

IOSB



visit

[Oberflächenprüfung]

Fraunhofer

Essay: Automatische
Serienprüfung

CCT Sensor

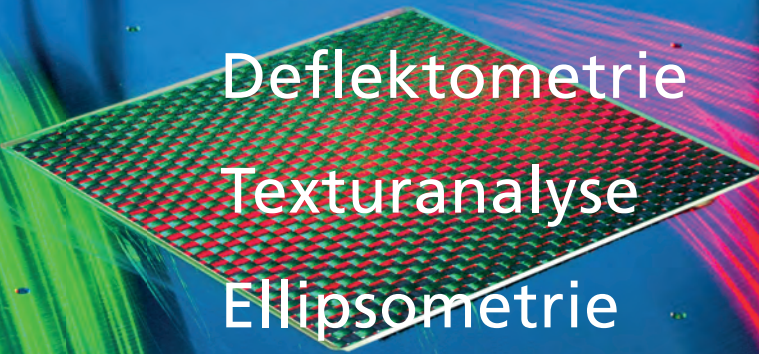
Deflektometrie

Texturanalyse

Ellipsometrie

Materialeigenschaften von
Oberflächen

Reflexionsmessung mit der
BRDF-Anlage



Impressum

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer

Redaktion
Sibylle Wirth

Layout und graphische Bearbeitung
Ellen Simon

Druck
E&B engelhardt und bauer
Karlsruhe

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB

Fraunhoferstr. 1
76131 Karlsruhe
Telefon +49 721 6091-300
Fax +49 721 6091-413
presse@iosb.fraunhofer.de

© Fraunhofer IOSB
Karlsruhe 2014

ein Institut der Fraunhofer-Gesellschaft
zur Förderung der angewandten
Forschung e. V. München

15. Jahrgang
ISSN 1616-8240

Bildquellen:

Deckblatt, Personen Fotos
Manfred Zentsch,
indigo Werbefotografie

Bilder Seite 4 + 5
Carl Zeiss OIM GmbH

Bilder Seite 14
Rainer Sturm_pixelio

Alle anderen Abbildungen:
© Fraunhofer IOSB

Nachdruck, auch auszugsweise,
nur mit vollständiger Quellenangabe und
nach Rücksprache mit der Redaktion.

Belegexemplare werden erbeten.

INHALT

Essay

- Seite 4 **Automatische Serienprüfung von dekorativen oder funktionellen Oberflächen – ein Weg zu mehr Produktqualität und Produktionseffizienz**
Rolf Beck

Themen

- Seite 6 **CCT Sensor – schnelle 3D-Messung in der Produktionsstraße**
Miro Taphanel
- Seite 8 **Deflektometrie zur Inspektion spiegelnd reflektierender Oberflächen**
Stefan Werling
- Seite 10 **Texturanalyse**
Markus Vogelbacher
- Seite 12 **Ellipsometrie
Sehr dünne Schichten präzise vermessen**
Christian Negara
- Seite 14 **Das Licht macht sie unverwechselbar:
Optische Informationen aus Oberflächen**
Henning Schulte, Robin Gruna
- Seite 15 **Reflexionsmessung mit der BRDF-Anlage**
Alexander Schwarz, Martina Richter

Liebe Freunde des IOSB,

»Der Kunde ist König« – und für den Kunden rücken Design- und Ästhetikaspekte der von ihm erworbenen Produkte immer mehr in den Vordergrund. Ein Beispiel hierfür ist die Automobilindustrie, in der das ästhetische Erscheinungsbild eines Automobils immer sensibler wahrgenommen wird. Daher ist es notwendig, die Oberflächenqualität kontinuierlich im Produktionsprozess über die verschiedenen Prozessschritte hinweg zu prüfen. Dies gilt auch für viele anderen Branchen, beispielsweise bei der Herstellung von »weißer Ware« oder Unterhaltungselektronik.

Der Gastbeitrag der Firma Zeiss OIM in diesem visIT verdeutlicht eindringlich die Notwendigkeit zur Oberflächenprüfung aus Sicht der Industrie. Die in den hierauf folgenden Beiträgen beschriebenen Lösungsansätze des Geschäftsfeldes »Inspektion und Sichtprüfung« behandeln Antworten auf die von Zeiss OIM formulierten Fragestellungen.

Der erste Beitrag stellt einen vom Fraunhofer IOSB völlig neu konzipierten und umgesetzten 3D-Sensor vor, der auf dem konfokalen Messprinzip beruht und Oberflächen zugleich schnell und genau vermessen kann.

Der zweite Beitrag beschäftigt sich mit der automatischen Prüfung spiegelnder Oberflächen mittels Deflektometrie – ein Problem, an dem sich die Experten der Sichtprüfung bisher die Zähne ausgebissen haben.

Ein wesentlicher Aspekt für die Wahrnehmung einer Oberfläche durch den Menschen ist die Textur. Der Beitrag stellt neueste Forschungsergebnisse in diesem Bereich vor.

Viele Oberflächen werden beschichtet, um die gewünschten Oberflächeneigenschaften zu erhalten. In diesem Kontext werden neue Ansätze zur Beschichtungsprüfung mittels Echtzeit-Ellipsometrie an gekrümmten Oberflächen vorgestellt.

Zwei kürzere Beiträge beschäftigen sich mit der Gewinnung der Material- und Reflektanzeigenschaften von Oberflächen und schließen somit die letzten Lücken im Prüfprozess.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre und sind gerne bereit, auf Ihre Fragen zur Oberflächeninspektion die passenden Prüfsysteme zu konzipieren. Und falls Sie es wünschen, realisieren wir dieses auch für Sie.

Karlsruhe, im April 2014



Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer

Editorial



Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer

AUTOMATISCHE SERIENPRÜFUNG FLÄCHEN – EIN WEG ZU HÖHERER

Das Qualitätsniveau von Oberflächen wird zunehmend zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor sowohl bei funktionellen als auch bei dekorativen Oberflächen. Während bei funktionellen Oberflächen Megatrends wie Energie-Effizienz und Zuverlässigkeit die Treiber für immer höhere Anforderungen an Oberflächen-Mikrostrukturen sind, ist das perfekte Erscheinungsbild von dekorativen Oberflächen ein wesentlicher Faktor für die Preisbereitschaft von Endkunden insbesondere bei hochwertigen und hochpreisigen Produkten. Gleichzeitig besteht ein permanenter Druck auf die Herstellkosten im scharfen internationalen Wettbewerb.

WAS IST DIE FOLGE DAVON?

Produktionslinien werden – wie bei Maß- und Formanforderungen längst üblich – immer näher an der Grenze des »blind Beherrschbaren« betrieben und die Lieferqualität wird durch eine 100 Prozent Serienprüfung der gefertigten Teile sichergestellt. Prozesse mit mehreren Prozent N.i.O.-Anteil

vor der Serienprüfung gelten dabei noch als »kontrolliert beherrscht« und »wirtschaftlich sinnvoll«.

Die Serienprüfung wird heute überwiegend visuell als Sichtprüfung durchgeführt, mit allen mit dem Faktor Mensch verbundenen Vor- aber auch Nachteilen. Auf der Vorteilsseite stehen vor allem Flexibilität, Umgang mit Unbekanntem und (bei akzeptabler Bauteilgröße) ein höchst variables Bauteilhandling vom Griff in die Kiste bis zu komplexer Ablage in Form-Verpackungen. Die Nachteile wie hohe Verfügbarkeitskosten, schlechte Objektivität, schwierig zu gewährleistende »Prüfmittelfähigkeit« und aufwändiges und deshalb meist geringes Prüfergebnis-Feedback zur systematischen Vorprozess-Verbesserung werden jedoch immer bedeutender. Gleichzeitig sind in den letzten Jahren die Möglichkeiten durch Kamera- und Rechner- und damit Hand in Hand auch von Bildauswertungs-Software immens gestiegen. Immer mehr Produktions- und Qualitätsverantwortliche prüfen daher die Automatisierbarkeit ihrer Sicht-



Dipl.-Ing. Rolf Beck
Geschäftsführer

Carl Zeiss OIM GmbH
Daimlerstrasse 19
73117 Wangen
Telefon +49 7161 5653 -00
info@zeiss-oim.de

www.zeiss.de/oim



VON DEKORATIVEN ODER FUNKTIONELLEN OBER- PRODUKTQUALITÄT UND PRODUKTIONSEFFIZIENZ



prüfaufgaben. Damit wiederholt sich bei der Oberflächenprüfung konsequent, was bei Maß-, Form- und Lageprüfung schon vor Jahren geschah und heute längst zum Standard geworden ist: Produktionsverantwortliche streben nach einer in ihren Wirkzusammenhängen verstandenen, transparenten Produktionskette mit integriertem Qualitätsmanagementsystem.

