

# Aktuelle Trends in der Sichtprüfung von Flugzeugtriebwerken

Ralf WEGER<sup>1</sup>, Patrick ECKERT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SCHÖLLY FIBEROPTIC GmbH, Denzlingen ([www.schoelly.de](http://www.schoelly.de))

Kontakt E-Mail: [r.weger@schoelly.de](mailto:r.weger@schoelly.de)

## Kurzfassung

In der industriellen Produktion sowie im Bereich der Instandhaltung von Anlagen und technischen Systemen kommt der Sichtprüfung immer noch eine bedeutende Rolle zu. Endoskopische bzw. videoskopische Inspektionssysteme sind im Einsatz, wenn es sich z.B. um komplexe Baugruppen handelt, die fertig montiert sind und eine Sichtprüfung nur über kleine Zugänge durchgeführt werden kann.

Die Anforderungen an endoskopische Inspektionssysteme sind besonders hoch, wenn es um Anwendungen in der Luftfahrtindustrie geht. Dort entscheidet eine visuelle Kontrolle häufig darüber, ob eine Außerbetriebnahme und die kostenintensive Demontage eines Flugzeugtriebwerks notwendig ist. In solchen Situationen werden endoskopische Visualisierungssysteme mit den kleinsten Geometrien und hervorragender Bildqualität benötigt, die eine zuverlässige Prüfung und Bewertung von Defekten ermöglichen.

Ein aktueller Trend für die endoskopische Sichtprüfung in Flugzeugtriebwerken existiert mit der Kombination von Visualisierung und zusätzlichen Funktionalitäten wie z.B. der mechanischen Bearbeitung. Diese kombinierten Technologien erlauben eine In-situ-Reparatur und damit eine deutliche Reduzierung der Stillstandzeiten. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die 3D-Visualisierung. 3D-Videoskope ermöglichen das stereoskopische Sehen, das der natürlichen und damit gewohnten Sichtweise des Menschen entspricht. Reparaturarbeiten können damit genauer und schneller Arbeit als mit herkömmlichen Systemen durchgeführt werden.

Dieser Vortrag präsentiert die neuesten Trends in Bezug auf endoskopische Visualisierungssysteme für die Luftfahrt und den damit verbundenen Zusatzfunktionalitäten. So werden neueste Videoskope mit hochpräziser Messfunktion sowie Visualisierungslösungen integriert in komplexe Systemträger vorgestellt.

## AKTUELLE TRENDS IN DER SICHTPRÜFUNG VON FLUGZEUGTRIEBWERKEN



Ralf Weger - SCHÖLLY FIBEROPTIC GMBH  
Vice President Visual Inspection

**Schölly**  
EXCELLENCE INSIDE

## SCHÖLLY AUF EINEN BLICK

**Schölly**  
EXCELLENCE INSIDE

### Wurzeln

- Gründung 1973

### Unabhängigkeit

- Unabhängig agierendes Familienunternehmen
- Langjährige Minderheitsbeteiligung der Aesculap AG

### Erfolg rund um die Welt

- Unser Team besteht aus rund 600 Mitarbeitenden an 7 Standorten in 6 Ländern

### Technologieschwerpunkte

- Visualisierung für Medizin und industrielle Inspektion sind unsere Kernthemen
- Wir gehören zu den Technologieführern im Bereich 3D- und Mikroendoskopie

### Unternehmerische Verantwortung

- Nachhaltiges Handeln im Hinblick auf Mitarbeitende, Kunden, Partner, Lieferanten und unsere Standorte ist uns wichtig
- Gewinnoptimierung, nicht Gewinnmaximierung ist das Credo der Gesellschafter

## EINE KOMPETENZ – ZWEI ANWENDBEREICHE

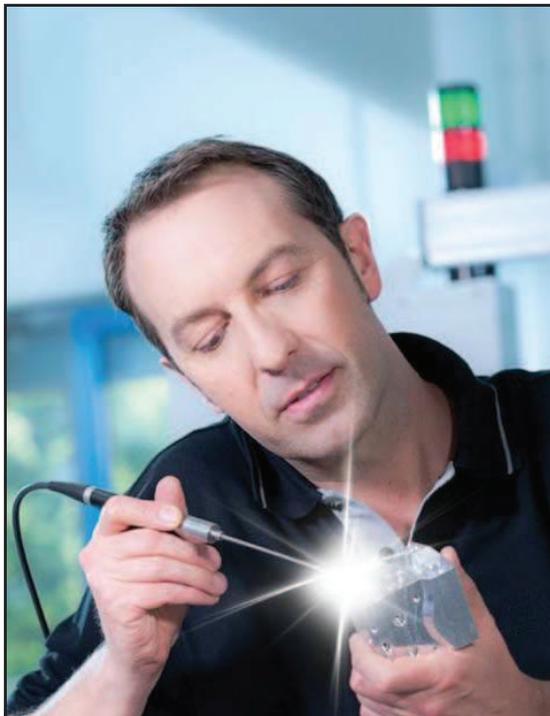


MEDICAL ENDOSCOPY



VISUAL INSPECTION

DGZIP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren



### VISUAL INSPECTION

Komplexe endoskopische  
Visualisierung für industrielle  
Inspektionsaufgaben.

