

# Scan-Makroskop für die Analyse von Filiform-Korrosion

## Automatisierte normgerechte Analyse der Filiformkorrosion

Die Filiformkorrosion ist eine spezielle Form der Korrosion, die bei beschichtetem Aluminium und niedriglegierten Stählen auftritt. Im Zusammenspiel mit Wasser, Sauerstoff und sogenannten Startersalzen bilden sich Korrosionszellen zwischen der Metalloberfläche und der Beschichtung. Ausgehend von Kratzern, Schnittkanten oder anderen Beschädigungen der Beschichtung entstehen langsam fortschreitende fadenförmige Unterwanderungen, eine Erscheinung, die auch als Wurmfraß bezeichnet wird. Der vorgestellte Filiform-Scanner wurde entwickelt, um eine objektive Beurteilung dieser Korrosionserscheinung zu ermöglichen. Der aus einer Zeilenkamera mit integrierter Hellfeld-Beleuchtung bestehende Messkopf liefert Aufnahmen hoher Qualität. Eine spezialisierte Soft-

ware ermittelt objektiv die in internationalen Normen festgelegten Kenngrößen der Filiform-Korrosion.

Insbesondere die Filiformkorrosion von Aluminium-Legierungen stellt ein bislang nicht vollständig gelöstes Problem dar, das großen Schaden z.B. im Fahrzeug- und Flugzeugbau, im Bauwesen in Küstenregionen oder in belasteten Industrieumgebungen verursacht.

Als Ursache müssen mehrere Faktoren zusammenkommen. Neben dem Vorhandensein von Störstellen in der Lack-schicht wie Ritzen, Kratern, Poren, zu gering beschichtete Kanten, eingeschlossene Partikeln oder Schnittkanten (z.B. bei der Herstellung von Aluminiumfenstern), muss die Anwesenheit von korrosionsauslösenden Salzen und eine erhöhte Luftfeuchtigkeit gegeben sein.

Die Praxis zeigt daher auch, dass diese Art der Korrosion zusätzlich zu den oben genannten auch in Bereichen, in denen Streusalz eingesetzt wird, bevorzugt festgestellt werden kann.

Die Filiform-Korrosion beeinträchtigt als Oberflächeneffekt nicht die Belastbarkeit des Materials. Sie wird daher oft als rein ästhetisches Problem angesehen. Im Flugzeugbau allerdings beeinflusst die Filiform-Korrosion das Strömungsverhalten und den Luftwiderstand und stellt daher auch ein erhebliches funktionelles Problem dar.

Die Hersteller sind gefordert, durch chemische und elektro-chemische Vorbehandlung der Oberflächen und durch einen geeigneten Lack- und Beschichtungsaufbau, das spätere Auftreten von Filiform-Corrosion zu verhindern.

Zur Vorbeugung gegenüber der Filiformkorrosion werden bei der Verfahrensentwicklung und zur Überwachung der laufenden Produktion standardisierte Prüfverfahren eingesetzt.

### Standardisierte Prüfverfahren

Für beschleunigte Laboruntersuchungen und zur Qualitätskontrolle wurden standardisierte Tests und Auswerteverfahren entwickelt. Hierbei wird eine Vielzahl von Prüfplatten nach einem festgelegten Verfahren geritzt. Die Proben werden anschließend mit Chloriden, in Form von Salzlösungen oder Salzsäuredämpfen angeimpft und über eine vom Anwendungsfall abhängige Prüfdauer bei 40°C und ca. 80% rel. Luftfeuchtigkeit konditioniert. Eine aus dem Architekturbereich stammende Anforderung schreibt z.B. eine Prüfdauer von 1000h vor. Die bisher vorherrschende manuelle Auswertung gem. der DIN EN ISO 4623 [3,4] ist zeitlich aufwendig und

