

# Dem Wurmfraß auf der Spur

## 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 oder anderen Beschädigungen der Beschichtung entstehen langsam fortschreitende fadenförmige Unterwanderungen, eine Erscheinung, die umgangssprachlich als Wurmfraß bezeichnet wird. Der vorgestellte Filiform-Scanner wurde entwickelt, um eine objektive Beurteilung dieser Korrosionserscheinung zu ermöglichen. Sein aus einer Zeilenkamera mit integrierter Hellfeld-Beleuchtung bestehender Messkopf liefert Aufnahmen hoher Qualität. Seine spezialisierte Software ermittelt objektiv die in internationalen Normen festgelegten Kenngrößen der Filiformkorrosion.

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.

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

Die Hersteller sind gefordert durch chemische und elektrochemische Vorbehandlung der Oberflächen und durch einen geeigneten Lack- und Beschichtungsaufbau das spätere Auftreten von Filiformkorrosion zu verhindern.

Bei der Verfahrensentwicklung und zur Überwachung der laufenden Produktion sichert der Einsatz standardisierter Prüfverfahren die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über lange Zeiträume.

### DIE AUTOREN

#### PETER GIPS

Peter Gips studierte Informationstechnik an der Technischen Universität Dresden. Nach Forschungstätigkeiten im Bereich digitale Signalverarbeitung an der Akademie der Wissenschaften in Berlin kam er im Jahr 1991 zu Schäfter+Kirchhoff. Er ist dort verantwortlich für die Bereiche digitale Bildverarbeitung und Softwareentwicklung.



Dipl.-Ing. Peter Gips  
Schäfter+Kirchhoff GmbH  
Kieler Str. 212  
22525 Hamburg, Germany  
Tel.: +49 (0)40 857 997-15  
Fax: +49 (0)40 857 997-79  
E-Mail: P.Gips@SuKHamburg.de  
Website: www.SuKHamburg.com

#### ULRICH OECHSNER

Ulrich Oechsner schloss sein Studium der Physik an der Universität Hamburg mit der Promotion ab. Nach Forschungstätigkeiten im Bereich Elektrophysiologie und physiologische Optik kam er im Jahr 2000 zu Schäfter+Kirchhoff. Er ist dort verantwortlich für die Bereiche Optik- und Systementwicklung.



Dr. Ulrich Oechsner  
Schäfter+Kirchhoff GmbH  
Kieler Str. 212  
22525 Hamburg, Germany  
Tel.: +49 (0)40 857 997-21  
Fax: +49 (0)40 857 997-79  
E-Mail: U.Oechsner@SuKHamburg.de  
Website: www.SuKHamburg.com

### Standardisierte Prüfverfahren

Für Laboruntersuchungen und zur Qualitätskontrolle wurden standardisierte Tests und Auswerteverfahren entwickelt [1–5]. Hierbei wird eine Vielzahl von Prüfplatten nach einem festgelegten Verfahren geritzt, unterschiedlichen korrosiven Atmosphären in Klimakammern oder im Freien ausgesetzt und anschließend ausgewertet. Die bisher vorherrschende manuelle Auswertung ist zeitlich aufwendig und 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 industriegerechten Aufnahmetechnik.

### Filiform-Scanner mit gerichteter Hellfeldbeleuchtung

Da die Filiformkorrosion lediglich die Oberflächenstruktur des beschichteten Materials verändert, Farbe und Tönung bleiben erhal-

ten, sind die fadenförmigen Unterwanderungen mit Standard-Aufnahmemethoden nur schlecht abzubilden. Sehr gute Ergebnisse werden dagegen mit gerichteter 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 (Abbildung 1). Parallel zum Sensor liegende Flächen reflektieren viel Licht in die Kamera und erscheinen hell (Abbildung 2). Das auf strukturierten Flächen oder abgeschrägte Kanten treffende Licht wird seitlich weg reflektiert und verfehlt die Objektivapertur, die betreffenden Bereiche erscheinen dunkel.

Die gerichtete Hellfeldbeleuchtung ist prädestiniert für die Abbildung reliefartiger Strukturen. Insbesondere bei Oberflächen mit hohem Glanzanteil ist deren Abbildung weitgehend unabhängig von der Farbe oder Textur der Oberfläche.

