Fraunhofer IOSB

visIT

[Inspektion und Sichtprüfung]

Essay: Trends und Techniken

Deflektometrie

Transparente Oberflächen

Lebensmittelsicherheit

Windkraftanlagen inspizieren

Prüfen unter Wasser

www.iosb.fraunhofer.de

ISSN 1616-8240

Fraunhofer IOSB

Impressum

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer
Prof. Dr. Maurus Tacke

Redaktion
Sibylle Wirth

Layout und graphische Bearbeitung
Sibylle Wirth
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 2012

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

13. Jahrgang
ISSN 1616-8240

Bildquellen

Deckblatt, Seite 4, 5, Personen Fotos,
Exponate, Key visuals:
Manfred Zentsch, **indigo Werbefotografie**

Personen Fotos: **Volker Steger**

Seite 5, 12: **MEV-Verlag GmbH**
Seite 5: **birgitH / pixelio.de**
Seite 10: **REAL Markt**

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 Inspektion und Sichtprüfung
Thomas Längle

Themen

Seite 6 Deflektometrie
Stefan Werling

Seite 8 Transparente Oberflächen
Henning Schulte, Sarah Gelo

Seite 10 Lebensmittelsicherheit
Henning Schulte, Eduardo Monari

Seite 12 Inspektion von Windkraftanlagen
Martin Ruckhäberle

Seite 14 Unterwasserinspektion
Eckart Michaelsen, Marco Jacobi

Editorial

Liebe Freunde des IOSB,

Prof. Dr. Maurus Tacke

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer

Wie selbstverständlich ersetzen wir die 5 Sinne des Menschen jeden Tag durch eine Vielzahl von technischen Sensoren. Insbesondere, wenn es darum geht, genauere oder schnellere Informationen zu bekommen als der Mensch dieses leisten könnte.

Im Geschäftsfeld **Inspektion und Sichtprüfung** bündelt das Fraunhofer IOSB alle Aktivitäten im Bereich der Sensorik, Bild- und Signalverarbeitung zum Zweck der Qualitätssicherung und / oder Produktivitätssteigerung in Echtzeit, wenn »Sehen« die Lösung der Wahl ist. »Sehen« ist hierbei nicht nur das, was das menschliche Auge leistet, sondern erstreckt sich über das gesamte elektromagnetische Spektrum von UV bis IR, wie es in Natur und Technik vorkommt.

Grundlage für unsere Lösungen ist das »Sehen« der relevanten Informationen. Technisch geht es dabei in der Regel um die Bildaufnahme mittels Zeilen- oder Flächenkameras und Bildanalyse in Echtzeit. Sei es, dass viele Teile sehr schnell beim Sortieren von Schüttgütern betrachtet werden müssen, Veränderungen in der Spiegelung oder Textur einer Oberfläche zu detektieren sind oder Objekte / Objektgruppen zu klassifizieren sind.

Immer wenn es darum geht, große Mengen von Teilen (z. B. Schüttgüter) im Durchlauf und in Echtzeit zu »sortieren« oder komplexe Einzelteile auf die Übereinstimmung mit gegebenen Vorgaben zu prüfen – egal ob Farbe, Form oder andere »sichtbare« Eigenschaften – sind unsere Lösungen im Einsatz. Unsere Entwicklungen finden Sie beim Glasrecycling oder bei der Anreicherung von Mineralen genauso, wie bei der Sortierung von Tee, Kaffee und anderen Lebensmitteln.

Bei der Oberflächeninspektion detektieren wir nicht nur Veränderungen in der Struktur, sondern können diese mittels Photometrischen Stereos oder Deflektometrie auch in 3D-Daten umwandeln, um Aussagen über die Topographie der Teile zu machen. Anwendung finden diese Methoden bei der Beurteilung von glänzenden und matten Oberflächen. Manchmal ist es hilfreich, wenn man »in Teile reinschauen« oder einfach nur »durchschauen« kann, um Bestandteile oder Abweichungen zu erkennen. Wenn man diese mittels Licht sichtbar machen kann oder die Materialien, die gesucht werden, spezifische Reflexionseigenschaften besitzen – wir finden sie. Auch für spezielle Fragestellungen wie zum Beispiel das »Sehen« von Vibration in großer Entfernung, »Sehen« in schwieriger Umgebung (z. B. in der Tiefsee) oder das Erkennen von Objekten zur Identifikation stellen wir Lösungen zur Verfügung.

Karlsruhe, im April 2012

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer Prof. Dr. Maurus Tacke

Essay

INSPEKTION UND SICHTPRÜFUNG

HOCHWERTIG UND NACHHALTIG

Wer garantiert mir, dass die Lebensmittel, die ich zu mir nehme, frei von Schadstoffen und zudem von guter Qualität sind? Was geschieht mit unserem säuberlich getrennten Glas im Rahmen des Recyclingprozesses? Und wie wird dafür Sorge getragen, dass mein Auto nicht nur heute ästhetisch gut aussieht, sondern auch im Fall einer Unfallreparatur hochwertig repariert wird? Drei Aufgaben, die uns in unserem täglichen Leben berühren und gleichzeitig drei Fragen, auf die das Geschäftsfeld »Inspektion und Sichtprüfung« des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung eine Antwort gibt.

TECHNOLOGIEN

Im Geschäftsfeld »Inspektion und Sichtprüfung« forschen und arbeiten mehrere Abteilungen gemeinsam an innovativen Methoden und Prüfsystemen zur Qualitätssicherung, Produktivitätssteigerung und Assistenz in Produktion und Instandhaltung.
Hierbei erfolgt eine Bündelung von Kompetenzen der Sensorik, Bild- und Signalverarbeitung mit einem speziellen Fokus auf hyperspektrale Verfahren, fundierte mathematische Modellierung, automatische Lernverfahren sowie Sensorfusion. Charakteristisch für unsere Lösungen ist, dass sie oftmals eingebettet in überlagerte Prozesse sind und daher mit diesen schritthalten müssen.

UNSERE ANGEBOTE

Das Geschäftsfeld bietet vielfältige Dienstleitungen an, die von Machbarkeitsstudien über Verfahrensentwicklungen und praktischen Validierungen bis hin zu Demonstratoren und letztendlich vermarktbaren Endsystemen führen. Hierbei steht die System- und Produktfähigkeit im Vordergrund, wobei unsere Experten der Mechanik, Optik, Elektrotechnik, Signalverarbeitung, Informatik und Physik bei der Umsetzung der Verfahren in praxistaugliche Systeme ihr Know-how einbringen.