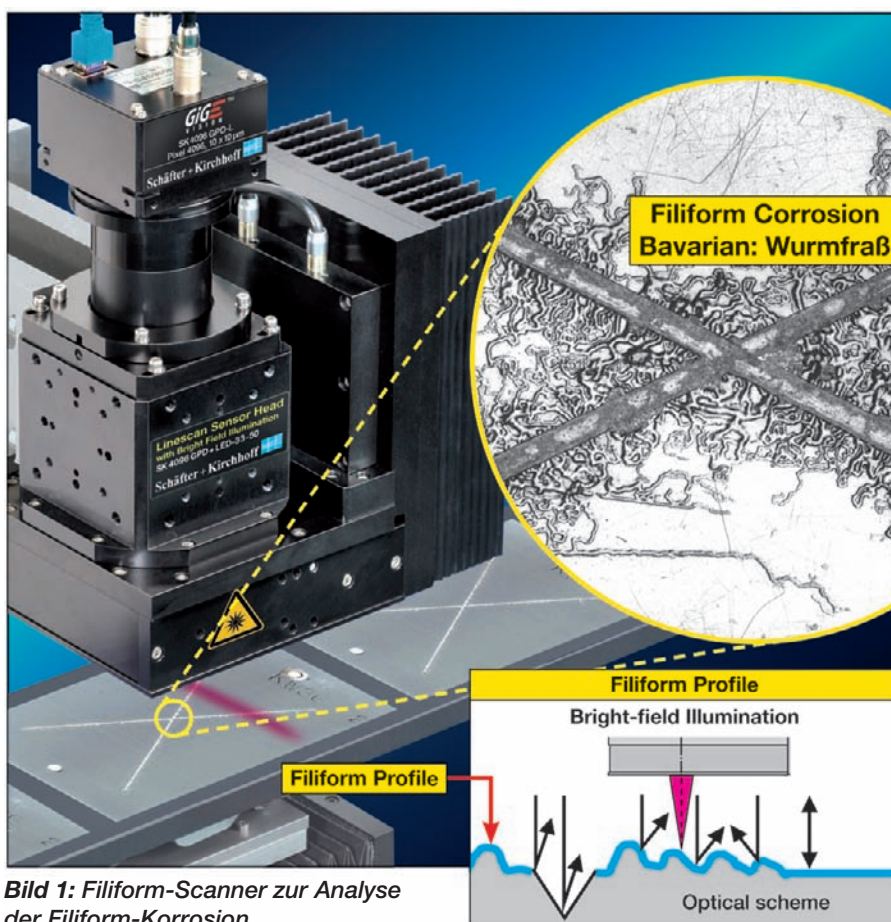


Bild 1: Filiform-Scanner zur Analyse der Filiform-Korrosion.

unterliegt subjektiven Einschätzungen. Obwohl mit der Norm DIN EN ISO 21227-4 bereits seit 2008 ein Standard für die digitale Auswertung vorliegt [5], mangelte es bislang an der robusten industriegeeichten Aufnahmetechnik.

## Filiform-Scanner mit gerichteter Hellfeldbeleuchtung

Da die Filiformkorrosion lediglich die Oberflächenstruktur des beschichteten Materials verändert, Farbe und Tönung bleiben erhalten, sind die fadenförmigen Unterwanderungen mit Standard-Aufnahmemethoden nur schlecht abzubilden. Sehr gute Ergebnisse werden dagegen mit der gerichteten Hellfeldbeleuchtung erzielt, einer Beleuchtungsart, die in der Mikroskopie seit langem bekannt ist und zunehmend auch in der digitalen Bildbearbeitung mit Erfolg eingesetzt wird.

Bei gerichteter Hellfeldbeleuchtung kommt das Licht aus der Richtung der Kamera (Bild 1). Parallel zum Sensor liegende Flächen reflektieren viel Licht in die Kamera und erscheinen hell. Das auf strukturierten Flächen oder abgeschrägte Kanten treffende Licht wird seitlich weg reflektiert und verfehlt die Objektivapertur, die betreffenden Bereiche erscheinen

dunkel.

Aufgrund der gerichteten Hellfeldbeleuchtung werden die Konturen der fadenförmigen Unterwanderungen kontrastreich abgebildet, die nachfolgende automatische Analyse findet optimale Bedingungen vor (Bild 2).