WO STECKEN DIE RISIKEN UND SCHWIERIGKEITEN?

Während bei den Maß- und Formprüfungen internationale Standards zur Definition der Prüfungen »selbstverständlich« vorhanden sind, mangelt es bei der Definition von Oberflächenqualität an solchen allgemein anerkannten und verbindlichen Standards. Die Folge davon ist, dass die Ermittlung der Prüfspezifikation wesentlich aufwändiger, aber auch wesentlich erfolgsentscheidender ist und zudem in der Regel projektspezifisch erledigt werden muss. Die Konzeption des Prüfprozesses geschieht heute üblicherweise ebenfalls projektspezifisch, entweder als Einzellösung oder als Duplikat einer weitgehend identischen Aufgabenstellung.

WELCHE ANSÄTZE VERFOLGT DIE FIRMA ZEISS?

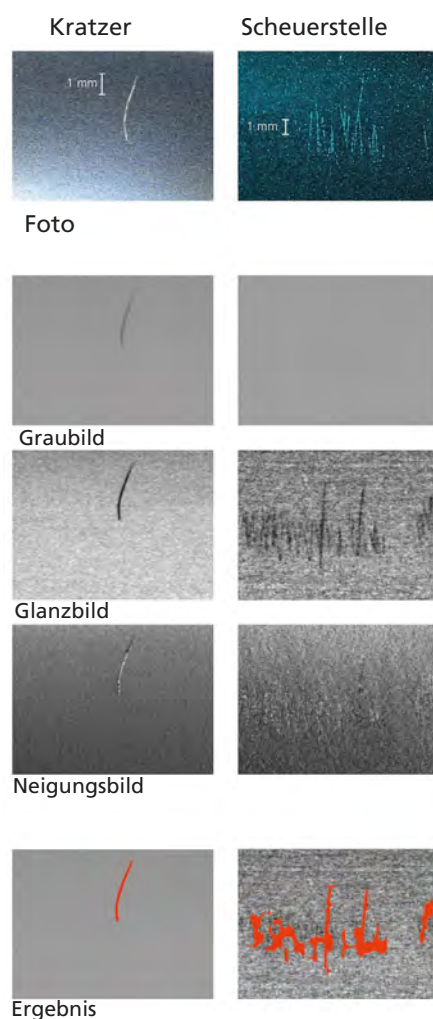
Vor der Entscheidung von ZEISS, automatische Prüfsysteme für die Serienprüfung anzubieten, wurde innerhalb eines Forschungsvorhabens detailliert untersucht, wie Sichtprüfer zu ihrer Urteilsfindung kommen. Jeder, der selbst einmal eine Oberfläche durch »Sichtprüfung« beurteilt hat wird bestätigen, dass »Drehen und Wenden« von Teil oder Kopf und die Nutzung verschiedener Hintergrundbeleuchtungen intuitiv eingesetzt werden, um neben Farbeindrücken vor allem auch Glanz oder Mikrotopologien zu bewerten.

Während einfache Bildverarbeitungssysteme üblicherweise eine feste Kamerablickrichtung und eine fixe Beleuchtungsverteilung aufweisen, und somit dieses »Drehen und Wenden« nicht abbilden können, hat sich ZEISS für das aufwändigere Verfahren der phasenschiebenden Deflektometrie mit möglichst großer Beleuchtungs-Umschließung entschieden. Damit ist diese Lösung bereits bzgl. der Bildaufnahme sehr viel näher am Vorbild Mensch und kann in einer Messung sowohl Farbe als auch Glanz und lokale Topologien für jeden einzelnen Bildpunkt erfassen. Die eigentliche Bildverarbeitung wird dabei durch eine geschlossene Prüfprozess-Entwicklungs-Kette ergänzt. Statt wie verbreitet üblich Parameter nur anhand einzelner Bilder anzupassen, beinhaltet der Ablauf die Optimierung an statistisch relevanten Mengen von Teilen.

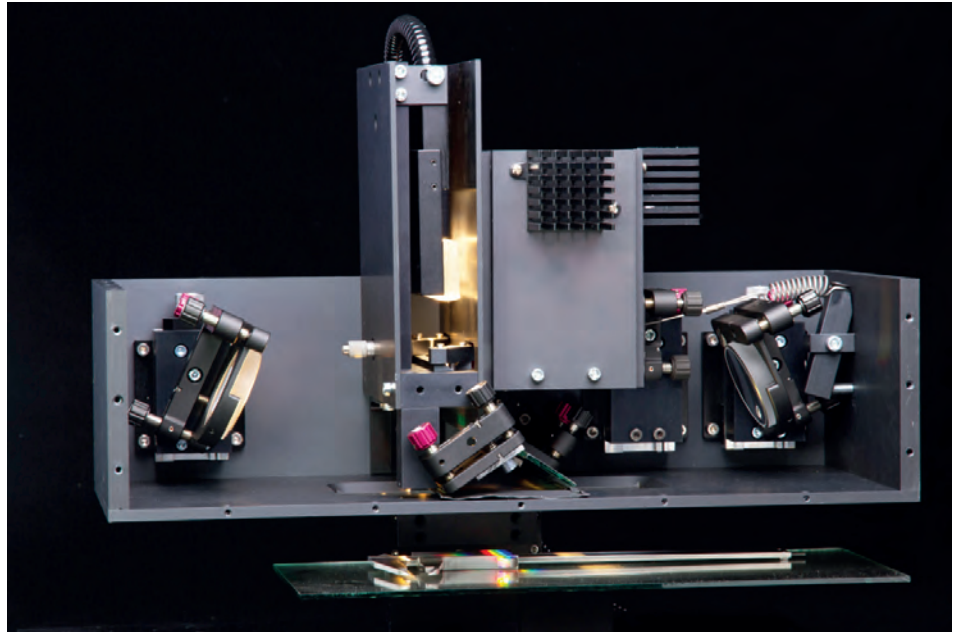
AUSBLICK

Mit dem Ansatz, die für den Sichtprüfprozess relevanten und physikalisch nachvollziehbaren Informationen als Eingangsgröße für die Bildverarbeitung zu gewinnen, ist der erste Schritt getan, um Qualitätsdefinitionen von Oberflächen standardisieren zu

können. Unabhängig von Prüfanordnung und Teilegeometrie erschließt dieser Ansatz neue Möglichkeiten, die Abhängigkeit von heutigen Einzelprojektlösungen Stück für Stück zu verlassen und zu einer ähnlichen Einsatzflexibilität zu gelangen, wie sie heute im Bereich der Maß- und Formprüfung bereits üblich ist.



Die Matrix zeigt typische Oberflächenfehler im Graubild, Glanzbild und Neigungsbild sowie das zugehörige Auswertergebnis. Eine Scheuerstelle, die im Graubild nicht sichtbar ist, tritt im Glanzbild deutlich hervor. Für die Bewertung einer Beule oder einer Schlagstelle ist das Neigungsbild am besten geeignet. Alle Bildkanäle können parallel in die Bildverarbeitung eingebunden werden. Dazu nutzt ZEISS eine eigens entwickelte Software, welche die Möglichkeiten der Multikanalbilder voll ausschöpft.