Um brachenangepasste Lösungen anbieten zu können, gliedert sich das Geschäftsfeld in die Themenkomplexe Oberflächeninspektion, Schüttgutsortie-

KONTAKT

Prof. Dr.-Ing.Thomas Längle

Sprecher des Geschäftsfeldes Inspektion und Sichtprüfung

Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-212
thomas.laengle@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de

rung, Stückgutinspektion, Anlageninspektion sowie Assistenzsysteme auf. In diesem visIT werden wir Ihnen fünf innovative Lösungskonzepte zeigen, die Antworten auf die oben gestellten Fragen geben.

SPIEGELNDE OBERFLÄCHEN

Der erste Themenkomplex behandelt eine schwierige Aufgabe der Oberflächeninspektion, nämlich die automatische Prüfung spiegelnder Oberflächen am Beispiel der Lackprüfung – ein Problem, an dem sich die Experten der Sichtprüfung bisher die Zähne ausgebissen haben. Durch unsere Ansätze der Deflektometrie lässt sich beispielsweise garantieren, dass die Karosserie von neuen Automobilen frei von Beulen und Lackfehlern ist.

GLASSCHEIBENPRÜFUNG

Eine ganz andere, aber ebenfalls schwierige Prüfaufgabe wird im zweiten Beitrag behandelt, nämlich die Bewertung von transparenten Materialien, beispielsweise der Windschutzscheibe von Autos. Im Sinne der Sicherheit der Erkennung von Produktdefekten muss unser Prüfsystem hier mit zwei physikalischen Problemen kämpfen, nämlich die hierzu notwendige große Schärfentiefe bei gebogenen Gläsern mit gleichzeitig hoher Anforderung an die zu erkennenden Fehler. Das IOSB sorgt dafür, dass die Scheiben frei von Fehlern sind und wir an jeder Stelle freien Durchblick haben.

LEBENSMITTELPRÜFUNG

Einen immer größeren Stellenwert nimmt die Lebensmittelprüfung ein, der wir uns im dritten Beitrag widmen. Unsere Sichtprüfsysteme sorgen nicht nur für eine Aussortierung gefährlicher Stoffe (z. B. Mutterkorn im Saatgut, Schimmelanteile bei Lebensmitteln), sondern zudem für einen schönen ästhetischen Eindruck (beispielsweise farblich homogene Kaffeebohnen in einer Charge, ohne Bruch und Fremdstoffe). Ganz gemäß dem Motto »Man ist, was man isst«.

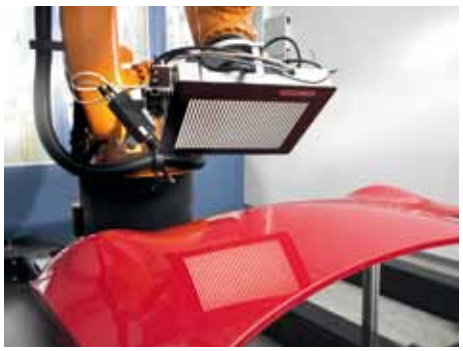
WINDKRAFTANLAGEN

Erneuerbare Energien werden immer wichtiger, insbesondere ist die Bedeutung der Windenergie kontinuierlich steigend. Unsere Experten geben in diesem Umfeld Antworten darauf, wie unsere Windenergieanlagen der Zukunft sicher und qualitativ hochwertig ausgelegt werden können. Die Prüf- und Bewertungssysteme des vierten Beitrags sorgen somit dafür, dass Windenergieanlagen sicher und optimal betrieben werden können.

UNTER WASSER INSPIZIEREN

Der letzte Beitrag beschäftigt sich mit der Inspektion von Infrastrukturen unter Wasser, insbesondere von Häfen und Staumauern. Hier wird heutzutage noch überwiegend visuell und taktil durch Taucher geprüft, was teuer und gefährlich ist. Unsere Experten der Unterwasser-Robotik und Bildverarbeitung geben Antworten darauf, wie man in diesen schwierigen Umgebungen sehen kann und welche Automatisierungslösungen denkbar sind.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre. Und wenn Ihnen bei der Aufzählung der Eingangsfragen dieses Essay noch weitere schwierige Prüfaufgaben eingefallen sind – lassen Sie es uns wissen. Ganz getreu unserem Anspruch, der da lautet »Was wir erkennen, muss nicht Ihr Kunde finden« versuchen wir, auf Ihre Fragen eine Antwort zu geben. Und falls Sie es wünschen, realisieren wir diese auch für Sie.



DEFLEKTOMETRIE ZUR INSPEKTION

Die Sicherung der Qualität spiegelnder Objekte (z. B. Karosserieteile) erfolgt in vielen Industriebereichen mittels visueller Inspektion durch eine Fachkraft. Der Mensch nimmt mit seinem intuitiven »Sichtprüfungssystem« ohne Weiteres auf solchen Oberflächen bereits kleinste Topografieveränderungen als Defekte wahr. Dabei begutachtet der Prüfer die Qualität anhand von Spiegelungen der Umgebung in der zu prüfenden Oberfläche.

DER STREIFENTRICK

Zur Automatisierung der Inspektion spiegelnder Oberflächen erweist sich die Deflektometrie als besonders geeignet. Eine Kamera beobachtet hierbei das Spiegelbild eines bekannten Musters (meist ein Streifenmuster), das z. B. auf einem Bildschirm angezeigt oder von einem Beamer auf einen Schirm projiziert wird. Aus der Auswertung der Spiegelbilder können dann Rückschlüsse auf die Gestalt der Oberfläche gezogen werden.