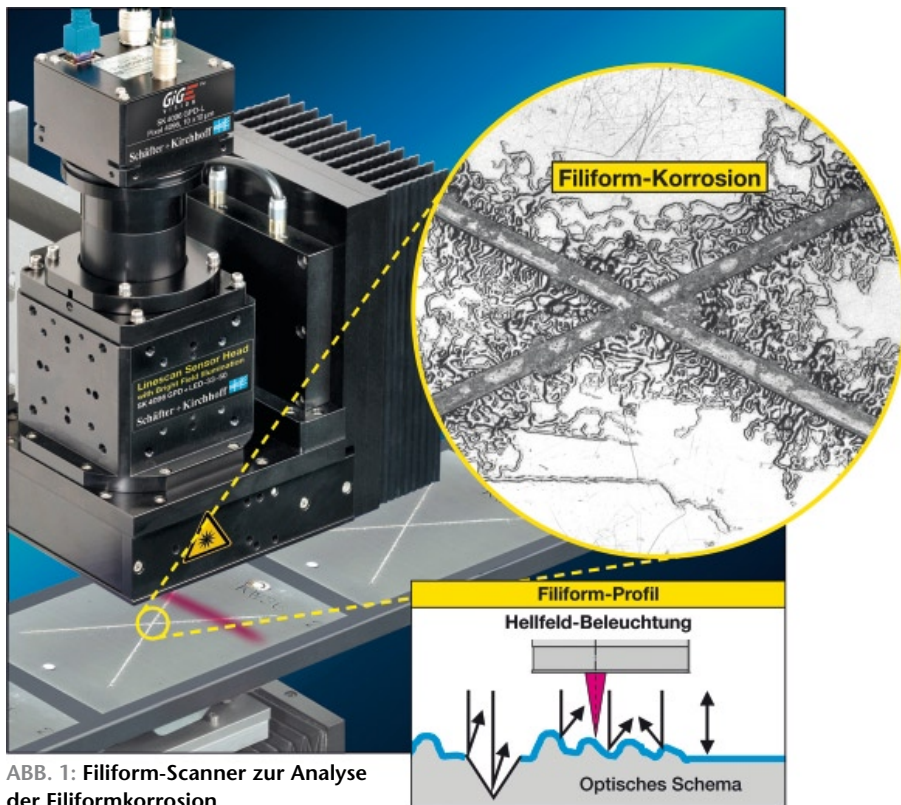


ABB. 1: Filiform-Scanner zur Analyse der Filiformkorrosion.

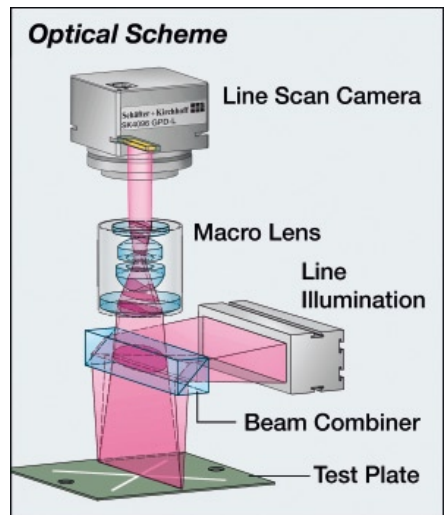


ABB. 2: Prinzip der gerichteten Hellfeldbeleuchtung. Parallel zum Sensor liegende Flächen reflektieren viel Licht in die Kamera und erscheinen hell. Das auf strukturierten Flächen treffende Licht wird seitlich weg reflektiert und verfehlt die Objektivapertur, die betreffenden Bereiche erscheinen dunkel.

Aufgrund der gerichteten Hellfeldbeleuchtung werden die Konturen der fadenförmigen Unterwanderungen kontrastreich abgebildet, die nachfolgende automatische Analyse findet optimale Bedingungen vor (Abbildung 3).

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 industriegerechten Messkopf integriert. Es ist lediglich ein definierter

Arbeitsabstand einzuhalten, Justierelemente, die versehentlich verstellt werden könnten (Fokuseinstellung, Blende usw.) sind nicht zugänglich.

Zeilenkameras sind Halbleiterkameras mit nur einer lichtempfindlichen Zeile. Zweidimensionale Bildaufnahmen entstehen wie beim Kopierer oder einem Faxgerät in Verbindung mit einer scannenden Bewe-

