

JetCheck: Systemlösung für Inspektionen an Luftfahrzeugen mit aktiver Thermografie

Michael Wandelt

Automation Technology GmbH, Technologiepark 24, 22946 Trittau
Telefon: +49-(0)4154-98980, Email: info@automationtechnology.de

1. Einleitung:

Der harte Konkurrenzkampf im Bereich der Luftfahrt konfrontiert Fluggesellschaften mit einem hohen Kostendruck. Notwendige Einsparungen dürfen jedoch nicht zu Lasten der Sicherheitsstandards gehen. Denn gerade bei Flugzeugen kann ein Versagen von Bauteilen katastrophale Folgen mit sich bringen. Defekte müssen somit frühzeitig und mit hoher Zuverlässigkeit erkannt werden. Dabei müssen Inspektions- und Wartungsarbeiten eine besonders hohe Effizienz aufweisen.

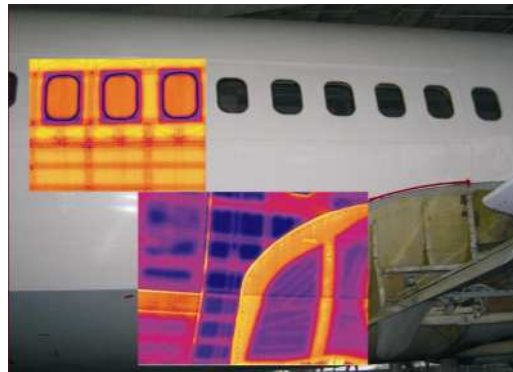
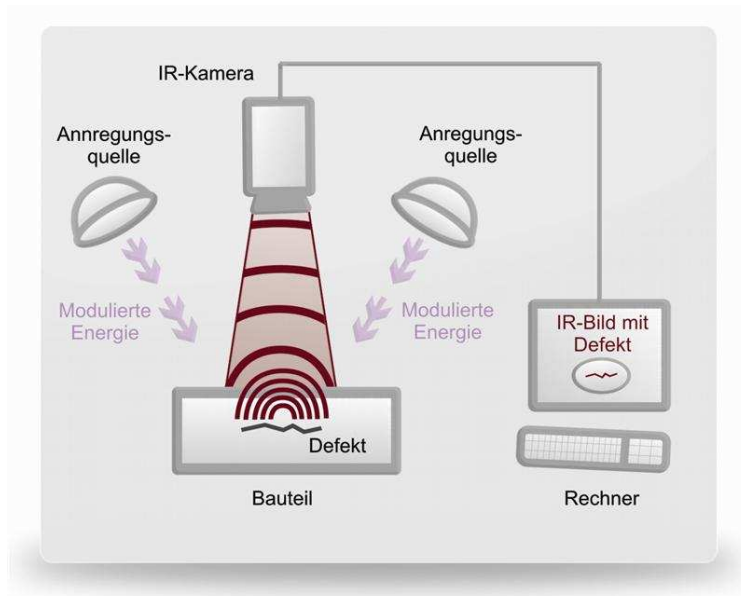


Bild 1: Flugzeuginspektion mit Hilfe aktiver thermischer Verfahren

Eine hervorragende Möglichkeit zur Reduktion der Prüfzeiten bei gleichzeitiger Steigerung der Zuverlässigkeit bieten die Verfahren der aktiven Thermografie. Die Firma Automation Technology hat auf Basis dieser Verfahren eine komplette Systemlösung entwickelt, mit welcher sich z.B. die Außenhaut von Luftfahrzeugen großflächig, schnell und zuverlässig prüfen lässt. Das System arbeitet vollkommen berührungslos. Es eignet sich sowohl zur Überprüfung der Struktur-Verklebungen und Nietverbindungen, wie auch zur Erkennung von Delaminationen und Wassereinschlüssen. Unterschiedliche Werkstoffe, wie z.B. Kohlefaserverstärkter Kunststoff oder Aluminium, stellen kein Problem dar. Das Messergebnis wird als Bild dargestellt und erlaubt so eine schnelle und zuverlässige Auswertung durch visuelle Inspektion.