INDUSTRIETAUGLICH

Am Fraunhofer IOSB wurden in den letzten Jahren mehrere deflektometrische Ansätze für den industriellen Einsatz umgesetzt [1,2]. Wird ein Bildschirm mit einer Kamera kombiniert, entsteht ein deflektometrischer Sensorkopf, der als Sensorsystem z. B. von einem Industrieroboter entlang der zu prüfenden Oberfläche geführt werden kann. Eine andere Möglichkeit besteht darin, möglichst die gesamte Umgebung der zu prüfenden Oberfläche mit Mustern zu versehen, so dass die Kamera in der gesamten Oberfläche die Reflexion des Musters sieht. Am IOSB wurde ein Versuchsstand realisiert, bei dem mittels

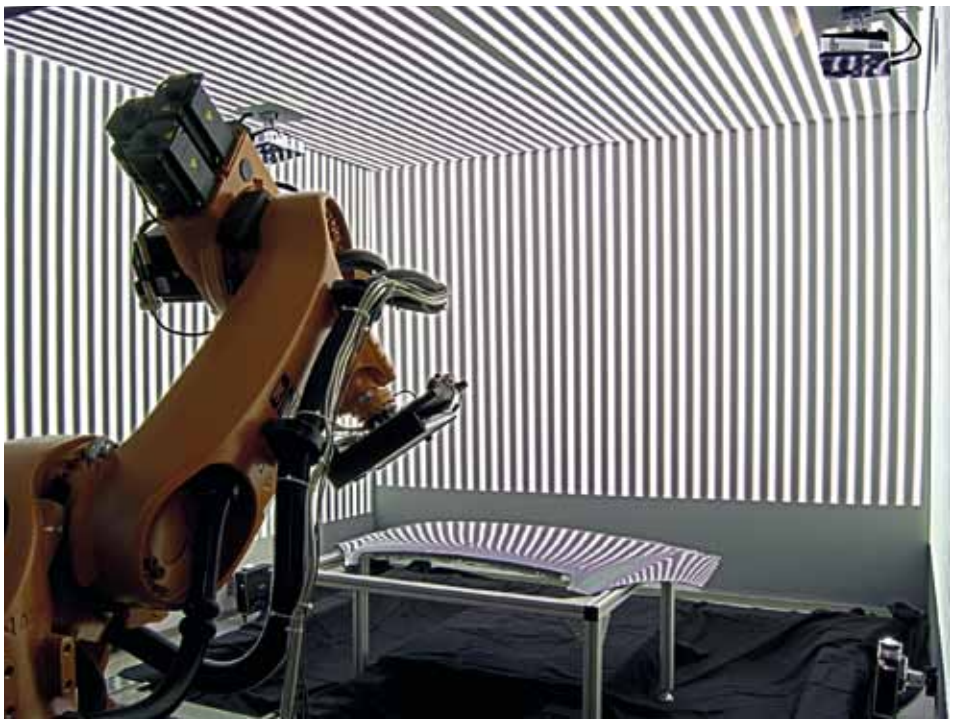


Abb. 1: Versuchsstand mit deflektometrischen Mustern und spezieller Sensorik.

KONTAKT

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

UND VERMESSUNG SPIEGELNDER OBERFLÄCHEN

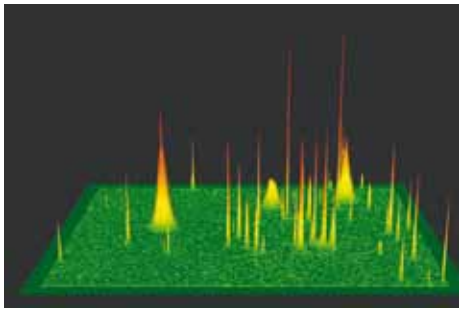


Abb. 2: Defekt-Detektion.

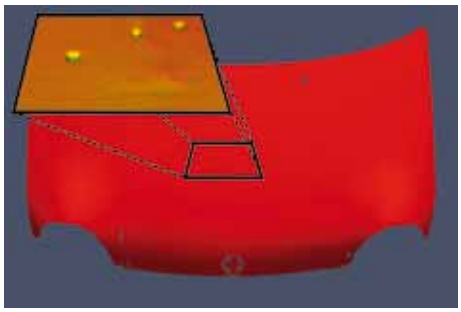


Abb. 3: Rekonstruktion.

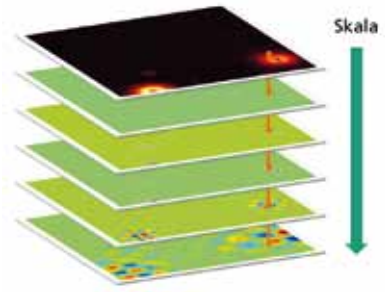


Abb. 4: Skalenanalyse.

Beamern Muster auf vier Seiten des Prüfraums dargestellt werden. Dadurch sind auch in großflächigen und zerklüfteten Prüfobjekten überall Spiegelungen der Muster sichtbar Abb. 1.

In einer aktuellen Forschungsarbeit wird statt eines Musters im sichtbaren Licht ein Muster im thermischen Infrarot-Bereich (bei ca. 10 bis 15 µm Wellenlänge) verwendet. Damit lassen sich auch solche Oberflächen inspizieren, die wie unlackierte Bleche im sichtbaren Licht matt erscheinen oder die wie Glasspiegel im sichtbaren Licht transparent sind [3].

ROBUSTE INSPEKTION

Deflektometrische Verfahren werten ganz allgemein die Spiegelbilder bekannter Muster aus. Kennt man insbesondere zu jedem Sichtstrahl den entsprechenden über die Spiegelfläche gesehenen Musterpunkt, z. B. durch eine Kodierung, so eröffnet diese Zuordnung von Sichtstrahlen zu Musterpunkten verschiedene Auswertemöglichkeiten. Unmittelbar lassen sich aus dieser Zuordnung Merkmale ableiten, die äquivalent zur lokalen Krümmung der Oberfläche sind. Abb.2 zeigt anhand der deflektometrischen Inspektion einer lackierten Blechoberfläche (Karosserie) die Auswertung solcher krümmungsäquivalenter Merkmale von räumlichen Defekten in Form eines Höhenbildes. Werksversuche zeigten, dass die hiermit erzielte Detektionsleistung ausreicht, um auch solche Defekte zu finden, die für eine Nacharbeit zu klein bzw. zu schwach ausgeprägt sind.