Das Zusammenspiel aller Komponenten, der Zeilenkamera, des Objektivs und der Beleuchtungseinheit, ist wesentlich für eine über den ganzen Messbereich konstante Abbildungsleistung. Das betrifft sowohl das optische Design, als auch die mechanische Ausführung.

Bei dem vorgestellten Filiform-Scanner ist die Beleuchtungseinheit, eine Zeilenkamera und ein Makroobjektiv in einem robusten industriegeeichten Messkopf integriert. Es ist lediglich ein definierter Arbeitsabstand einzuhalten, Justierelemente, die versehentlich verstellt werden könnten (Fokuseinstellung, Blende usw.) sind nicht zugänglich.

Da Zeilenkameras nur über eine einzige lichtempfindliche Zeile verfügen, entstehen zweidimensionale Aufnahmen, wie beim Kopierer oder einem Faxgerät, in Verbindung mit einer scannenden Bewegung. In der Richtung der Sensorzeile legt die Pixelanzahl des Sensors und der Abbildungsmaßstab die Auflösung und den Messbereich fest. Senkrecht dazu ist der Messbereich durch die verwendete

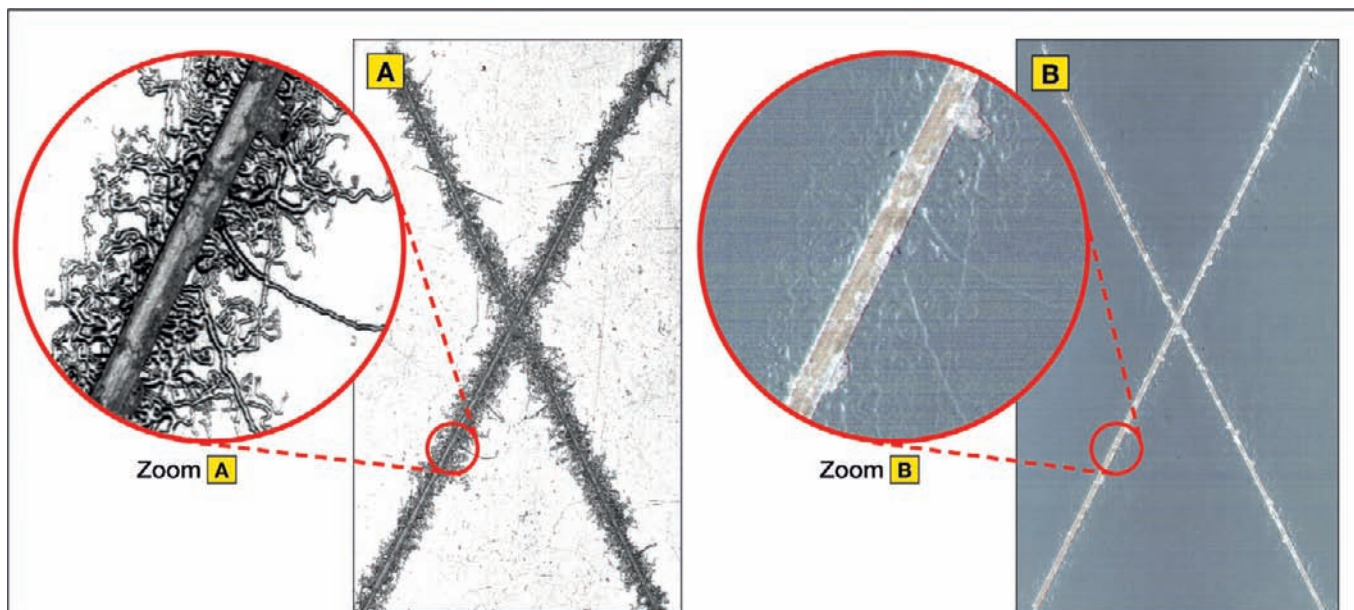
Scaneinheit bestimmt. Durch eine entsprechende Synchronisation des Linearvorschubs zur Zeilenfrequenz der Kamera wird eine insgesamt quadratische Messauflösung sichergestellt

In der Standardkonfiguration erfasst der Filiform-Scanner eine Messfeldbreite von 80 mm mit 40 µm Auflösung und einer Geschwindigkeit von 75 mm/s. Für Testplatten von 80 x 150 mm beträgt die Messdauer 2 s. Die Zeilenkamera verfügt wahlweise über eine USB oder Gigabit-Ethernet Schnittstelle.