#### **Products | Private Label**

Inspektionssysteme für den  
Einsatz in unterschiedlichen  
Branchen  
Micro-Endoskope  
Endoskope, Fiberskope und  
Lichtquellen

#### **OEM Solutions**

Entwicklung und Fertigung  
kundenspezifischer Lösungen

## MARKTSITUATION



### Ausgangssituation

- Starkes Wachstum der kommerziellen Luftfahrt – Zahl der Flugzeuge wird sich innerhalb der nächsten 15 – 20 Jahren verdoppeln
- Low cost carrier erhöhen den Druck auf alle Marktteilnehmer
- MRO Kosten ca. 16 % der airline operating costs  
40% der MRO Kosten stehen in Zusammenhang mit Triebwerken
- Hohe Erwartungshaltung der Carrier in Bezug auf Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

### Hohe Effizienz im Bereich Triebwerkswartung ist ein Schlüsselfaktor für Kosteneinsparungen

- Vermeidung ungeplanter Shop visits
- On-wing maintenance
- Optimierung der MRO-Prozesse
- Bedarf an neuen Technologien und Reparaturlösungen

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## BRANCHENÜBERGREIFENDE INNOVATIONEN MEDIZIN UND LUFTFAHRT



**Mediziner**



**Technische Ärzte**

- |                                    |   |                                    |
|------------------------------------|---|------------------------------------|
| ■ Minimal invasive Chirurgie       | → | ■ Inspektion und Reparatur on-wing |
| ■ Schnelle Lernkurve               | → | ■ Schnelle Lernkurve               |
| ■ Kosteneffizienz                  | → | ■ Minimierte Standzeiten           |
| ■ Schnelligkeit hilft Patienten    | → | ■ Schnelle Verfügbarkeit           |
| ■ Vermeidung allgemeiner Chirurgie | → | ■ Vermeidung Triebwerksdemontage   |

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## INTEGRIERTE PROZESSE IN TRIEBWERKS MRO VERGLEICH



### Traditioneller Prozess



### Innovativer Prozess



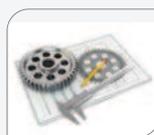
Innovative On-Wing Maintenance & Repair Lösungen reduzieren Standzeiten!

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## VISUALIZATION PLUS DAS „PLUS“ FÜR DIE VISUALISIERUNG



Lösungen, die relevante MRO-Funktionen mit 2D und 3D Visualisierungstechnologien verbinden



Messen



Reparieren



Dokumentation



Bearbeiten



Reinigung

**2D/ 3D Visualisierung**  
+ Zusätzliche Funktionen

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## VISUALIZATION PLUS MESSEN MIT HOHER GENAUIGKEIT

### On Wing Inspektion von airfoils

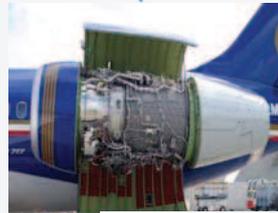
- Höhere Genauigkeit (= mehr Sicherheit) im Vergleich zu herkömmlichen Videoskopen wird benötigt, um ungeplante shop visits zu vermeiden, die aus ungenauen Inspektionsmethoden resultieren



### Entwicklung eines hochgenauen flexiblen Endoskopsystems

- Steuerbares, voll flexibles Videoskop mit Durchmesser 6mm
- Erkennung von Oberflächendefekten mit Größe  $\geq 50 \mu\text{m}$  und Genauigkeit von  $\pm 5 \mu\text{m}$