MATHEMATISCHE REKONSTRUKTION

In einem weiteren Schritt lässt sich die spiegelnde Oberfläche vollständig geometrisch rekonstruieren. Dies entspricht aus mathematischer Perspektive der Lösung einer nicht-linearen partiellen Differentialgleichung, wozu verschiedene Rekonstruktionsansätze am Fraunhofer IOSB umgesetzt wurden. Die Lösung dieses Rekonstruktionsproblems ist die Voraussetzung für die Vermessung spiegelnder Oberflächen mittels Deflektometrie. Dabei zeigt sich, dass für einen Inspektionsbereich von circa 20 cm x 20 cm eine Höhenauflösung im Bereich weniger Mikrometer erreichbar ist. Anwendung findet dieser Ansatz ausgehend von der Vermessung lokaler topografischer Defekte bis hin zur Erzeugung von 3D-Modellen großer und komplex geformter Bauteile (Abb. 3).

Zur automatischen Defektklassifikation lassen sich topografische Defekte auf verschieden Krümmungsskalen untersuchen (Abb. 4). Damit kann die Verknüpfung der menschlichen visuellen Defektwahrnehmung mit deflektometrisch erfassten Oberflächenmerkmalen erreicht werden.

Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich darüber hinaus mit der Deflektometrie im Durchlauf und der automatisierten Sensoreinsatzplanung zur Erstellung von Inspektionsszenarien.

Literatur:
[1] S. Werling: Deflektometrie zur automatischen Sichtprüfung und Rekonstruktion spiegelnder Oberflächen. KIT Scientific Publishing, 2011.
[2] S. Werling, M. Heizmann, M. Mai, J. Beyerer: Inspection of Specular and Partially Specular Surfaces. Metrology and Measurement Systems 16 Nr. 3, S. 415-431, Polish Academy of Sciences, 2009.
[3] S. Höfer, M. Roschani, S. Werling, J. Beyerer: Verfahren und Vorrichtung zur Inspektion von Glasoberflächen. F. Puente León, J. Beyerer (Hrsg.): Tagungsband des XXV. Messtechnischen Symposiums, S. 127-138, Shaker, 2011.

GLASPRÜFUNG NACH DIN ISO 101

Wir alle wissen: Glas ist ein besonderes Produkt. Bis Anfang des vergangenen Jahrhunderts war die Herstellung von Glas Handarbeit und es war ein Zeichen von Wohlstand, Dinge aus Glas zu besitzen. Jedes Teil war mehr oder weniger individuell. Teil dieser »Individualität« waren auch Blasen und Verunreinigungen. Heute wie damals gilt die Reinheit von Glas, neben Form und Farbe, als Maßstab für Qualität.

NOTWENDIGER MASSSTAB

Um einen einheitlichen Maßstab für die Qualitäts-Beurteilung bezüglich Blasen und Verunreinigungen in Glas-Produkten zu haben, der nicht gänzlich auf attributiven Kriterien beruht, wurde die DIN ISO 10110-3 entwickelt. Sie ermöglicht den messenden Qualitätsvergleich von Produkten und erlaubt die Definition eines reproduzierbaren Grenzwertes für gut und schlecht. Die so entstandene Norm wurde aus früheren Arbeiten zur Beurteilung der Abbildungsqualität von Linsen abgeleitet. Die Gesamtwirkungen von Blasen oder Einschlüssen auf die Weiterverarbeitbarkeit ist vergleichbar mit ihrer jeweiligen Wirkung auf die Abbildungsqualität. Die Norm ist heute verbreitete Grundlage für die Glas-Beurteilung. Als Maßstab definiert die DIN ISO 10110-3 Anzahl, Größen und Häufungen von Fehlern im Material. Die Norm definiert, wie diese Größen zu gewichten sind, um eine Qualitätskenngröße für ein optisches Bauteil aus diesen Parametern zu ermitteln. Nach DIN ISO 10110-3 sind Bauteile als gleich zu bewerten, wenn sie beispielsweise:

- eine Blase mit einer maximalen projizierten Fläche von 0,16 mm^2,
- 2 Blasen mit einer maximalen projizierten Fläche von 0,0625 mm^2,
- 6 Blasen mit einer maximalen projizierten Fläche von 0,0256 mm^2,
- 16 Blasen mit einer maximalen projizierten Fläche von 0,01 mm^2 enthalten
- oder wenn sich 20 Prozent der erlaubten Blasen innerhalb einer Fläche von 5 Prozent des Prüfbereichs häufen.

Abb. 1: Linsenrohling.

AUTOMATISIERTE PRÜFUNG

Heute wird die DIN ISO 10110-3 zunehmend auch zur Bewertung der Weiterverarbeitbarkeit von Halbzeugen aus Glas verwendet. Während Partikeleinschlüsse und Blasen annähernd gleichen Einfluss auf die Abbildungsqualität haben, sind die jeweiligen Einflüsse auf die Weiterverarbeitbarkeit jedoch unter Umständen stark unterschiedlich. Für eine produktionsbegleitende Prüfung nach DIN ISO 10110-3 ist es notwendig, diese Prüfung zu automatisieren. Hierfür wird ein System benötigt, das Partikeleinschlüsse und Blasen erkennen und unterscheiden kann, sowie beide Fehlerarten jeweils getrennt nach DIN ISO 10110-3 klassifiziert. Eine weitere Anforderung ist die Unterscheidung der

KONTAKT

Dipl.-Ing. Henning Schulte

Geschäftsfeldentwickler
Inspektion und Sichtprüfsysteme
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

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

10-3 MIT PURITY

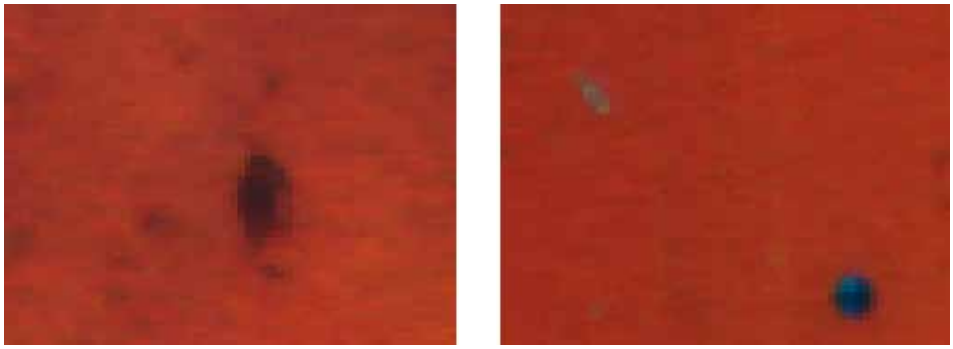


Abb. 3: Abbildung von Einschluss (links), Staub und Blase (rechts).