2. Das Messprinzip:

Automation Technology's neuartiges Prüfsystem JetCheck basiert auf der Methode der LockIn-Thermografie. Dabei wird die Oberfläche des Messobjekts mit harmonisch modulierter Energie periodisch angeregt. Hierfür werden Wärmequellen, wie z.B. herkömmliche Halogenlampen oder Heißluftgebläse, verwendet. Ausgehend von der Oberfläche, setzt sich die aufgeprägte Temperaturmodulation als thermische Welle im Inneren des Bauteils phasenverschoben fort. Stößt sie auf eine Grenzfläche oder einen Defekt, so wird die thermische Welle an dieser Stelle teilweise reflektiert. Der reflektierte Anteil gelangt zurück zur Oberfläche und interferiert dort mit der aufgeprägten Modulation, was zu einer Veränderung des zeitlichen Verhaltens der Temperatur führt.



- ▶ **Thermische Anregung des Messobjekts mit einer modulierten Wärmequelle, z.B.**
 - ▶ **Wärmestrahler**
 - ▶ **Warmluft**
- ▶ **Aufzeichnung der Temperaturantwort des Messobjekts als Funktion der Zeit mit einer Infrarotkamera**
- ▶ **Auswertung des Temperatursignals**

Bild 2: Messprinzip der aktiven thermischen Verfahren

Zur Erfassung der Oberflächentemperatur wird eine Infrarotkamera mit hoher zeitlicher, thermischer und geometrischer Auflösung eingesetzt. Die Kamera sendet die thermischen Bilder an einen Rechner, auf welchem die Daten von einer speziellen Software ausgewertet werden. Eine pixelgenaue mathematische Analyse über die Bildfolge liefert als Ergebnis ein Phasenbild, welches die innere Bauteilstruktur mit ggf. vorhandenen Defekten zeigt. Durch die Art der Analyse spricht das Verfahren nur auf Temperaturveränderungen an, die der Modulationsfrequenz der Wärmequelle entsprechen. Störungen werden somit hervorragend ausgefiltert. Die Tiefenreichweite der Messung lässt sich über die Anregungsfrequenz einstellen. Sie beträgt das zweifache der Thermischen Eindringtiefe μ , wobei μ gegeben ist durch

$$\mu = \sqrt{\frac{2\lambda}{\omega \rho c}}$$

λ : Wärmeleitfähigkeit, ρ : Dichte, c : Wärmekapazität,
 ω : Kreisfrequenz der Modulation

Mit dem Messverfahren lässt sich demgemäß nicht nur das Vorhandensein eines Defekts erkennen, sondern auch die Tiefe/Position genauestens bestimmen.