## Quantitative Auswertung nach DIN EN-ISO 21227-4

Aus den gewonnenen Bildern entnimmt die Software die charakteristischen Strukturen und wertet diese entsprechend der Norm DIN EN-ISO 21227-4 aus. Ermittelt werden die in der Norm definierten Kenngrößen der mittleren Korrosionsbreite  $f_A$  und der Variabilität der Filiformkorrosion  $g$  (Bild 3). Lage, Breite und Form des Testritzes (Kreuz, T-Form oder einzelner vertikaler Ritz) werden automatisch erkannt.

Der Filiform-Scanner erweitert die Reihe spezieller für Industrie und Forschung entwickelter Oberflächen-Scanner von Schäfer+Kirchhoff. Diese kommen auch in extremen Umgebungen zum Einsatz,



**Bild 2:** Die Aufnahmetechnik ist entscheidend für den Erfolg der automatischen Filiformanalyse. Das spezielle Aufnahmeverfahren des Filiform-Scanners von Schäfer+

Kirchhoff erzeugt kontrastreiche Bilder der Filiform-Strukturen (A und Zoom A). Dies sind optimale Voraussetzungen für die nachfolgenden Bildverarbeitungsalgorithmen.

Im Vergleich dazu zeigt das mit einem herkömmlichen Flachbettscanner aufgenommene Bild einer Testplatte einen sehr geringen Kontrast der Filiformstrukturen (B und Zoom B).



## Schäfter + Kirchhoff

<b>Filiform Scanner</b>	<b>SKan-FFC-USB</b>
Prüfverfahren:	DIN EN ISO 21227-4
Beleuchtung:	Hellfeld gerichtet
Auflösung:	40µm, 25 Pixel/mm
Bildgröße (BxH):	81.9mm x 143.4 mm
<b>Beschichtung</b>	
Hersteller:	Schäfter+Kirchhoff
Handelsname:	Perlglanz
Charge:	AL123456
Farbe:	Grau
<b>Prüfung</b>	
Prüfdatum:	13.05.2011
Bearbeiter:	Knoll
Bemerkung:	Filiform Analyse, LED Steuerung manuell

<b>Ergebnisse:</b>						
Ritzform:	Kreuz					
Sektoren:	4					
Sektor	w(mm)	l (mm)	L(mm)	Lr(mm)	fA(mm)	g
1	1.14	65.0	8.7	5.6	2.58	0.360
2	1.14	60.5	7.6	7.6	2.67	0.351
3	1.14	67.5	10.7	4.3	3.03	0.403
4	1.14	74.5	4.5	14.1	2.87	0.309
Gesamt	1.14	267.5	10.7	14.1	2.80	0.225

**Bild 4: Screenshot der automatischen Bildauswertung**  
Die Software wertet die charakteristischen Strukturen entsprechend der Norm DIN ISO 21227-4 aus. Ermittelt werden die in der Norm definierten Kenngrößen der mittleren Korrosionsbreite und der Variabilität der Filiformkorrosion. Im Bild links ist der von der Filiform-Korrosion betroffene Bereich rot hinterlegt.

wie z.B. in der Polarforschung bei Umgebungstemperaturen bis -40°C als Scanner für die Stratigraphie polarer Eisbohrkerne oder zur Untersuchung der Korngrenzen in polarem Eis. Das für die Aufnahme der Mikrostruktur des Eises entwickelte Großflächen Scan-Mikroskop (LASM, Large Area Scan Macroscop) ersetzt mit einer Messfeldbreite von 41 mm und einer Auflösung von 5 µm zeitaufwändige Mikroskopaufnahmen. Ähnliche Messköpfe von Schäfter+Kirchhoff sind in der Photovoltaik und in der Medizintechnik im Einsatz.