Abb. 4: Grafische Benutzeroberfläche.

Defekte von Staub, damit eine Prüfung auch außerhalb eines Reinraums stattfinden kann. Die Prüflinge sollen bezüglich Blasen und Einschlüssen jeweils getrennt klassifiziert werden, so verlangt es die Norm. Am Ende muss das System, abhängig von den - vom Kunden einstellbaren - Toleranzen für Blasen und Einschlüsse, die Prüflinge als gut oder schlecht bewerten.

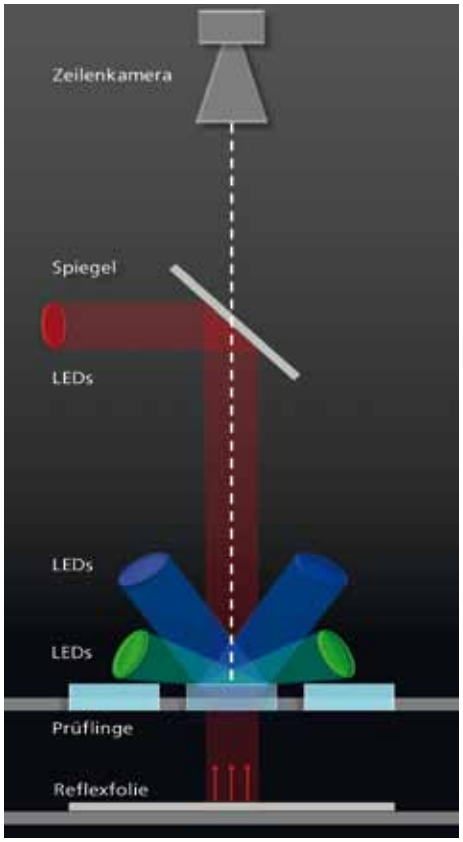


Abb. 2: Schematischer Aufbau des Prüfsystems.

3 AUF EINEN STREICH

In diesem Kontext wurde am IOSB ein Prüfsystem für die Inspektion von Glashalbzeugen entwickelt, welches die Beurteilung der Prüflinge aus einer einzigen Ansicht realisiert. Die sichere Unterscheidung von Blasen und Einschlüssen ermöglicht eine separate Einstellung von Toleranzen nach DIN ISO 10110-3 für beide Defekttypen.
Das Prüfsystem basiert auf dem patentierten Sensorkonzept Purity des Fraunhofer IOSB. Durch Verwendung von drei unterschiedlichen Beleuchtungen ermöglicht es eine dreikanalige Prüfung des Objekts aus einer Ansicht (s. Abb. 2):

- die Bestimmung des Transmissionsprofils in einer Retroreflexanordnung (rot),
- eine Erkennung von Streuzentren auf oder im Material in einer Dunkelfeldanordnung (blau),
- eine Darstellung streuender Strukturen auf der Oberfläche (grün).

Mit einer Farbzeilenkamera werden alle drei Kanäle gleichzeitig aufgenommen (Farbmultiplex). Das telezentrische Objektiv garantiert, dass die nach DIN ISO 10110-3 geforderte Ermittlung der projizierten Fläche eines Fehlers unabhängig von der Lage im Bauteil erfolgt. Beleuchtung und Kamera sind in einen kompakten Sensorkopf integriert.
Das Prüfsystem wird über eine grafische Benutzeroberfläche bedient (s. Abb. 4). Sie beinhaltet alle Funktionen zur automatischen Inspektion, eine Ansicht der Prüfstatistik und eine Produktverwaltung zur Einstellung der Geometriemerkmale und der gewünschten Toleranzen für Blasen und Einschlüsse. Abhängig von den gewählten Toleranzen wird der Prüfling nach der Inspektion als Gut- oder Schlechtteil klassifiziert. Das Prüfergebnis sowie die Lokalisierung und Größe der Defekte werden auf der Bedienoberfläche angezeigt. Über digitale Ausgänge wird das Ergebnis an die Produktionslinie übermittelt, sodass Schlechtteile automatisch ausgeschleust werden können.

Literatur:

[1] DIN ISO 10110-3 : 1996. Optik und optische Instrumente; Erstellung von Zeichnungen für optische Elemente und Systeme. Teil 3: Materialfehler – Blasen und Einschlüsse. Veröffentlicht in: DIN-Taschenbuch 304 - Technische Produktdokumentation, Beuth, 2008.
[2] Hartrumpf, M.; Heintz, R.: Vorrichtung und Verfahren zur Klassifikation transparenter Bestandteile in einem Materialstrom. WO2009049594. Veröffentlichungstag: 23.04.09.
[3] Längle, T.; Hartrumpf, M.; Vieth, K.-U.; Heintz, R.; Struck, G.: Process for inspection and sorting of colored and transparent materials. In: Petz, T. (Ed.); Wortuba, H. (Ed.); Niehaus, K. (Ed.): Applications of sensor-based sorting in the raw material industry. Aachen: Shaker, 2011, S. 132-138. (Schriftenreihe zur Aufbereitung und Veredelung 42).

ERHÖHUNG DER LEBENSMITTEL

Genauso selbstverständlich wie wir preiswerte Lebensmittel im Supermarkt erwarten, gehen wir davon aus, dass die angebotenen Lebensmittel höchsten Qualitätsmaßstäben entsprechen. Möglich ist das nur, weil Lebensmittel nach industriellen Standards produziert werden. Ein wichtiger Teil der Produktion ist daher die Prüfung der Qualität. Da die Ansprüche an die Produkte ständig steigen, steigen auch die Ansprüche an ihre Prüfung.

UMFASSENDE KONTROLLE

Lebensmittel werden an den unterschiedlichsten Punkten der Prozesskette kontrolliert: Das Saatgut wird vor dem Aussäen geprüft, die Weintrauben werden bei der Annahme in der Winzergenossenschaft kontrolliert, der Kaffee wird vor und nach dem Rösten untersucht und getrocknete Pilze werden vor dem Verpacken inspiziert. Portioniertes Fleisch wird im Zerlegebetrieb begutachtet und im Supermarkt »sagt« uns die Waage, welches Obst wir gerade wiegen.

