Positionierung

Integrierte Glasmassstäbe mit einer Auflösung im Bereich von 100 nm gewährleisten eine hohe Positioniergenauigkeit und damit eine artefaktfreie Zusammensetzung der Bilder.

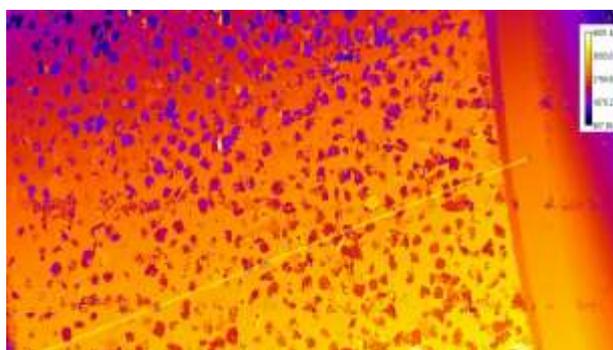
Mit Hilfe der HD-Stitching-Funktion (automatische Bildzusammensetzung) können mehrere Einzelbilder zu einem grossflächigen Gesamtbild zusammengesetzt werden. Bis zu mehr als 100 Bilder sind bei voller Auflösung miteinander kombinierbar.

Das Bildfeld kann flexibel gewählt werden. Die Stitching-Messung verläuft vollautomatisch durch motorisierte x,y,z-Achsen.



14.3. Technologische Vorteile

Die profiltreue Wiedergabe feinsten Rauheitsstrukturen ist ein zentrales Qualitätskriterium unserer Messtechnik. In der industriellen Nutzung ist insbesondere die Vergleichbarkeit mit normgerecht taktil gemessenen Rauheitswerten von höchster Bedeutung. Zahlreiche wissenschaftliche und industrielle Studien belegen eindeutig, dass unser System höchsten Ansprüchen genügt und widerspruchsfrei neben taktilen Systemen einsetzbar sind. Die Kalibrierung der Geräte erfolgt anhand zertifizierter Normale, wie sie auch in der taktilen Rauheitsmesstechnik verwendet werden. Die Auswertung von Profil- und Flächendaten erfolgt ebenfalls konform mit internationalen Normen wie z.B. anhand der internationalen ISO-Norm 25178.



Das OCT Verfahren ist die ideale Ergänzung oder Alternative zum REM und bietet zur Charakterisierung von Oberflächen im Mikro- und Nanometerbereich viele Vorteile. Im Gegensatz zum REM liegen bei der OCT Flächenmessung die Daten als echte Höhenkoordinaten (x,y,z) vor. Nur mit diesen quantitativen Informationen ist eine exakte Auswertung von 3D-Parametern möglich. Zudem ist keine Probenvorbereitung notwendig. Auch gegenüber einem AFM verfügt das OCT System mit dem ASP Array über Vorteile. Die höhere laterale Ortsauflösung des REM und AFM im Vergleich zu optischen Systemen wird dabei in der Praxis oft nicht benötigt.

ASP - OCT – Metrology

Die intuitive Mess- und Ansteuerungssoftware garantiert die effiziente Durchführung von Messungen. Mit der Navigator-Funktion wird ein schnelles Übersichtsbild erstellt, in

welchem der gewünschte Messbereich ausgewählt wird. Daraufhin kann der Messvorgang dank der Snapshot-Technologie direkt gestartet werden. Aussagekräftige 3D-Darstellungen der Messergebnisse mit Intensitäts- und Farboverlay sind nach wenigen Sekunden verfügbar. Semi-automatisierte Messreihen lassen sich einfach mit der Template-Funktion realisieren.

Farb - DICe

Unsere Software stellt OCT Messdaten als differentielles Interferenz-Kontrastbild dar. Die Software liefert gegenüber einem DIC-Mikroskop viele Vorteile: Kleinste Höhenänderungen, die mit anderen Mikroskopiertechniken nicht sichtbar werden, sind detektierbar. Strukturen werden mit unendlicher Tiefenschärfe dargestellt, und dies unabhängig von Farbe und Reflexionsgrad der Probe.