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren



Rolls-Royce Triebwerk

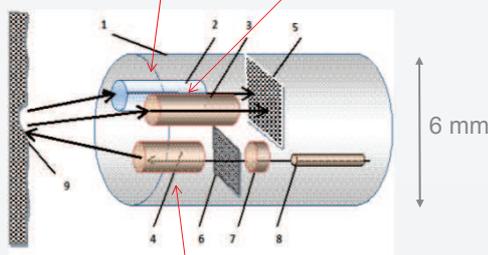


CAD Modell Rolls-Royce Triebwerk mit flexiblem Videoskop

## MESSEN MIT HOHER GENAUIGKEIT OPTO-MECHANISCHES DESIGN

### Herkömmlicher Ansatz

Inspektionsoptik + Messoptik

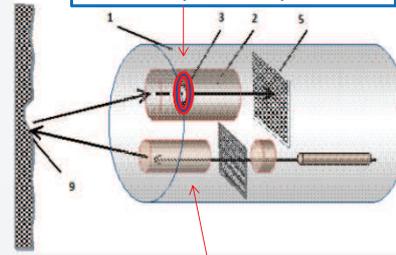


Strukturiertes Licht

1-CIT Sondenkopf, 2-Inspektionsoptik, 3-Messoptik, 4-Projektionslinse, 5 - Bildsensor, 6-Gitter, 7-Fokussierung, 8-Beleuchtungsfasern, 9-Objekt

### Neuer Ansatz

Kombinierte Mess- und Inspektionsoptik



Strukturiertes Licht

1-CIT Sondenkopf, 2-Kombinationsoptik, 3-Spez. optischer Filter, 5-Bildsensor, 9-Objekt

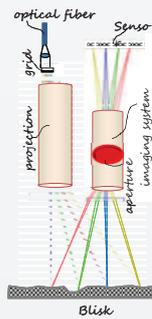
DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## MESSEN MIT HOHER GENAUIGKEIT DEMONSTRATOR DESIGN



### Steuerbares und flexibles Videoskope mit CIT Technologie

- Sondendurchmesser 6 mm mit 4 x 160° Abwinklung
- Chip in Tip (CIT) Technologie mit 1 Megapixel Bildsensor
- Anschlüsse für 2 separate Lichtquellen + LED für strukturiertes Licht + CCU

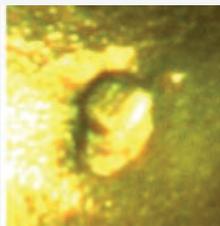


DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

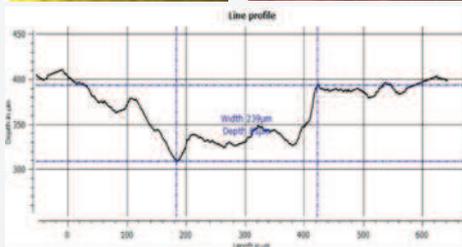
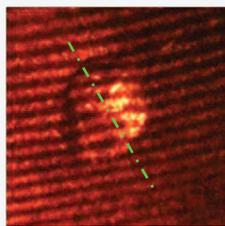
## MESSEN MIT HOHER GENAUIGKEIT BEISPIEL



### Inspektionsmodus



### Messmodus



### Defekt

- Breite = 239 µm
- Tiefe = 85 µm

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

LuFo Förderprojekt unter  
Führung von:



DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und  
Messverfahren

## VISUALIZATION PLUS IN-SITU REINIGUNG VON NGV



Kühlbohrungen der Leitschaufeln (NGVs) einer Turbine können teilweise blockiert werden durch Rückstände



- Temperaturerhöhung durch verringerte Kühlung
- Beginn Abbrand von Teilen der NGVs
- Gefahr weiterer Schäden
- Ungeplanter shop visit



NGV freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Rolls-Royce

### Technische Lösung

- Hochdruckreinigung on-wing der NGVs

## IN-SITU REINIGUNG VON NGV HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNG



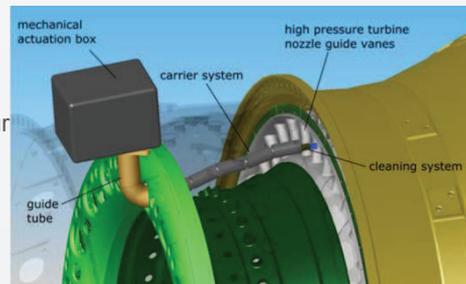
### Herausforderungen

- Zugang mit Durchmesser 20mm
- Innere Struktur mit komplexer Geometrie
- Effiziente Reinigung mit Hochdruckwasserstrahl



### Design des Trägersystems

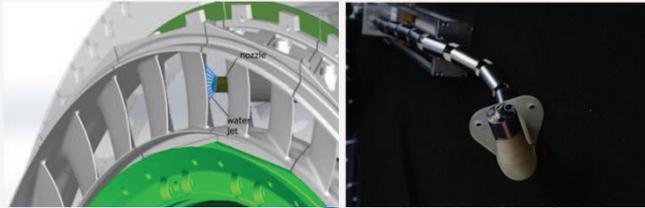
- Integriertes, miniaturisiertes Wasserstrahlsystem
- Steuerbar innerhalb der inneren Struktur
- Hohe Kräfte (Steifheit)
- Bewegung des distalen Endes bei aktiviertem Wasserstrahl