[3] DIN EN ISO 4623-1: Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion - Teil 1: Stahl als Substrat (ISO 4623-1:2000);

[4] DIN EN ISO 4623-2: Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion - Teil 2: Aluminium als Substrat (ISO 4623-2:2003);

[5] DIN EN ISO 21227-4: Beschichtungsstoffe - Beurteilung von Beschichtungsschäden mittels digitaler Bildverarbeitung - Teil 4: Beurteilung von Filiformkorrosion (ISO 21227-4:2008)

## Literatur

[1] DIN EN 3665: Luft- und Raumfahrt - Prüfverfahren für Anstrichstoffe - Prüfung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion von Aluminiumlegierungen

[2] DIN EN ISO 4628-10: Beschichtungsstoffe - Beurteilung von Beschichtungsschäden - Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen - Teil 10: Bewertung der Filiformkorrosion (ISO 4628-10:2003);

## Die Autoren

Dipl.-Ing. Peter Gips,  
Dr. Ulrich Oechsner  
Schäfter+Kirchhoff GmbH  
Kieler Str. 212  
D-22525 Hamburg  
www.sukhamburg.com  
info@sukhamburg.de

Dipl.-Chem. Marc Holz  
Institut für Oberflächentechnik GmbH  
Alexander-von-Humboldtstraße 19  
73529 Schwäbisch Gmünd  
www.ifo-gmbh.de  
info@ifo-gmbh.de

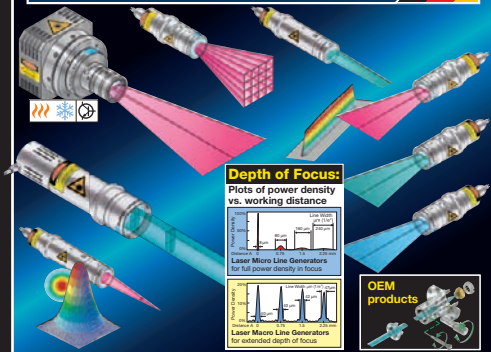
## Fiber Optic Components and Fiber Coupled Laser Sources

polarization maintaining for wavelengths 350 - 1700 nm  
Catalog download:  
www.SuKHamburg.de/fiberoptics



## Laser Line, Micro Focus, Laser Pattern Generators

Wavelength 405 - 2050 nm  
For Research and Machine Vision. Catalog download:  
www.SuKHamburg.de/laserlines



## Application

### Laser Line Generators

13LRM25S250-1.5 + 40TE-640-500-M33-T12-C-6

#### 3D Profiling and Process Control

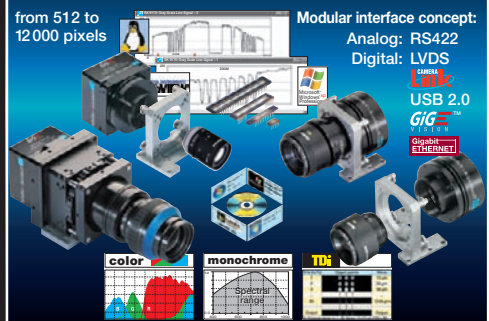


- High power laser lines for laser light sectioning
- Laser power up to 500 mW at 640 nm
  - Constant width and uniform intensity distribution
  - Digital interface
  - Micro line versions for maximum power density in focus
  - Macro line versions for extended depth of focus

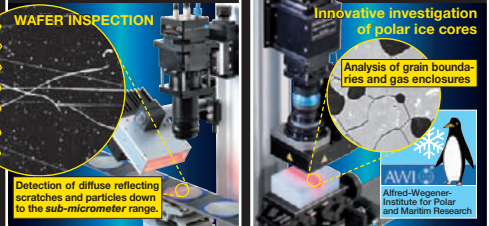
## Line Scan Cameras

for Research and Machine Vision. Color, monochrome, or TDI sensors.

Catalog download:  
www.SuKHamburg.de/linescan



## Applications



Schäfter+Kirchhoff develop and manufacture laser sources, line scan camera systems and fiber optic products for worldwide distribution and use.

**Schäfter + Kirchhoff** GmbH  
info@SukHamburg.de www.SuKHamburg.com