Die Qualitätskontrolle auf Basis von 3D-Daten ist in den Laboren des produzierenden Gewerbes weit verbreitet. Hingegen ist die 3D-Messung direkt in der Produktionsstraße, als Umsetzung einer 100 Prozent Qualitätskontrolle, selten. Ein Großteil der verfügbaren optischen Sensoren kann bei den heutigen hohen Produktionsgeschwindigkeiten nicht schritthalten. Für diese Anforderungen wurde am Fraunhofer IOSB das Messprinzip des chromatisch konfokalen Triangulationssensors entwickelt.

Wesentliche Eigenschaften sind eine hohe Messgeschwindigkeit bei gleichzeitiger geringer Messunsicherheit und eine vielseitige Anwendbarkeit auf sowohl spiegelnden als auch matten Oberflächen. Anwendungen die besonders profitieren können sind z. B. großflächige Prüfaufgaben an Karosseriebauteilen oder die inline Prüfung von metallischen Dichtflächen auf Maßhaltigkeit, Rauigkeit und Defekte im einstelligen μm -Bereich (CCT Sensor: chromatic confocal triangulation sensor).

WIE SCHNELL IST SCHNELL GENUG?

Vier wesentliche Faktoren bestimmen in einer optischen 3D-Prüfung die Pixeldatenrate:

1. Zeit pro Prüfaufgabe
2. Zu prüfende Oberfläche
3. Örtliche Auflösung zur Erfüllung der Messmittelfähigkeit
4. Effektivität des 3D-Messprinzips (Verhältnis Pixel zu 3D-Messungspunkte).

Das Problem der hohen Datenrate resultiert aus einer multiplikativen Verknüpfung dieser Faktoren, wobei unglücklicherweise die flächigen Größen wie Prüfoberfläche und örtliche Auflösung quadratisch eingehen. Lautet die Anforderung z. B. doppelt so schnell und doppelte örtliche Auflösung, dann resultiert eine achtfach erhöhte Datenrate. Von diesem Standpunkt aus betrachtet, wird es immer zu langsamere Sensoren geben. Die Auflistung zeigt aber auch die wesentlichen Stellschrauben, um schnellste 3D-Messtechnik zu ermöglichen.



Dipl.-Ing. Miro Taphanel

Sichtprüfsysteme (SPR)
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-389
miro.taphanel@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de/SPR

KONTAKT

SUNG IN DER PRODUKTIONSSTRASSE

Zum einen müssen höchste Pixelraten in Echtzeit gehandhabt werden können, zum anderen gilt es, die Anzahl notwendiger Pixelmessungen pro 3D-Messwert gering zu halten.

AM GESCHWINDIGKEITSLIMIT MESSEN

Der CCT Sensor kodiert unterschiedliche Prüfhöhen mittels unterschiedlicher Wellenlängen. Auf dem Messobjekt erscheint dadurch ein charakteristisches Regenbogenmuster. Die Sensoroptik hat die Eigenschaft, dass nur Licht der Wellenlänge auf den Kamerasensor trifft, die auch auf der Oberfläche fokussiert ist. Dadurch wird die Messung der Höhe durch eine Messung der Wellenlänge umgesetzt. Typischerweise wird hierzu ein Spektrometer eingesetzt. Dieses Vorgehen hat jedoch eine stark reduzierte Effektivität des Sensorprinzips zur Folge. Um z. B. an einer örtlichen Position die Höhe zu bestimmen, müssten bei der Verwendung eines Spektrometers ungefähr 1000 Pixel ausgelesen werden. Um das einhergehende hohe Datenaufkommen zu vermeiden, wird beim CCT Sensor auf ein Spektrometer verzichtet und eine multispektrale

Kamera mit sechs Kanälen eingesetzt. Durch eine Optimierung der spektralen Empfindlichkeit der einzelnen Kanäle kann eine geringe Messunsicherheit, bei gleichzeitig geringem Datenaufkommen, realisiert werden. Für eine technische Realisierung kann zudem auf Zeilenkameras zurückgegriffen werden, welche nach aktuellem Stand der Technik bis zu 100.000 Zeilenbilder pro Sekunde liefern. Nach dem Prinzip des CCT Sensors können somit schnellste 3D-Sensoren aufgebaut werden.

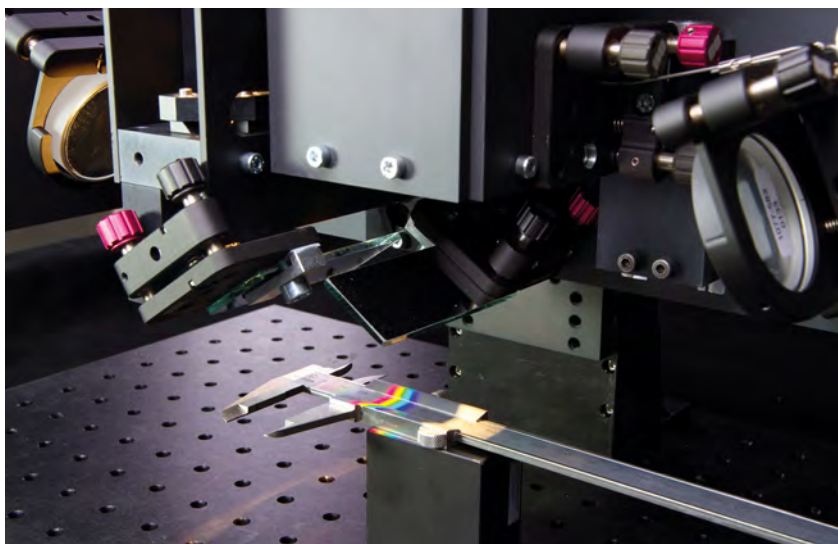
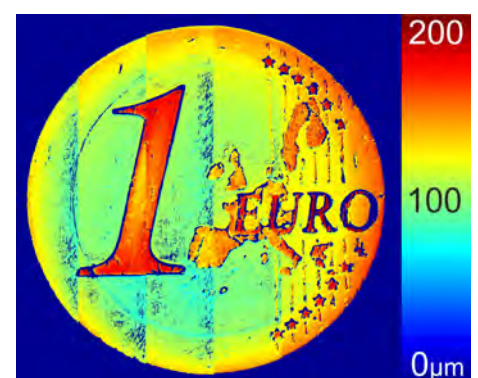
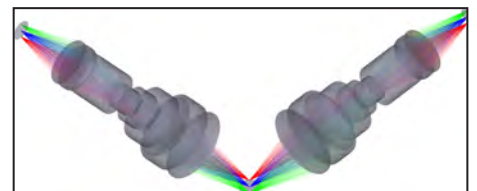
IN DER PRAXIS

Bei dem CCT Sensor handelt es sich um einen zeilenscannenden 3D-Sensor mit z. B. 1000-2000 benachbarten Messpunkten. Eine spiegelsymmetrische konfokale Optik ermöglicht, dass sowohl glänzende als auch matte Oberflächen vermessen werden können. Ein wichtiger Gesichtspunkt für Messungen bei hohen Geschwindigkeiten ist, dass das zur Verfügung stehende Licht bestmöglich genutzt wird. Durch die spiegelsymmetrische Anordnung der Beleuchtungs- und Abbildungsoptik wird die Reflektionsbedingung erfüllt und maximal viel Licht eingesammelt.

Typische technische Daten einer beispielhaften Konfiguration lauten:

- 10 mm Zeilenbreite
- 2,5 mm vertikaler Messbereich
- Messunsicherheit im Nano-/Mikrometer Bereich
- 2.000 Messpunkte pro Zeile
- 50.000 Zeilen pro Sekunde

Durch ein verändertes Optikdesign können diese technischen Eigenschaften an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Das CCT Sensorprinzip hat das Potenzial, die Vorteile der optischen 3D-Messung direkt in der Produktionsstraße umzusetzen. Besonders Prozesse, für die heutige Messtechnik zu langsam ist, werden zukünftig profitieren können.