Alle erwähnten Lösungen haben vieles gemeinsam – sie werden derzeit oder schon seit längerem bei Kunden mithilfe von Prototypen oder etablierten Systemen des IOSB begutachtet; die Kunden wollen die Ergebnisse der Beurteilung »in Echtzeit« – also direkt erhalten. Zur Lösung verwenden wir Algorithmen, mit denen wir bereits viele erfolgreiche Erfahrungen - auch außerhalb der »Lebensmittelwelt« - gesammelt haben.

DYNAMISCHE AUFGABENENTWICKLUNG

Die Adaption und Weiterentwicklung vorhandener Lösungen auf neue Anwendungen und Produkte ist wichtiger Teil unserer Arbeit. Oft entstehen dabei neue Fragestellungen, weil die Anforderungen abweichen oder steigen.

Die »intelligente« Gemüsewaage erkennt per Bildauswertung automatisch die Art der Ware.

KONTAKT

Dr. Kai-Uwe Vieth

Sichtprüfsysteme SPR
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-279
kai-uwe.vieth@iosb.fraunhofer.de

www.iosb.fraunhofer.de

QUALITÄT DURCH INTELLIGENTE SENSORSYSTEME

Abb. 1: Aufnahme im sichtbaren Wellenbereich.

Abb 2: Aufnahme im nahinfraroten Bereich.

Für uns ist das eine ganz normale Situation. Wenn das zuvor gesteckte Ziel zum Status quo erhoben wird und der Blick, kaum dass er sich an das Neue gewöhnt hat, bereits auf das nächste Etappenziel fokussiert ist, finden wir die passende Lösung.

NEUE PRÜFSENSORIK

Neben etablierter R-G-B Kameratechnik und dem Laser-Scan ist dabei zur Inspektion von Lebensmitteln in jüngster Zeit immer mehr Kameratechnik im Einsatz, die im ultravioletten oder infraroten Wellenlängenbereich arbeitet.
Ursache sind Fragestellungen, die nicht mehr mit Sensortechnologie, die im sichtbaren Wellenlängenbereich arbeitet, zu lösen sind oder nur zu lösen sind, wenn man zur Beurteilung deutlich mehr Zeit für Berechnungen hätte.

Im Sichtbaren ist es für jeden selbstverständlich und nachvollziehbar, dass die Kameras Bilder erzeugen, die das Aufgenommene so darstellen, wie wir es sehen (s. Abb. 1). Somit sind die Filter der Inspektionskameras den Rezeptoren im Auge ähnlich und folglich können Auge und Kamera farblich in etwa dieselben Objekte voneinander unterscheiden. Außerhalb des sichtbaren Wellenlängenbereichs fehlt dem Menschen und herkömmlich eingesetzter Kameratechnik diese Fähigkeit (s. Abb. 2).

Unterschiede zwischen zwei verschiedenen Objekten, z. B. im nahinfraroten Wellenlängenbereich, bleiben verborgen. Im ultravioletten und im infraroten Wellenlängenbereich zeigen viele Produkte Unterschiede, die im sichtbaren Wellenlängenbereich nicht erkennbar sind. In der Biochemie werden seit vielen Jahren organische Stoffe im mittleren infraroten Wellenbereich optisch geprüft, um organische Stoffe zu identifizieren. Die dort etablierten Verfahren zeigen sehr differenzierte Ergebnisse, sind jedoch auch zeitaufwendig und daher für eine Qualitätsprüfung in der Produktion meist nicht geeignet. Im nahen Infrarot unterscheiden sich Merkmale oft nicht so differenziert wie im mittleren Infrarot, jedoch bietet dieser Wellenlängenbereich oft die Chance, Merkmale unterschiedlicher Arten für eine Selektion oder Beurteilung zu nutzen. Die zur Verfügung stehende Technik ist meist teurer als die für sichtbare Wellenlängen, aber hinreichend schnell für Prüfungen in Echt-Zeit und zeigt im Ergebnis oft verblüffend differenzierende Merkmale. Die Ergebnisse der Beurteilung können also direkt im jeweiligen Prozess, zum Beispiel bei der Sortierung, verwendet werden.

HYPERSPEKTRAL

Das IOSB verfügt über eine multispektrale Werkbank mit der es möglich ist im gesamten Wellenlängenbereich vom Ultravioletten (UV) über das Sichtbare (VIS) bis hin zum Nahinfrarot (NIR), Objekte genau zu untersuchen.
Sie besteht aus drei verschiedenen, aber ähnlich aufgebauten Systemen, sogenannten hyperspektralen Bildaufnahmesystemen, für den UV-, den VIS- und den NIR-Wellenlängenbereich. Konkret steht von 240 nm bis 2500 nm Analysetechnik für Voruntersuchungen zur Verfügung. Für unterschiedliche Lebensmittel und deren kritische Fremdobjekte wird am IOSB eine spektrale Datenbank aufgebaut.

Literatur:

[1] Michelsburg, M., Gruna, R., Vieth, K.-U. und Puente León, F., 2011: Spektrale Bandselektion für das Filterdesign optischer Inspektionssysteme. tm - Technisches Messen: Vol. 78, No. 9, pp. 384-390.
[2] Le, T.-T., 2011: Evaluation verschiedener Distanz maße zur Merkmalsselektion aus hyperspektralen NIR-Daten; Diplomarbeit, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Industrielle Informationstechnik.

LASERGESTÜTZTE SCHWINGUNGS

KONTAKT

Dipl.-Phys. Peter Lutzmann

Optronik OPT
Fraunhofer IOSB Ettlingen

Telefon +49 7243 992-135
peter.lutzmann@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de

KONTAKT

Dr.-Ing. Martin Ruckhäberle

Interaktive Analyse und
Diagnose IAD
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-384
martin.ruckhaeberle@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de

Konstruktionsbedingt verfügen Windenergieanlagen über hochgradig schwingungsfähige Komponenten, wie etwa den Turm, die Rotorblätter oder Teile des Triebstrangs.

Die hohe Schwingungsbelastung ist hierbei direkte Ursache für Schäden, die zum Ausfall der Anlage führen können. Die Erfassung und Bewertung von Schwingungen sind somit unverzichtbare Grundlage der Betriebszustandsüberwachung und der Diagnose.