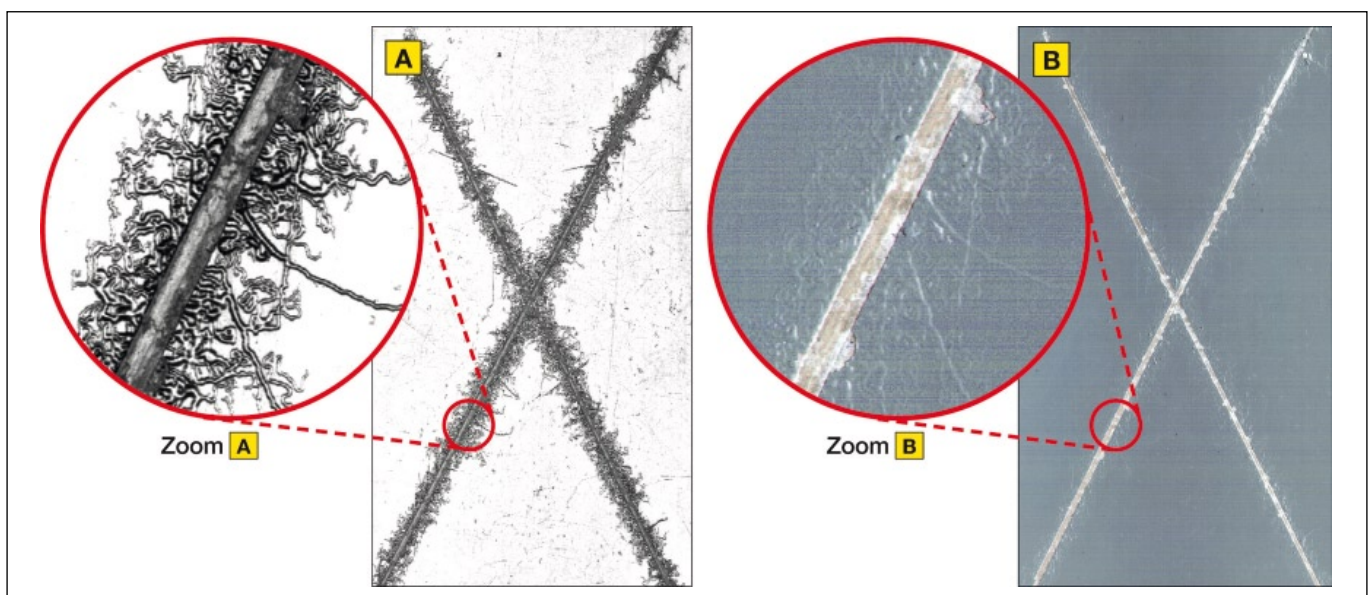


ABB. 3: Die Aufnahme-technik ist entscheidend für den Erfolg der automatischen Filiformanalyse. Das spezielle Aufnahmeverfahren des Filiform-Scanners von Schäfter+ Kirchhoff erzeugt kontrastreiche Bilder der Filiformstrukturen (A und Zoom A). Dies sind optimale Voraussetzungen für die nachfolgenden Bildverarbeitungs-algorithmen. Im Vergleich dazu zeigt das mit einem herkömmlichen Flachbettscanner aufgenommene Bild einer Testplatte einen sehr geringen Kontrast der Filiformstrukturen (B und Zoom B).