Literatur:

- [1] Taphanel, M.; Hovestreydt, B.; Beyerer, J.: »Speed-up chromatic sensors by optimized optical filters«, Proc. SPIE Vol 8788. pp. 878805-878805-10 (2013)
- [2] Taphanel, M.; Beyerer, J.: »Fast 3D in-line sensor for specular and diffuse surfaces combining the chromatic confocal and triangulation principle«, Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp. 1072 -1077 (2012)

Für die Inspektion von spiegelnden und teilspiegelnden Oberflächen stellt das Prinzip der Deflektometrie das geeignete Werkzeug dar. Dabei wird die spiegelnde Reflexion der Umgebung (eines Schirms) in der zu prüfenden Oberfläche aufgenommen und ausgewertet.

Deflektometrische Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass prinzipiell eine extrem hohe Höhenauflösung von unter 1 μm möglich ist, wobei für die Bilderfassung nur Standard-Komponenten wie z. B. ein Monitor und eine Industrie-Kamera erforderlich sind. Ein weiterer Vorteil der Deflektometrie besteht darin, dass ihre Empfindlichkeit ähnlich der menschlichen Wahrnehmung ist.

Anwendungsgebiete liegen in allen Branchen, bei denen (teil-)spiegelnde Oberflächen mit hoher geometrischer oder ästhetischer Qualität gefordert sind, z. B. in der Automobilindustrie oder in der optischen Industrie.

SENSORIK

Eine Herausforderung der Deflektometrie liegt darin, dass für einen zu inspizierenden Oberflächenpunkt zwei Voraussetzungen erfüllt sein müssen: Der Punkt muss von der Kamera sichtbar sein, außerdem muss der reflektierte Sichtstrahl den Schirm treffen. Für große Objekte muss daher eine entsprechende Sensorik verwendet werden:

- Ein möglicher Ansatz ist es, die Kamera mit dem Schirm zu einem Sensorkopf zu kombinieren, der z. B. von einem Industrieroboter positioniert wird (Abb. 1 links). Das Prüfobjekt wird aus mehreren Positionen aufgenommen, bis die gesamte Oberfläche erfasst ist.
- Eine Alternative besteht darin, den (idealerweise) gesamten Raum als Schirm zu verwenden. Dies kann z. B. mittels einer CAVE (cave automatic virtual environment, d.h. eines Raumes, bei dem durch Projektionen eine beliebige Umgebung erzeugt werden kann) geschehen (Abb. 1 rechts).



Dr.-Ing. Stefan Werling

Mess-, Regelungs- und
Diagnosesysteme (MRD)
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-316

stefan.werling@iosb.fraunhofer.de

www.iosb.fraunhofer.de/?deflektometrie



Abb. 1: Sensorik für die Deflektometrie: Robotergeführter Sensorkopf (links), Deflektometrie-CAVE (rechts).

SPIEGELND REFLEKTIERENDER OBERFLÄCHEN

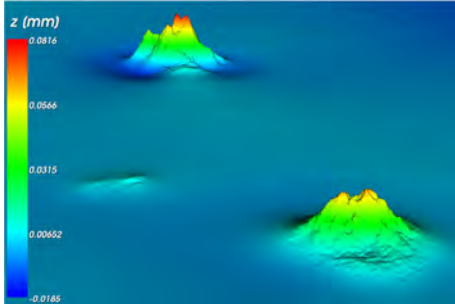


Bild 2: Mittels Oberflächenrekonstruktion detektierte Lack-Pickel.

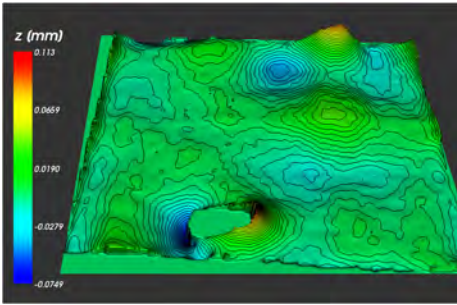


Bild 3: Mittels Rekonstruktion bestimmte Höhenabweichungen auf einem großen Karosserieteil (Abmessungen ca. 1x1 m).

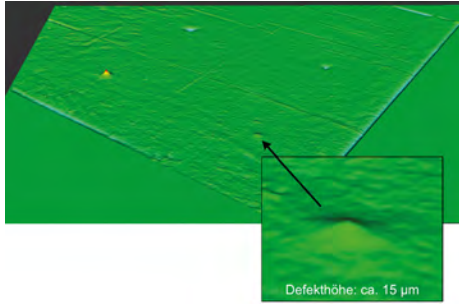


Bild 4: Inspektion eines unlackierten Blechs mittels photometrischen Stereos.

GEOMETRISCHE MESSTECHNIK FÜR OBERFLÄCHEN

Aus deflektometrischen Messdaten lässt sich zusammen mit Zusatzwissen die inspizierte Oberfläche rekonstruieren [1,2]. In den entstehenden Rekonstruktionen sind die geometrischen Eigenschaften der Oberfläche und darauf befindliche Defekte gut zu untersuchen (Abb. 2). Auch kleine Geometrieabweichungen auf großen Flächen können bewertet werden (Abb.3).

AKTUELLE FORSCHUNG

Am IOSB wird momentan an mehreren Fragestellungen zur Deflektometrie gearbeitet:

- Planung von Aufnahmekonstellationen: Die automatische Bestimmung möglichst weniger Sensorpositionen bei großen Objekten ist eine aufwendige Optimierungsaufgabe. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit der Anwendung probabilistischer Planungsverfahren für diese Aufgabe (siehe z. B. [3]).
- Thermische Deflektometrie: Spiegelnde Reflektanz lässt sich auch auf rauen Oberflächen erzeugen, wenn Licht mit größerer Wellenlänge (z. B. im thermischen Infrarot) verwendet wird. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich

mit der Erzeugung thermischer Muster und der signalangepassten Auswertung der erfassten Daten (siehe z. B. [4,5]).

- Klassifikation von Oberflächendefekten: Eine in der Praxis wichtige Fragestellung ist die Zuordnung von detektierten Unregelmäßigkeiten zu Qualitätsklassen. Gerade bei Prüfaufgaben, bei denen die menschliche Wahrnehmung das Maß der Dinge ist, ist diese Objektivierung herausfordernd. Lösungsmöglichkeiten ergeben sich etwa mit signalangepassten Wavelet-Filtern (siehe z. B. [6]).
- Alternative Rekonstruktionsverfahren: Als Ergänzung zu bekannten Verfahren der Oberflächenrekonstruktion wird an Verfahren auf der Grundlage des Ansatzes »Voxel Carving« geforscht (siehe z. B. [7]). Ziel ist es, die Voraussetzungen zur deflektometrischen Rekonstruktion zu reduzieren, so dass z.B. die Bilderfassung auch bei bewegtem Sensorkopf erfolgen kann.
- Kombination mit photometrischem Stereo: Eine weitere Möglichkeit für wenig spiegelnde Oberflächen besteht darin, Deflektometrie mit photometrischem Stereo zu kombinieren. Da die beiden Verfahren signaltheoretisch ähnlich sind, lassen sich photo-

metrisch und deflektometrisch gewonnene Daten in ähnlicher Weise auswerten. Damit sind z. B. auch kleine Defekte auf unlackierten Blechen erkennbar (Abb. 4).