»Condition Monitoring«-Systeme, basierend auf in der Gondel angebrachter Sensorik, sind derzeit integrierter Bestandteil moderner Windenergieanlagen. Mit diesen Systemen wird standardmäßig das Schwingungsverhalten des Triebstrangs überwacht. Auch werden zunehmend Systeme eingesetzt, die mittels fest installierter Sensoren am Turm oder in den Rotorblättern das Schwingungsverhalten dieser ausgedehnten Anlagenkomponenten im Betrieb erfassen. Aus Aufwandsgründen werden bei diesen Systemen jedoch nur in geringem Umfang Sensoren in der Anlage verbaut. Die Schwingungsauswertung ist hierbei auf die jeweiligen Eigenschaften und die vorgegebene räumliche Anordnung der Sensoren beschränkt.

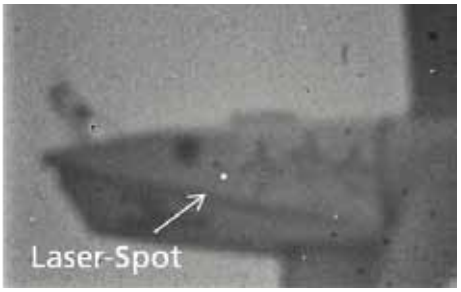
In diesem Zusammenhang interessieren berührungslose, insbesondere laserbasierte Messverfahren, die ohne das Anbringen von Sensorik an der Anlage Schwingungen auch aus größerer Entfernung erfassen können. Damit wird der flexible Einsatz des Lasermesssystems für unterschiedliche Anlagen im Onshore- und Offshore-Bereich möglich.

LASERMESSSYSTEM

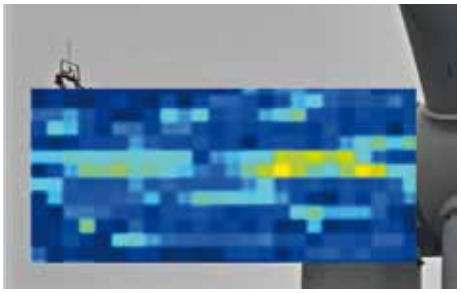
Am Fraunhofer IOSB wurde ein Lasermesssystem entwickelt, mit dem Schwingungen aus einer Entfernung von bis zu 3 km erfasst werden können. Da die Wellenlänge des Lasers (1550 nm) im augensicheren Wellenlängenbereich liegt, können ohne eine Gefährdung der Augen höhere Laserleistungen verwendet werden.

ANALYSE AN WINDENERGIEANLAGEN

Das Lasermesssystem des IOSB.



Infrarotbild mit sichtbarem Laser-Spot.



»Schwingungskarte« mit farblicher Kodierung der Schwingungsamplituden.

BEWEGUNG IN DER BEWEGUNG

Derzeit in der Entwicklung [1] ist eine leistungsfähige, kamerabasierte Tracking-Komponente, mit der der Laserstrahl sich bewegenden Anlagenkomponenten nachgeführt werden kann. Damit sind Messungen bei laufender Anlage beispielsweise am drehenden Rotorblatt möglich. Die Bewegungsnachführung ist insbesondere für Offshore-Anwendungen von zentraler Bedeutung, da hier grundsätzlich Relativbewegungen zwischen dem auf einer beweglichen Plattform befindlichen Messsystem und der Anlage auftreten, die bei der Messung kompensiert werden müssen.

Des Weiteren wird das Lasermesssystem hinsichtlich Mehrkanalabtastung weiterentwickelt, die eine synchrone Erfassung mehrerer Messpunkte an der Anlage erlaubt. Dieses ermöglicht eine noch detailliertere Schwingungsanalyse mit Identifikation von Schwingungsmodi und der Quantifizierung der Schwingungsausbreitung.

ANWENDUNGEN

Durch die flexible Wahl von Anzahl und Ort der vom Laser abgetasteten Messpunkte können Schwingungen der jeweiligen Anlagenkomponente großflächig erfasst und quantifiziert werden. Hinsichtlich des zu betrachtenden Frequenzbereichs gibt es prinzipiell keine Einschränkungen. Sowohl niederfrequente Strukturschwingungen als auch akustische Schwingungen können erfasst werden. Damit lässt sich das Schwingungsverhalten kompletter Anlagenkomponenten im Betrieb analysieren und beispielsweise hinsichtlich Materialbelastung bewerten.

VIELSEITIGKEIT

Das Lasermesssystem kann damit zur Erfassung von Schwingungen der Anlage im laufenden Betrieb für unterschiedliche Aufgabenstellungen eingesetzt werden:

- Validierung von für die Konstruktion von Rotorblättern und Turm verwendeten Simulationsmodellen.
- Bestimmung des Schwingungsverhaltens von Rotorblättern hinsichtlich deren strukturelle und aerodynamische Optimierung.
- Erfassung von Turmschwingungen zur Bewertung des strukturellen Zustands.
- Erfassung akustischer Schwingungen der für die Schallemission maßgeblicher Anlagenkomponenten (Gondel, Rotorblattspitze) zur Identifikation und Quantifikation dominanter Schallquellen sowie für die Bewertung der Gesamtschallemission der Anlage.

[1] Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages.

Literatur.

[1] Lutzmann, P.; Göhler, B.; van Putten, F.; Hill, C.A.: Laser vibration sensing: Overview and application, Conference »Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications« 5, 2011, Prague, SPIE, 2011.

UNTERWASSERINSPEKTION – VOR

KONTAKT

Dr.-Ing. Eckart Michaelsen

Objekterkennung OBJ
Fraunhofer IOSB Ettlingen

Telefon +49 7243 992-335
eckart.michaelsen@iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de

KONTAKT

Dipl.-Ing. Marco Jacobi

Abteilung Wasser und mobile Systeme WMS
Fraunhofer AST Ilmenau

Telefon +49 3677 461-176
marco.jacobi@ast.iosb.fraunhofer.de
www.iosb.fraunhofer.de/AST

AUV TIETeK kann bis 6000 m tief tauchen.

Motorentest bei dem AUV CWolf.

WARUM INSPEKTION UNTER WASSER?