Aussagekräftig darstellen!

- 3D-Darstellung, schnelle qualitativ hochwertige Darstellung
- 3D-Messdatenüberlagerung mit Intensitäts- und Farbmessung
- Profildarstellung
- Ergebnisdarstellung
- Software-DICe

OCT - ASP - Analysis

Die Oberflächenanalyse-Software bietet alles, was zur Darstellung und Analyse von Struktur, Rauheit, Welligkeit, Stufenhöhen, Kontur und sonstigen Oberflächenmerkmalen benötigt wird. In der intuitiven mehrsprachigen Benutzeroberfläche lassen sich komplexe Analyseberichte per Knopfdruck erstellen. Vielfältige Darstellungsmöglichkeiten wie Profilsansicht, 3D-Rekonstruktion oder Reflexionsbild erzeugen aussagekräftige Messprotokolle.

Raw material	23	Material	PP011	Machine	T82 07	Charge	221	Date	24.05.2015	Time	06:13:33
Production	856	Pr Certificate	321	Operator	25	Packet	133	Lot Number	28		
Criterion	Measuring tool	Unit	Setpoint	Tolerance from	Tolerance to	Tool 1	Tool 2	Tool 3	Tool 4	Tool 5	Tool 6
Diameter	flo-ir MM	mm	28	27,09	28,01	28,005	27,949	27,986	27,949	28,005	28,005
Wight	flo-ir MM	g	3,1	2,995	3,005	3,004	3,004	3,003	3,003	3,003	2,994
Thickness D1	flo-ir MM	µm	650	645	655	650,000	646,750	647,394	648,038	648,682	649,328
Thickness D2	flo-ir MM	µm	650	645	655	654,000	650,730	647,476	648,771	650,069	646,819
Thickness D3	flo-ir MM	µm	650	645	655	648,000	648,645	649,290	649,936	650,583	651,230
Planarity	flo-ir MM	µm	1	0,99	1,01	1,000	0,995	0,990	0,997	1,003	1,010
Parallelity	flo-ir MM	µm	1	0,99	1,01	1,000	0,995	0,990	1,020	1,050	1,045
Depth of the grove	flo-ir MM	µm	12	11,9	12,1	12,000	11,940	11,988	12,036	12,084	12,023
Grove with	flo-ir MM	µm	2	1,95	2,05	2,005	1,995	1,985	1,975	1,965	1,955
Over all hight	flo-ir MM	mm	22	21,9	22,1	22,000	21,960	21,985	21,970	21,960	21,940
Diameter inside	flo-ir MM	mm	26,7	26,6	26,75	26,720	26,707	26,733	26,600	26,680	26,758
Tickness of the wall	flo-ir MM	µm	650	645	655	655,000	651,725	648,466	645,224	641,988	638,746

OCT - ASP - Automation

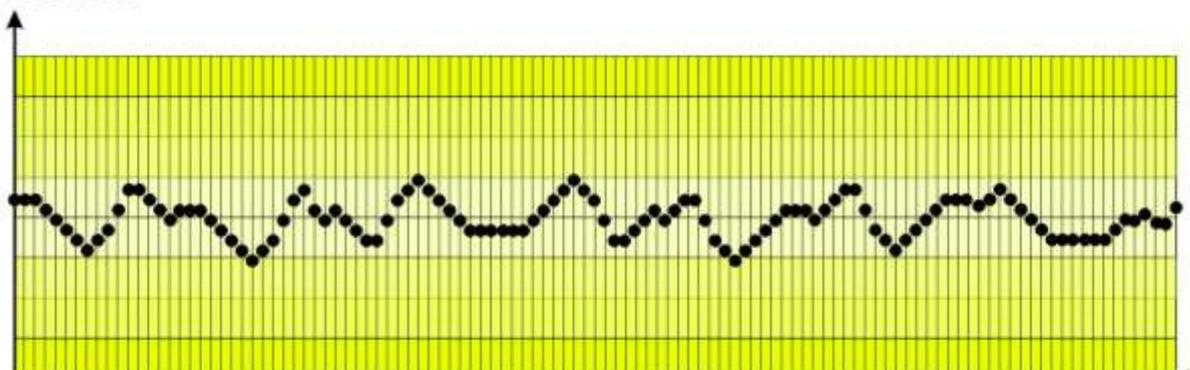
Mit kundenspezifischer Software lassen sich individuelle Messungen einfach automatisieren. Alle festgelegten Messparameter werden in einer Messvorlage gespeichert.