Literatur:

[1] Werling, S.: Deflektometrie zur automatischen Sichtprüfung und Rekonstruktion spiegelnder Oberflächen. Dissertation, KIT, 2010
 [2] Werling, S.; Mai, M.; Heizmann, M.; Beyerer, J.: Inspection of Specular and Partially Specular Surfaces. In: Metrology and Measurement Systems 16 Nr. 3, S. 415-431, Polish Academy of Sciences, 2009
 [3] Roschani, M.; Beyerer, J.: Planungsbasierte Oberflächeninspektion in der Deflektometrie bei gegebener Referenzfläche mittels Greedy-Optimierung. In: Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt (Hrsg.), Tagungsband des XXVI. Messtechnischen Symposiums, Shaker, 2012
 [4] Beyerer, J.; Heizmann, M.; Werling, S.: Konzept zur Erzeugung eines räumlich und/oder zeitlich veränderbaren thermischen Strahlungsmusters. DE 10 2009 053 510 A1, Deutsches Patent- und Markenamt, Anmeldetag: 16.11.2009, Offenlegungstag: 19.05.2011, Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 03.05.2012
 [5] Höfer, S.; Werling, S.; Beyerer, J.: Verfahren zur Erzeugung dynamischer Wärmemuster für die Anwendung in der photometrischrodeflektometrie. In: Tagungsband des XXVI. Messtechnischen Symposiums, Shaker, 2012
 [6] Le, T.-T.; Ziebarth, M.; Greiner, T.; Heizmann, M.: Inspection of Specular Surfaces using Optimized M-channel Wavelets. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP 2013
 [7] Pak, A.: Reconstruction of specular surfaces via probabilistic voxel carving. In: Proceedings of SPIE Volume 8791, Videometrics, Range Imaging, and Applications XII; and Automated Visual Inspection, Paper No. 87911B-1, 2013



Abb. 1: Beispiele für strukturellen (links), strukturell-statistischen (Mitte) und statistischen (rechts) Texturtyp.

Texturen begegnen uns überall im täglichen Leben. Sei es das Muster eines Teppichs, die Holzmaserung eines Tisches oder die Beschaffenheit unserer Kleidung. Jedes Objekt besitzt eine Textur und damit ist sie neben der Farbe und der Form eine der wichtigsten Objekteigenschaften. Daher wird deutlich, dass die Beurteilung der Textur auch einen wichtigen Bestandteil der Qualitätsprüfung – z. B. für die industrielle Produktion – darstellt.

TEXTUR: WAS BEDEUTET DAS?

Obwohl der Begriff Textur umgangssprachlich geläufig ist, existiert keine allgemeingültige Definition. Grundsätzlich kann man diese als zweidimensional ausgeprägte Struktur, die eine gewisse deterministische oder statistische Regelmäßigkeit aufweist, bezeichnen. Je nachdem, wie viel Wissen über die Textur vorliegt, können grundsätzlich drei Texturtypen unterschieden werden, deren Grenzen fließend ineinander übergehen. Beim strukturellen Texturtyp (Abb. 1) liegt ein eindeutiges Grundprimitiv und Anordnungsschema vor. Diese unterliegen im Bereich des strukturell-statistischen Texturtyps (Abb. 1) immer mehr stochastischen

Fluktuationen, bis letztendlich im Bereich der statistischen Texturen (Abb. 1) kein Grundprimitiv mehr zu erkennen ist.

AUSWERTEVERFAHREN FÜR ALLE TEXTURTYPEN

Je nachdem, welcher Texturtyp vorliegt, lassen sich unterschiedliche Auswerteverfahren sinnvoll anwenden. Am Fraunhofer IOSB existiert dazu ein Grundmethodensatz und das Wissen, welche Verfahren für die einzelnen Texturtypen geeignet sind. Die Aufgabenstellungen können in diesem Zusammenhang sehr unterschiedlich sein: Sowohl die Klassifikation, d. h. das Zuordnen eines Objektes anhand seiner Textur, die Segmentierung, d. h. das Zerlegen eines Bildes in Teilbereiche anhand der Textur, als auch die Detektion von Defekten, d. h. das Erkennen von signifikanten Abweichungen der Regelmäßigkeit der Textur, können relevant für eine Inspektion sein. Dem Anwendungsgebiet der Texturanalyse sind dabei keine Grenzen gesetzt. Sei es bei der Lackprüfung, der Beurteilung von Textilien oder Dekorflächen und vielem mehr, die Textur spielt in den meisten Fällen eine wichtige Rolle.



Dipl.-Ing. Markus Vogelbacher

Mess-, Regelungs- und
Diagnosesysteme (MRD)
Fraunhofer IOSB

Telefon +49 721 6091-624

markus.vogelbacher@iosb.fraunhofer.de

www.iosb.fraunhofer.de

KONTAKT

LÖSUNGEN AUCH FÜR SPEZIALFÄLLE

Da die Texturanalyse am Fraunhofer IOSB ein aktuelles Forschungsthema ist, können auch für spezielle Aufgabenstellungen, für die keine Standardmethoden verfügbar sind, Lösungen in Form von Methoden und Algorithmen erarbeitet werden. Dies erfolgt entweder durch die Anpassung bewährter Standardverfahren oder durch Entwicklung eigener neuer Methoden. In einer aktuellen Forschungsarbeit wird außerdem speziell der schwierige Bereich strukturell-statistischer Texturen bearbeitet, mit dem Ziel eine geeignete mathematische Beschreibung zu finden, die sowohl den strukturellen als auch den statistischen Anteil dieses Texturtyps berücksichtigt.

OPTIMIERTE BILDAUFNAHME FÜR EIN OPTIMALES ERGEBNIS

Vor der Texturanalyse steht immer die Bildaufnahme, die in vielen Fällen die Auswertung deutlich erleichtern kann. Auch in diesem Bereich besteht am Fraunhofer IOSB eine breite Kompetenz-

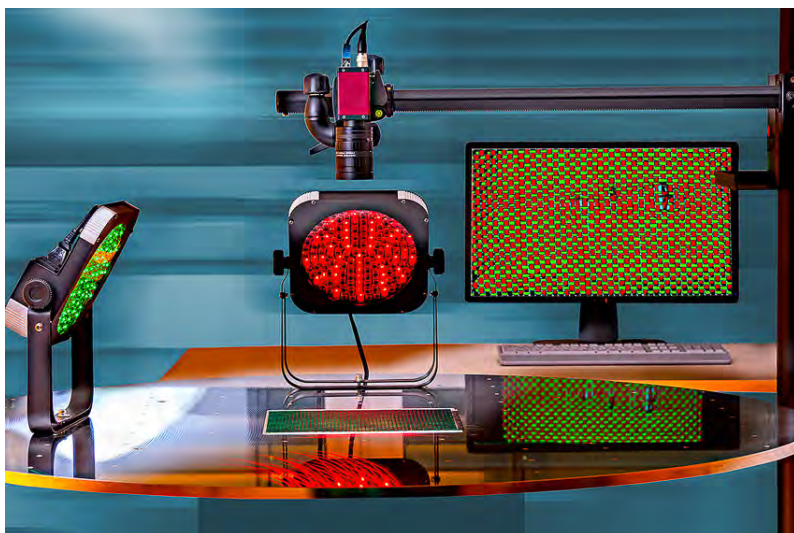


Abb. 2: Texturlabor Beispielaufbau.

basis. Im Texturlabor (Abb. 2) können neben unterschiedlichen Beleuchtungen und Beleuchtungsstrategien auch unterschiedliche Kamerawinkel und -positionen untersucht werden. Damit wird es in manchen Fällen möglich, schon durch geschickte Kamera-Beleuchtungskonstellationen die spätere Texturanalyse erheblich zu vereinfachen bzw. sogar relevante Details sichtbar zu machen, die bei normaler Betrachtung nicht auftreten. Zum Beispiel können mit Hilfe unterschiedlicher Beleuchtungsrichtungen die Fadenrichtungen einer Webstruktur einfach segmentiert werden (Abb. 3) [1]. Letztendlich führt meist die Kombination aus geeigneter Beleuchtungsstrategie und angepassten Auswerteverfahren zum optimalen Ergebnis.