Mit der intensivierten Nutzung erneuerbarer Energien wächst das Interesse an den energetischen Ressourcen der Meere. Planung und Bau von derzeit genehmigten 26 Windparks in Nord- und Ostsee mit über 1900 Windkraftanlagen und die Verlegung hunderter Kilometer Seekabel stellen Behörden und Betreiber vor bisher ungelöste Probleme hinsichtlich Inspektion und Wartung.
Die geforderte jährliche Überprüfung der Fundamente und Kabel auf Schäden kann durch Taucher oder ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge nicht mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden. Hier sind autonome Systeme gefragt, die – einmal mit der Mission versorgt und im zu überprüfenden Windpark ausgesetzt – selbständig ihre Arbeiten erledigen.

Offshore-Windkraftanlagen sind nur ein Aspekt autonomer Unterwasserinspektion. Daneben warten auch tausende Kilometer von Öl- und Gaspipelines, Seekabel zwischen den Kontinenten, sowie Spundwände in Häfen und Binnenwasserstraßen auf Wartung. Auch der kommende Unterwasserbergbau benötigt autark operierende Systeme zur Überwachung und Inspektion der Infrastrukturen.

VERFÜGBARE FAHRZEUGE

Am Anwendungszentrum Systemtechnik AST in Ilmenau beschäftigt sich die Arbeitsgruppe Oberflächenwasser / Maritime Systeme mit Konzeption, Bau und Steuerung von Unterwasserfahrzeugen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung von Algorithmen zur Führung der Fahrzeuge während der autonomen Inspektion. Ein selbst entwickeltes Führungssystem steuert die vier unterschiedlichen Fahrzeuge, die für praktische Erprobungen und Einsätze zur Verfügung stehen.
Der 1,30 m lange und 41 kg schwere Seebär dient vornehmlich der visuellen Inspektion von Talsperren sowie dem Auffinden und Begutachten von Objekten in einem Seegebiet. Dabei agiert das Fahrzeug ferngesteuert über ein Glasfaserkabel, kann aber trotzdem größere Strecken bis 1 Kilometer leicht bewältigen.
Sein großer, autonom agierender Bruder, der *CWolf*, kann mit über 2 m Länge und 120 kg Gewicht ein Mehrfaches an Nutzlast mit sich führen und über akustische Kommunikation mit neuen Aufgaben versorgt werden. Durch sein flexibles Nutzlastkonzept sind unterschiedliche Sensoren integrierbar, so unter anderem optische Kameras, Sonare oder Wasserqualitätssensoren. Weitere Sensoren sind in der Entwicklung.

STOSS IN DAS LETZTE »NEULAND«

Das Testbecken in Ilmenau mit ExAUV.

Das Fahrzeug *ExAUV* (Experimental Autonomous Underwater Vehicle) wurde innerhalb der Arbeitsgruppe entwickelt, um ein leicht manövrierbares und einfach für verschiedenste Sensorkonfiguration umrüstbares Fahrzeug zur Verfügung zu haben. Mit diesem System werden stets die ersten Erprobungen neuer Algorithmen und Sensoren durchgeführt.

Für Arbeiten in der Tiefsee wird derzeit das AUV *TIETeK* von mehreren Instituten entwickelt, welches Explorations- und Inspektionsaufgaben in bis zu 6000 m Wassertiefe ausführen kann.

FAHRZEUGFÜHRUNG

Die Steuerung der am Institut vorhandenen Fahrzeuge erfolgt über das in der Arbeitsgruppe selbst entwickelte Softwaresystem ConSys. Damit ist es möglich, verschiedenste Fahrzeugführungs- und Navigationsalgorithmen auf den einzelnen Fahrzeugen einzusetzen und in Simulationen zu testen, ohne diese neu implementieren zu müssen. Des Weiteren können auf den Fahrzeugen vorhandene sowie neue Sensoren und Sensorsysteme einfach und transparent eingebunden und deren Daten verarbeitet werden. Alle Algorithmen sind mit diesem System unmittelbar auf allen Fahrzeugen verfügbar, ob im institutseigenen Testbecken auf dem *ExAUV*, im Flachwasser auf dem AUV *CWolf* oder in der Tiefsee auf dem AUV *TIETeK*.

BILDVERBESSERUNG

Die Inspektion von unter Wasser liegender Infrastruktur erfordert ausgefeilte und angepasste bildgebende Sensoren. Heutige bildgebende Verfahren für Unterwasser-Zwecke basieren zum größten Teil auf akustischen Sensoren, da diese vorteilhafte Eigenschaften unter Wasser besitzen (z. B. eine relativ große Reichweite). Das Potenzial, das in visuell-optischen Signalen vorhanden ist, wie z. B. Texturen und Oberflächenreflektanzen, kann aufgrund der schlechten Sichtverhältnisse, die unter Wasser herrschen, noch nicht genutzt werden. Am IOSB werden im Rahmen des Projektes »Underwater Vision« neue Verfahren der variablen Bildgewinnung und -verarbeitung erforscht und umgesetzt, um die Bildqualität und die Sichtweiten unter Wasser zu erhöhen. Damit wird die visuell-optische Inspektion von Unterwasser-Infrastruktur auch in trüben Gewässern ermöglicht.

BILDTEPPICH-GENERIERUNG

In der modernen Bildverarbeitung gibt es Methoden, mit denen aus vielen überlappenden Einzelbildern oder Videos Bildteppiche zusammengesetzt werden können. Das hat für die Unterwasserinspektion hohes Anwendungspotenzial, da so aus Bildserien, die aus nächster Nähe im Vorbeifahren gewonnen wurden, große Übersichten erzeugt werden können. Diese Übersichtskarten dienen der Inspektion, Dokumentation, Archivierung und dem Erkennen von Veränderungen gegenüber älteren Übersichten. Die Methoden müssen an die Kameras (Weitwinkel mit starken Linsenverzeichnungen), die zu erwartende Bildqualität (starke Trübungen), die mitgeführte Beleuchtung, die extremen Bildteppichgrößen (mehrere Größenordnungen größer als das Einzelbild) und die Sensortrajektorie entlang der Struktur angepasst werden. Verfahren dazu werden ebenfalls im Projekt »Underwater Vision« entwickelt und erprobt.

Bildaufnahme im Rohzustand.

Automatisch restaurierte Bildaufnahme.

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 992-130
Fax +49 7243 992-299
www.iosb.fraunhofer.de

Ilmenau
Fraunhofer-Anwendungszentrum
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 702-572
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