Individuell automatisieren!

- Benutzerunabhängige Serienmessungen
- Zeiteffizientes Arbeiten
- Verschiedene Messaufgaben und Auswertungen in einem Messrezept
- Protokollerstellung und SPC-Kontrolle
- Datenbankbasiert

Die Software verfügt über eine mächtige Auswertebibliothek. Messdaten und Auswertungen werden dauerhaft gesichert und stehen damit zur statistischen Prozesskontrolle zur Verfügung. Die strikte Trennung zwischen Bediener- und Administrator-Modus garantiert einfachste Handhabung und sichere Ergebnisse.

Messwert



Effektiv auswerten und dokumentieren!

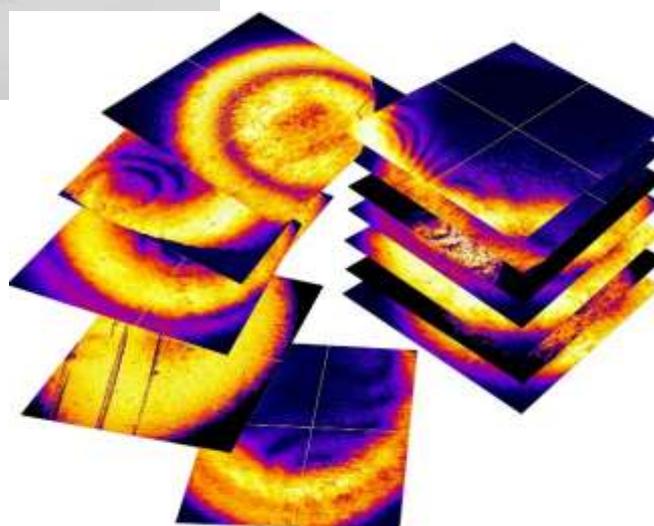
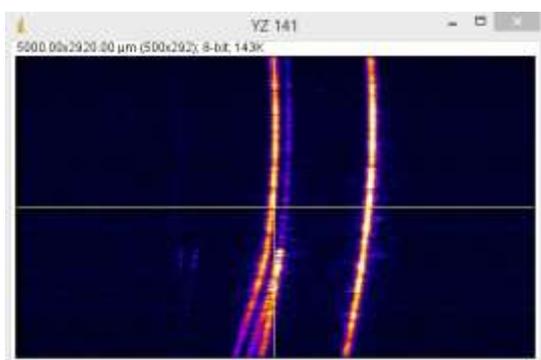
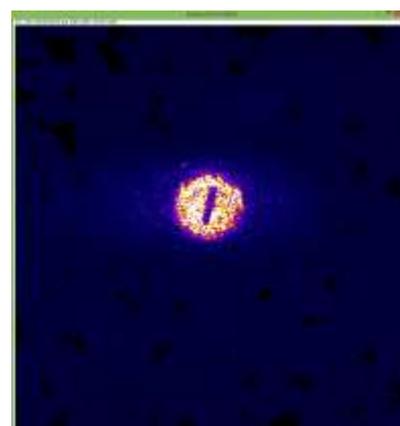
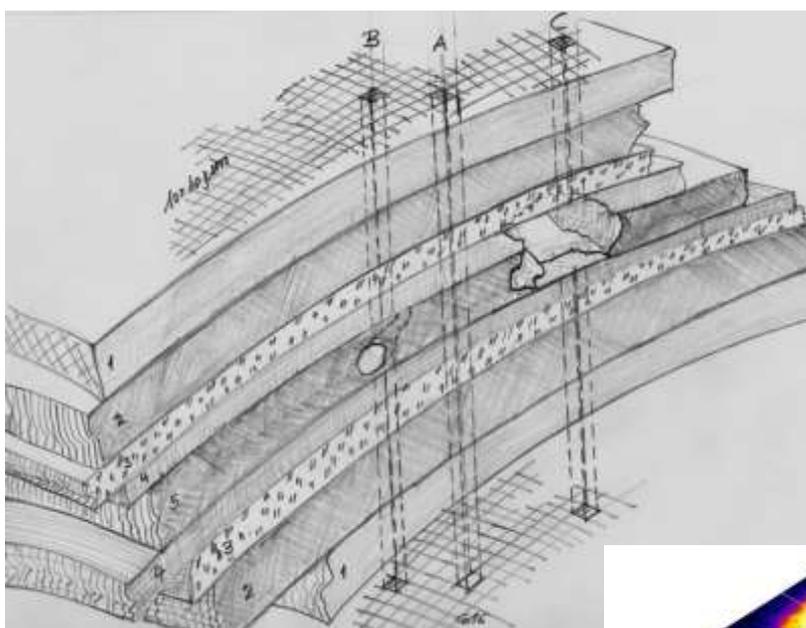
- Benutzerunabhängig
- Leistungsstarke Automatisierbarkeit
- Kundenspezifische Anpassung und Auswertung
- 3D-Analyse, ISO 25178, ISO 13565, ISO 12781
- 2D-Analyse ISO 4287
- Geometrie, Volumen, Kontur...