ANWENDUNGSBEISPIEL: BEURTEILUNG LACKIERTER OBJEKTE MIT HILFE DER OBERFLÄCHENTEXTUR

Ein Beispiel für aktuelle Arbeiten ist die Anwendung der Texturanalyse auf deflektometrisch erzeugten Daten zur Beurteilung von lackierten Oberflächen. Die Untersuchung der Welligkeit dieser

Oberfläche, der so genannten Orangenhaut, und die Ableitung industrietauglicher Kenngrößen, die die menschliche Wahrnehmung widerspiegeln sollen, stehen dabei im Fokus der aktuellen Forschung am IOSB (Abb. 4).

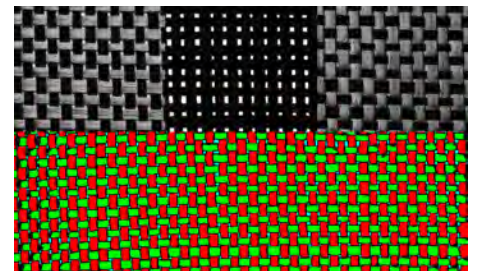


Abb. 3: Beleuchtungsserie (oben) zur Segmentierung der Bestandteile einer Webstruktur (unten).

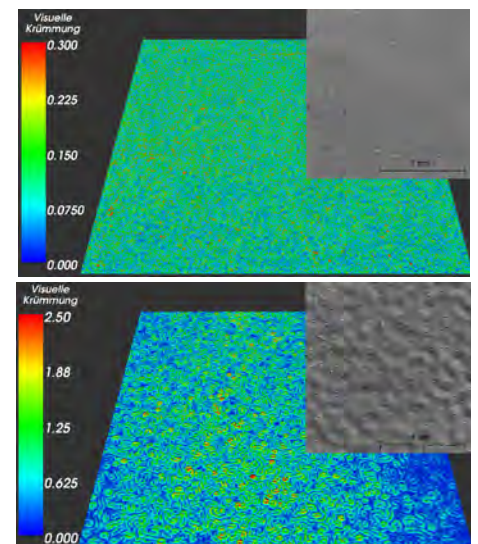
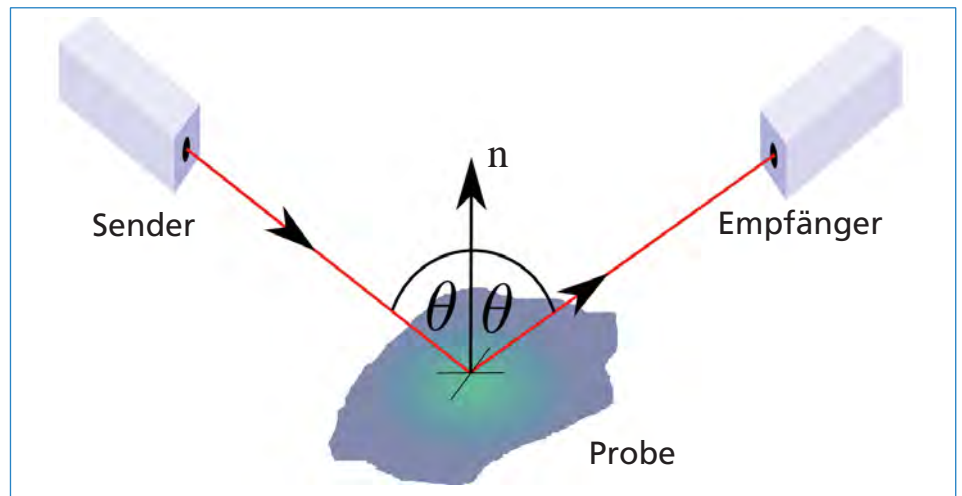


Abb. 4: Auswertung der Krümmung eines lackierten Bleches mit geringer (oben) und starker (unten) Orangenhaut.

Literatur:

[1] Vogelbacher, M.; Werling, S. und Ziebarth, M.: Beurteilung textiler Flächenhalbzeuge mittels variabler Beleuchtung. In Forum Bildverarbeitung, Seiten 193–204, 2012.



ELLIPSOMETRIE

Mit zunehmender Miniaturisierung in mechanischen, optischen und elektrischen Systemen entsteht die Notwendigkeit präzise Messgeräte zur Steuerung von Produktionsprozessen sowie zur Qualitätssicherung zur Verfügung zu stellen. Die Ellipsometrie ist ein bewährtes Verfahren zur Vermessung von dünnen Schichten. Aufgrund von Einschränkungen der prüfbareren Oberflächen sind vorhandene Ellipsometrie-geräte in vielen Anwendungsbereichen jedoch nicht einsetzbar.

Regelung des Produktionsprozesses eine genaue Vermessung des Schichtaufbaus notwendig. Dabei wird nicht nur die Objektgeometrie sondern auch die Beschichtung vermessen, die aus dutzenden einzelner Schichten aufgebaut sein kann. Auch bei alltäglichen Gegenständen treten Mikro- oder Nanobeschichtungen auf, wie die Antikondensatlackierung bei Fahrzeugscheinwerfern oder die Antihafbeschichtung im Sanitärbereich.

ANWENDUNGSBEREICHE DER DÜNNSCHICHTTECHNOLOGIE

Die präzise Vermessung und Charakterisierung dünner Schichten im Mikro- oder Nanometerbereich ist in vielen Anwendungsbereichen notwendig. Sowohl die Materialidentifikation als auch der Schichtaufbau können dabei von Interesse sein. In der Halbleitertechnologie wird bei jedem Abscheiden einer neuen Schicht oder beim Materialabtrag der Schichtaufbau messtechnisch überwacht. Bei der Herstellung optischer Filter und Linsen ist bei der

ELLIPSOMETRIE IN DER ANWENDUNG

Ein Verfahren, das sich besonders in der Halbleitertechnik etabliert hat ist die Ellipsometrie. Bei diesem berührungslosen und zerstörungsfreien optischen Messverfahren wird durch Reflexion von Licht an einer Probe die Polarisationsänderung des einfallenden und reflektierten Strahls gemessen.

Mit diesem modellgetriebenen Messverfahren können Schichtdicken von wenigen Millimetern bis hin zu einzelnen Atomlagen detektiert werden.



Dipl.-Inform. Christian Negara

Sichtprüfsysteme (SPR)
Fraunhofer IOSB

Telefon +49 721 6091-567
christian.negara@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de/SPR

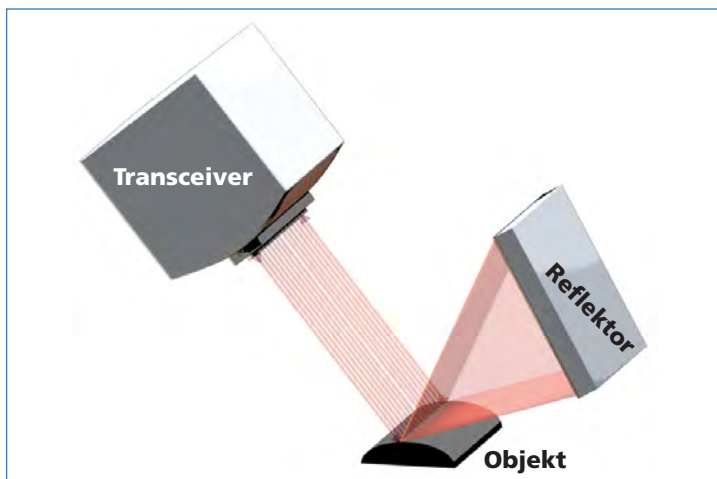
KONTAKT

VERMESSEN

Ähnlich wie bei der Interferometrie werden Phasenbeziehungen zwischen Lichtstrahlen gemessen um eine Auflösung zu erreichen, die weit unterhalb der Wellenlänge des Lichts liegt. Beim gewöhnlichen ellipsometrischen Aufbau werden die Winkel der Lichtquelle und des Sensors bzgl. der Oberflächennormalen festgelegt, so dass die Reflexionsbedingung erfüllt wird. Daher kann mit diesem Aufbau Ellipsometrie nur bei planaren Flächen eingesetzt werden. Erweiterungen zur Vermessung von Oberflächen mit kleinen Neigungsänderungen [1] sind wiederum für bildgebende Ellipsometrie ungeeignet [2].