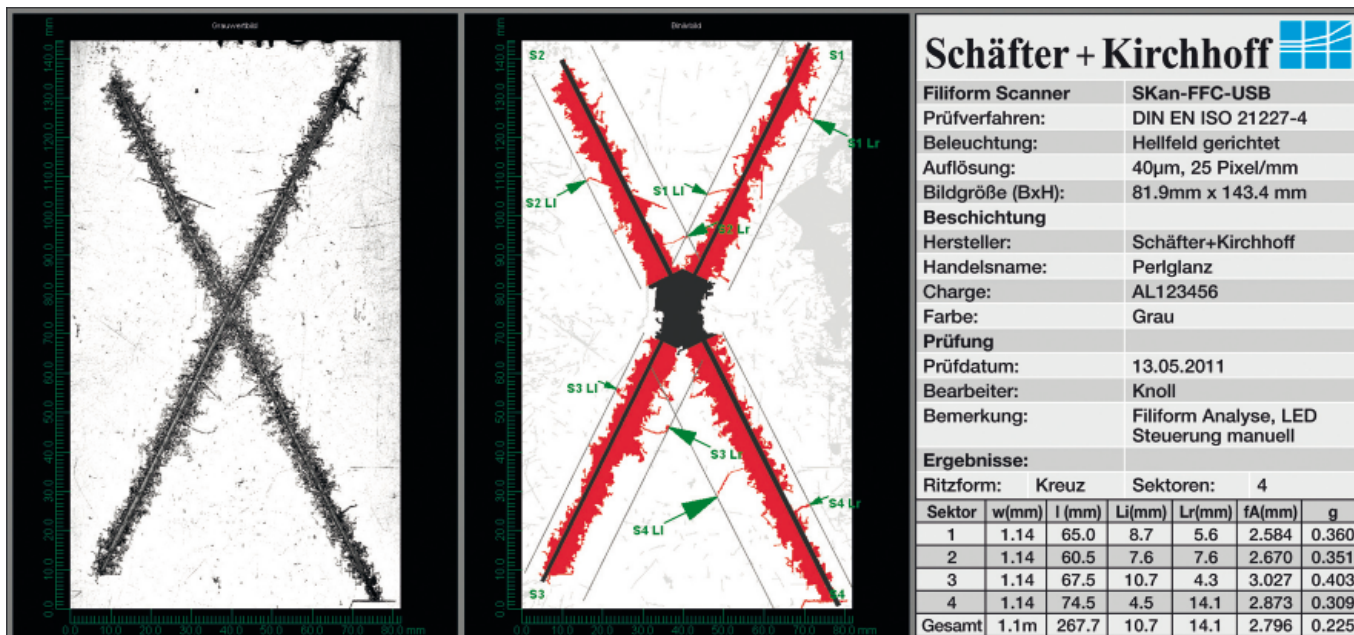


ABB. 4: Screenshot der automatischen Bildauswertung. Aus den gewonnenen digitalen Bildern entnimmt die Software die charakteristischen Strukturen und wertet diese entsprechend der Norm DIN ISO 21227-4 aus. Ermittelt werden die in der Norm definierten Kenngrößen der mittleren Korrosionsbreite und der Variabilität der Filiformkorrosion. Im Bild rechts ist der von der Filiformkorrosion betroffene Bereich rot hinterlegt.

## DIE FIRMA

### Schäfter+Kirchhoff

Hamburg

Schäfter+Kirchhoff wurde als Ingenieurbüro für Optik-Entwicklung gegründet. Während anfänglich vor allem hochwertige Kino- und Fernglasoptiken berechnet wurden, hat sich der Schwerpunkt der Firma im Laufe der Jahre in Richtung Optosensorik und Lasermesstechnik verschoben.

Im Bereich Optosensorik stehen vor allem Zeilenkameras und Zeilenkamerasysteme im Vordergrund, häufig kombiniert mit einer an die jeweilige Messaufgabe angepassten Beleuchtungs- und Aufnahmetechnik. Im Bereich Lasermesstechnik werden Laserliniengeneratoren für die 3D-Messtechnik und Faseroptik-Komponenten und Systeme angeboten. Die Komponenten finden Ihren Einsatz sowohl im industriellen Bereich, als auch in der Forschung. Bei Weltraumanwendungen und in der Polarforschung haben Sie Ihre Eignung für raue Umgebungen bewiesen.

Die Entwicklung und die Produktion finden am Firmenstandort in Hamburg statt, von wo aus auch der weltweite Vertrieb durchgeführt wird.

[www.SuKHamburg.com](http://www.SuKHamburg.com)

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

In der Standardkonfiguration erfasst der FiliformScanner 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-ISO 21227-4

Ein angeschlossener Rechner übernimmt die quantitative Auswertung der Kameradaten.

Aus den gewonnenen digitalen Bildern entnimmt die Software die charakteristischen Strukturen und wertet diese entsprechend der Norm DIN-ISO 21227-4 aus. Ermittelt werden die in der Norm definierten Kenngrößen der mittleren Korrosionsbreite  $fA$  und der Variabilität der Filiformkorrosion  $g$  (Abbildung 4). 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 ent-

wickelter Oberflächen-Scanner von Schäfter+Kirchhoff. Diese kommen auch in extremen Umgebungen zum Einsatz, wie z. B. in der Polarforschung bei Umgebungstemperaturen bis  $-40^{\circ}C$  als Scanner für die Stratiographie polarer Eisbohrkerne oder zur Untersuchung der Korngrenzen in polarem Eis.

### Referenzen

- [1] DIN EN 3665: Luft- und Raumfahrt – Prüfverfahren für Anstrichstoffe – Prüfung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion von Aluminiumlegierungen; Deutsche Fassung EN 3665:1997
- [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); Deutsche Fassung EN ISO 4628-10:2003;
- [3] DIN EN ISO 4623-1: Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion – Teil 1: Stahl als Substrat (ISO 4623-1:2000); Deutsche Fassung EN ISO 4623-1:2002
- [4] DIN EN ISO 4623-2: Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion – Teil 2: Aluminium als Substrat (ISO 4623-2:2003); Deutsche Fassung EN ISO 4623-2:2004
- [5] DIN EN ISO 21227-4: Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden mittels digitaler Bildverarbeitung – Teil 4: Beurteilung von Filiformkorrosion (ISO 21227-4:2008); Deutsche Fassung EN ISO 21227-4:2008