Custom designed - Messgerät nach Mass

Christian florin innovation stellt das OCT System genau nach kundenspezifischen Anforderungen zusammen. Es steht eine grosse Auswahl an Hard- und Softwarekomponenten zur Verfügung. Das Messsystem kann dank seines modularen Aufbaus an verschiedenen Messaufgaben und individuelle Anforderungen an Automatisierung, Messkomfort und Genauigkeit angepasst werden. Auf unseren Prüfanlagen können verschiedene Sensortechnologien integriert werden. Für höchste Bedienfreundlichkeit werden die alle Sensoren über eine Software angesteuert.

Flexible Allround-Messlösung

Der kompakte und bedienerfreundliche OCT System explorer ist ein Komplettpaket für die präzise Messung und Analyse von Oberflächen. Das flexible Messgerät ist sowohl für den wirtschaftlichen Einsatz im Labor als auch für die automatisierte Qualitätssicherung in der Produktionsumgebung geeignet. Es liefert zuverlässige 3D-Messwerte schnell und unkompliziert in nur wenigen Funktionsschritten.



14.4. Vertrauen durch Kooperation

Namhafte Unternehmen aus der Uhrenindustrie sowie aus der Auto-Zuliefer-Industrie haben bereits das Verfahren der Lichtlaufzeitmessung für die Qualitätskontrolle im industriellen Einsatz. Die Ingenieure von innovation florin arbeiten als Entwicklungspartner der Hersteller, um ein Unternehmen technologisch weiterzuentwickeln und um ihm zu helfen, auch anspruchsvolle Messaufgaben zu lösen. Die Produktionsbereiche und Projekte, in denen innovation florin Systeme eingesetzt werden, zeichnen sich durch komplexe Rahmenbedingungen und kontinuierliche Entwicklungsprozesse aus.

innovation florin setzt auf Fachwissen, auf fundiertes Anwendungswissen und auf eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit starken Partnern und kompetenten Kunden.



Wir machen das Engineering für komplette Maschinen nach dem OCT Prinzip für die Industrie oder für das Labor und führen nach Bedarf auch Messungen im Kundenauftrag aus. Unsere Anlagen werden dem Kunden schlüsselfertig übergeben und durch unseren kompetenten Service betreut.

\\QNAP-FLOIR@SUNRISE.CH\10_floir@sunrise.ch\Marketing\Technische
aufgeteilt\Sammelbericht_190817CF_Kopie.docx

Berichte\nicht

freigegebene

Technische

Berichte\Sammelbericht\Sammelbericht

in

Dossies