RETRO-REFLEX ELLIPSOMETRIE

Das patentierte Retroreflex-Prinzip, das in der Abteilung SPR am Fraunhofer IOSB entwickelt wurde, umgeht die genannten Nachteile und erweitert die Einsatzmöglichkeiten der Ellipsometrie in der Sichtprüfung. Ein Laserstrahl mit genau definierter Polarisation trifft dabei nach der Reflexion an der Probenoberfläche auf eine Retroreflexfolie. Der reflektierte Lichtstrahl gelangt von dort wieder auf dem gleichen Weg zurück zur Lichtquelle.



In der kombinierten Sendee- und Empfangseinheit werden der Polarisationszustand des zurückreflektierten Lichts gemessen und daraus die ellipsometrischen Kenngrößen bestimmt.

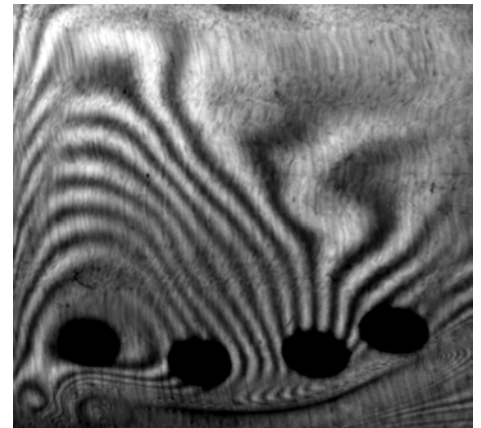
An die Oberflächentopologie ist nur die Einschränkung geknüpft, dass die Retroreflexfolie vom Laserstrahl getroffen wird, wodurch Änderungen des Einfallswinkels von bis zu 30° möglich werden.

Das Messprinzip kann durch rotierende Spiegel zu einem scannenden Verfahren erweitert werden und im Durchlauf erhält man ein Abbild der orts aufgelösten ellipsometrischen Messungen. Folgende Erweiterungen der Retro-Reflex Ellipsometrie werden in diesem Projekt genauer untersucht:

- Durch Anpassung der Kohärenzlänge an die zu bestimmende Schichtdicke soll die Interpretierbarkeit der Daten durch Eliminierung von Störeinflüssen erhöht werden.
- Analog zur Zwei-Wellenlängen-Interferometrie soll durch Verwendung von Lasern mit einer kleinen Wellenlängendifferenz die detektier-

bare Schichtdicke vom Nanometer bis in den Mikrometerbereich erweitert werden.

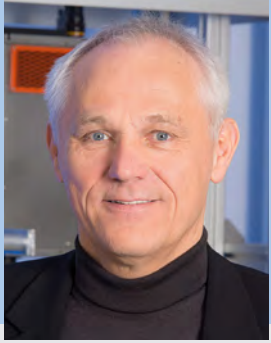
- Die Einsatzmöglichkeiten einer Weißlichtquelle als Erweiterung zur spektroskopischen Ellipsometrie sollen untersucht werden.
- Die Kombination mit anderen Topographiemessverfahren wie der Deflektometrie soll eine robustere Bestimmung der Modellparameter ermöglichen.



Literatur:

- [1] Neuschaefer-Rube, U.: Optische Oberflächenmesstechnik für Topographie und Material. Habilitationsschrift, Universität Gesamthochschule Kassel, 2002, S. 100-101
[2] http://www.nanofilm.de/thin-film-characterization-imaging-ellipsometry/nanofilm_ep4

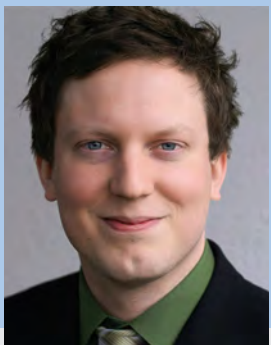
Themen



Dipl.-Ing. Henning Schulte

Sichtprüfsysteme (SPR)
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-275
henning.schulte@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de/SPR



Dipl.-Inform. Robin Gruna

Sichtprüfsysteme (SPR)
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-263
robin.gruna@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de/SPR

DAS LICHT MACHT SIE UNVERWECHSELBAR: OPTISCHE INFORMATIONEN AUS OBERFLÄCHEN



Im täglichen Leben identifizieren wir Produkte oder beurteilen ihre Eigenschaften vielfach anhand der visuellen Erscheinung ihrer Oberfläche. Form, Textur und Reflexion sind oft so spezifisch, dass eine Klassifizierung aufgrund dieser optischen Merkmale möglich ist. Diese optischen Merkmale werden auch genutzt, um Oberflächenfehler und -defekte zu erkennen, auch wenn diese nur aus wenigen Blickrichtungen sichtbar sind. Für eine automatisierte Erkennung werden ihre Eigenschaften durch bildgebende, optische Systeme erfasst und algorithmisch ausgewertet. Weit verbreitet für die Detektion von Fehlern und Defekten sind herkömmliche Grau- oder RGB-Kameras. Zunehmend spielt auch Sensorik, in den für Menschen nicht sichtbaren Licht-Wellenlängenbereichen wie UV und IR, aber auch im Röntgen und Terahertz (THz) Spektralbereich eine Rolle.

Bei Äpfeln geben verschrumpelte oder braun gefärbte Oberflächen in der Regel andere Hinweise auf die Qualität der Produkte als beispielsweise bei Pilzen. Die makellose Oberfläche einer Fahrzeugkarosserie zeichnet sich durch die unverzerrte Spiegelung eines bekannten Musters aus. Eigenschaften werden sichtbar, weil wir abhängig von der betrachteten Farbe / Struktur / Form, unterschiedliche Effekte sehen.

Diese, für jeden Stoff spezifischen, Signaturen können zu seiner Identifikation oder zur Bewertung seiner Eigenschaften verwendet werden.

Die Anforderungen und Möglichkeiten der optischen Analytik mittels hyperspektraler Datenaufnahme (UV bis NIR) in unterschiedlichsten Anwendungen nehmen stetig zu. So kann z. B. bei Fleisch eine Veränderung der spektralen Reflexion im IR, als Folge der frühpostmortalen metabolischen Prozesse im Fleisch, gemessen werden. Für eine sichere zeitliche Indikation benötigt man den Vergleich zu anderen Proben. Im IOSB entwickeln wir, auf Basis der produktspezifischen Reflexionen, eine Daten-Infrastruktur, welche die Voraussetzungen schafft, hyperspektrale Informationen zu unterschiedlichsten Stoffen für eine dezentrale Nutzung zur Verfügung zu stellen. In der Zukunft können so z. B. dezentral mit mobilen Endgeräten erfasste Daten, zentral ausgewertet und mit Referenzdaten verglichen werden.