## IN-SITU REINIGUNG VON NGV TRÄGERSYSTEM



### Details

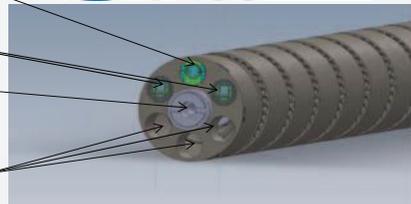


Kamera + Optik

LEDs

Wasserstrahldüse

Raum für zusätzliche Funktionsmodule



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

LuFo Förderprojekt unter Führung von:

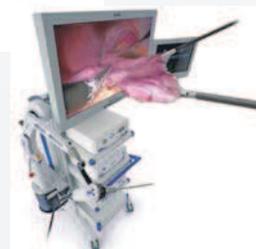


DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## 3D – VISUALISIERUNG IN DER MEDIZIN STATE OF THE ART



- High-end Systeme kombinieren Visualisierung und ferngesteuerte chirurgische Instrumente
  - Basis für Remote Information und Reaktion
  - Bessere Orientierung
  - Schnelle Lernkurve durch natürliche Sicht
  - Viel sicheres Handling
- ➔ **Höhere Effizienz**



\*)

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## 3D – VISUALISIERUNG IN DER INDUSTRIE FLEXIBLE 3D-VIDEOSKOPE



### 3D Demonstrator industrielle Anwendungen

- Flexible Videosonde mit 4 x 160° Abwinklung
- Full HD optisches Modul
- Darstellung auf Bildschirm oder 3D Brille
- Echtzeit 3D Sicht

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## FULL HD VISUALISIERUNG IN DER INDUSTRIE KAMERA PLATTFORM



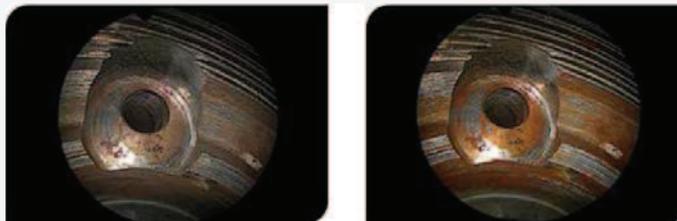
### FlexiVision Kamera Plattform

- Modulares Konzept
- Full HD Auflösung
- Anbindung unterschiedlicher Videosonden und Kameraköpfe
- Schnittstelle für Dokumentation
- Zahlreiche Videoalgorithmen



DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## VIDEO - ALGORITHMEN SELEKTIVE FARBANHEBUNG (SCE)



SCE verstärkt Kontraste bezogen auf Farben.  
Fehlerentdeckung wird erhöht.

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## VIDEO - ALGORITHMEN RAUCHREDUZIERUNG



Rauchreduzierung – Echtzeitentfernung von Rauch in Videosequenzen

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## ON-WING REPAIR IN ENGINE MRO BOROBLENDING



- Starres Boroablending ist eine ausgereifte Technologie in On-Wing repair
- Beschädigte Airfoils (z.B. durch FOD) können neu konturiert werden durch ein endoskopisches Frästool (innerhalb definierter Grenzen)
- Zeit- und kostenintensive Triebwerksdemontagen können vermieden werden

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## ON-WING REPARATUR IN ENGINE MRO FLEXIBLES BOROBLENDING TOOL



- Länge 1.800 mm
- Abwinklung 4 x +/- 90°
- Max. 50.000 RPM



Flexibles Boroablending erlaubt den Zugang zu verschiedenen Positionen innerhalb des Triebwerkes

DGZFP 5. Fachseminar Optische Prüf- und Messverfahren

## ZUSAMMENFASSUNG

- MRO in der Luftfahrt braucht innovative Tools und Reparaturtechnologien in der Zukunft
- Endoskopische Visualisierung mit hoher Auflösung ist ein essentieller Teil aller On-Wing Anwendungen
- 3D Visualisierung hat signifikante Vorteile für On-Wing Reparaturen verglichen mit herkömmlichen Lösungen
- **Visualization Plus** ist die nächste Stufe und liefert integrierte Reparaturlösungen

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

[www.schoelly.de/V/](http://www.schoelly.de/V/)

Kontakt: Ralf Weger

E-Mail: [r.weger@schoelly.de](mailto:r.weger@schoelly.de)



Get your benefit from  
**EXCELLENCE INSIDE!**