OPTISCHE INSPEKTION MIT EINEM ROBOTERGESTÜTZTEN GONIOREFLEKTOMETER



Abb.: 1

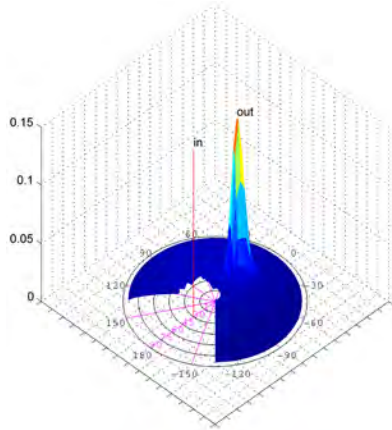


Abb.: 2

Bei der optischen Detektion von Defekten und Fehlstellen in einem Bild spielen die unterschiedlichen Reflexionseigenschaften von Oberflächen eine wichtige Rolle obwohl sie oft nicht das eigentliche Ziel der Untersuchung sind. Hingegen ist das genaue räumliche Reflexionsvermögen das Hauptziel einer Messung, wenn es um die optische Charakterisierung einer Oberfläche, um die Ermittlung der spezifischen optischen Materialeigenschaften oder um die Kenntnis der mikroskopischen Oberflächengeometrie (z. B. Rauigkeit) geht. Oberflächen können Licht sehr unterschiedlich reflektieren, z. B. spiegelnd oder diffus. Die meisten Oberflächen streuen das Licht mehr oder weniger stark um die ideale Reflexionsrichtung in verschiedene Richtungen. Hinzu kommt noch die Abhängigkeit von der Wellenlänge und dem Polarisationszustand des Lichtes.

Die Bidirektionale Reflektanzverteilungsfunktion (BRDF) beschreibt die Reflexionseigenschaften einer Oberfläche vollständig. Die BRDF gibt für jede Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung das Verhältnis von beobachteter Strahldichte zu eingestrahelter Bestrahlungsstärke an.

Am IOSB wurde ein robotergestütztes Gonioreflektometer konzipiert und aufgebaut, das automatisierte Messungen von Oberflächen mit hoher räumlicher und spektraler Auflösung ermöglicht. Die Messanlage besteht aus einem Industrieroboter, der kopfüber hängend an einem Gestell angebracht ist und den Detektor trägt, und einem Dreh- und Hubtisch, mit dem die Probe gedreht werden kann und an dem die Beleuchtungseinheit auf einem ausfahrbaren Bogenarm befestigt ist.

Der Roboter bewegt den Detektor halbkugelförmig um die Messprobe herum, sodass alle gewünschten Reflexionsrichtungen durchlaufen werden. Der gesamte Messablauf ist softwaregesteuert und parametrisiert, wobei alle Messpositionen berechnet und nacheinander angefahren werden. Je nach Winkelbereich und Winkelauflösung von Einstrahl- und Reflexionsrichtung können sich sehr lange Messzeiten und eine sehr große Zahl von Messpunkten ergeben. Nach Ende der Messung kann die gemessene BRDF der Oberfläche auf verschiedene Weise visualisiert werden; Abb. 2 zeigt die reflektierte Strahlstärke einer Probe.



Dipl.-Inform. Dipl.-Ing. (BA)
Martina Richter

Signatorik (SIG)
Fraunhofer IOSB Ettlingen

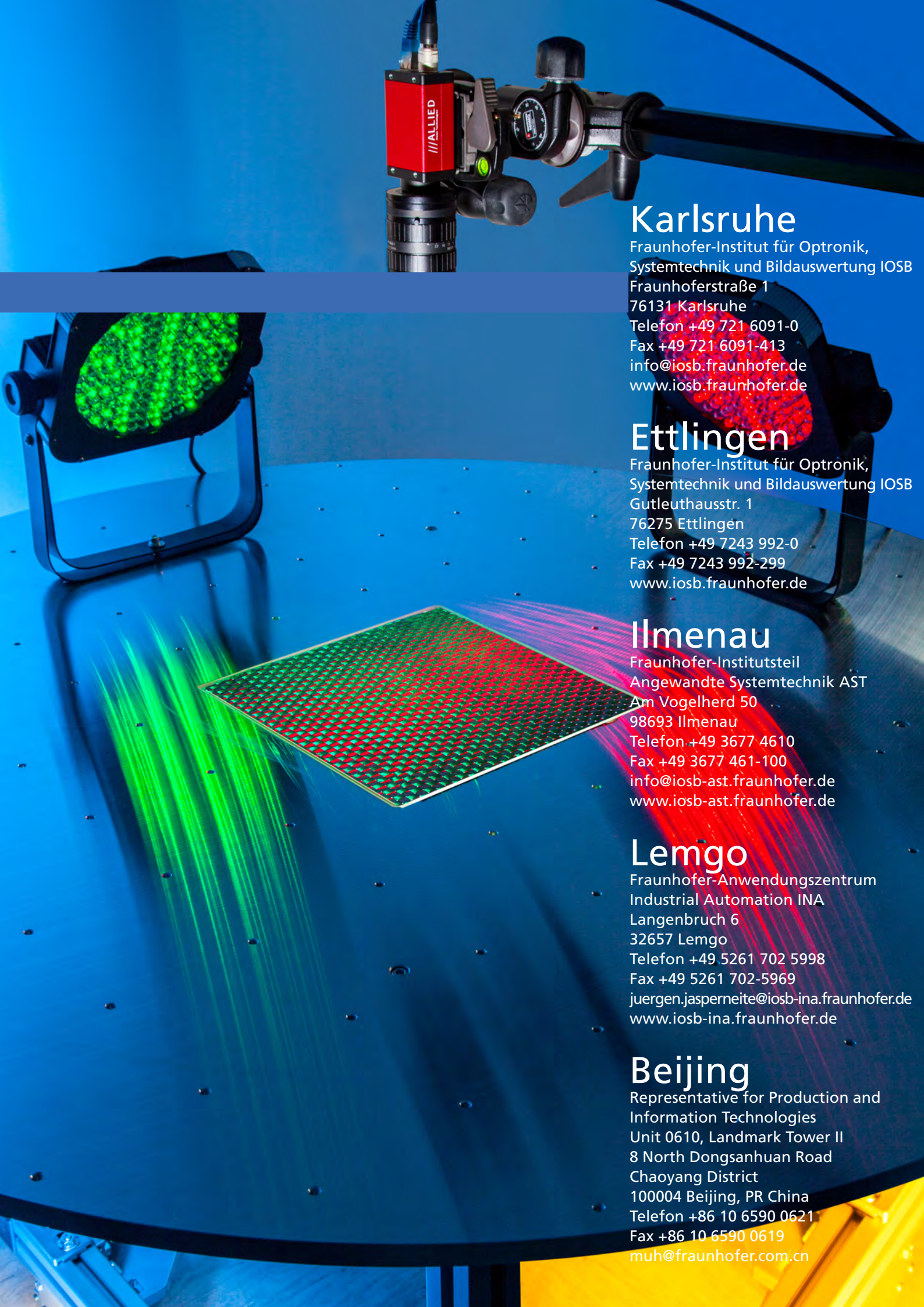
Telefon +49 7243 992-312
martina.richter@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de/SIG



Dr. Alexander Schwarz

Signatorik (SIG)
Fraunhofer IOSB Ettlingen

Telefon +49 7243 992-103
alexander.schwarz@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de/SIG



Karlsruhe

Fraunhofer-Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
Fraunhoferstraße 1
76131 Karlsruhe
Telefon +49 721 6091-0
Fax +49 721 6091-413
info@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de

Ettlingen

Fraunhofer-Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
Gutleuthausstr. 1
76275 Ettlingen
Telefon +49 7243 992-0
Fax +49 7243 992-299
www.iosb.fraunhofer.de

Ilmenau

Fraunhofer-Institutsteil
Angewandte Systemtechnik AST
Am Vogelherd 50
98693 Ilmenau
Telefon +49 3677 4610
Fax +49 3677 461-100
info@iosb-ast.fraunhofer.de
www.iosb-ast.fraunhofer.de

Lemgo

Fraunhofer-Anwendungszentrum
Industrial Automation INA
Langenbruch 6
32657 Lemgo
Telefon +49 5261 702 5998
Fax +49 5261 702-5969
juergen.jasperneite@iosb-ina.fraunhofer.de
www.iosb-ina.fraunhofer.de

Beijing

Representative for Production and
Information Technologies
Unit 0610, Landmark Tower II
8 North Dongsanhuan Road
Chaoyang District
100004 Beijing, PR China
Telefon +86 10 6590 0621
Fax +86 10 6590 0619
muh@fraunhofer.com.cn