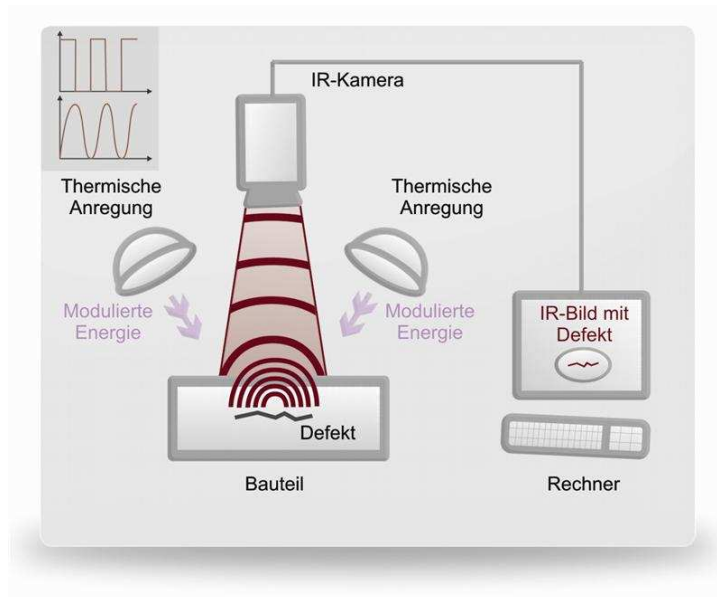


Bild 3: Messprinzip Lockin-Thermografie

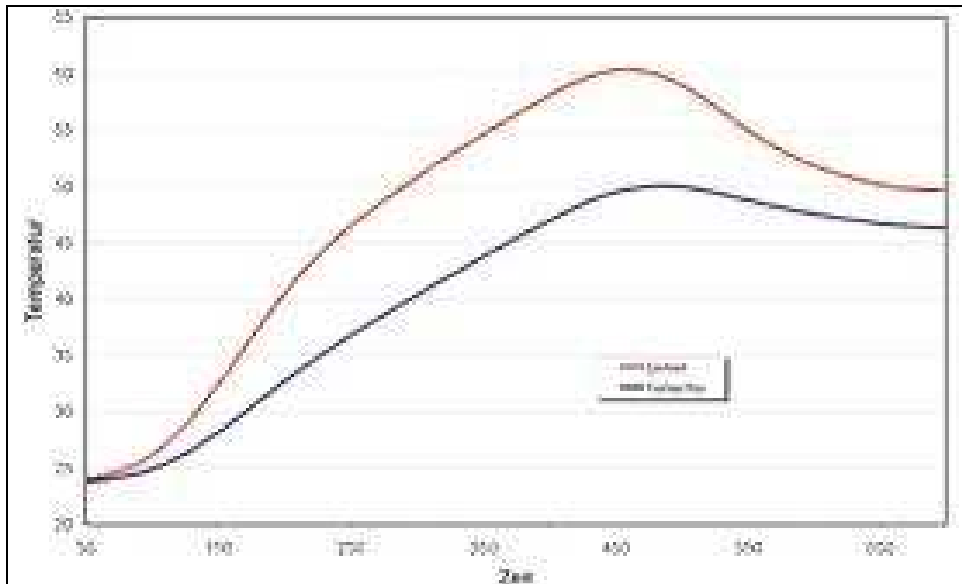


Bild 4: CFK-Probe mit Delamination: Typischer Temperaturverlauf an der Oberfläche der Probe bei thermischer Anregung mit einer sinusförmigen Wärmeschwingung

3. Die praktische Anwendung

In der Praxis wird die beschriebene Technik bereits von Fluggesellschaften zur Inspektion von Luftfahrzeugen genutzt. Trotz hochwertiger Verarbeitung sind die Bauteile einer Flugzeughülle nicht alterungsbeständig gegen die extremen dynamischen Belastungen bei Starts, Landungen und Flugbetrieb. Daneben können Schwachstellen z.B. durch Aufprallschäden entstehen. Die Lufthansa Technik, welche mit der Aufgabe der Instandhaltung der Flotte beauftragt ist, führt daher regelmäßige Inspektionen durch und setzt dabei das beschriebene System JetCheck zum Beispiel zur Überprüfung der Rumpfstruktur beim Flugzeugtyp Boeing 737 ein.



Bild 5: Flugzeug mit teilweise aufgerissenem Rumpf als Folge von Materialversagen

Während die Hülle eines Flugzeugs auf der Außenseite absolut glatt ist, weist sie innen eine Vielzahl von Spanten, Verstrebungen und Verstärkungen auf. Die dabei verwendeten Bauteile bestehen aus unterschiedlichen Materialien, die von kohlefaserverstärktem Kunststoff bis zu Aluminium reichen und meist miteinander verklebt oder vernietet sind. So ist auf der Innenseite des Rumpfs beispielsweise eine Vielzahl so genannter Riss-Stopper angebracht. Diese sollen verhindern, dass sich kleine Risse weiter ausdehnen und zu einem Versagen des gesamten Rumpfes führen. Beim Flugzeugtyp B737 wird mit JetCheck unter Anderem die Verklebung der Riss-Stopper mit der Flugzeughülle geprüft. Weiterhin können dabei auch andere Schadensarten, wie z.B. eingedrungenes Wasser oder gelöste Nieten, erkannt werden.

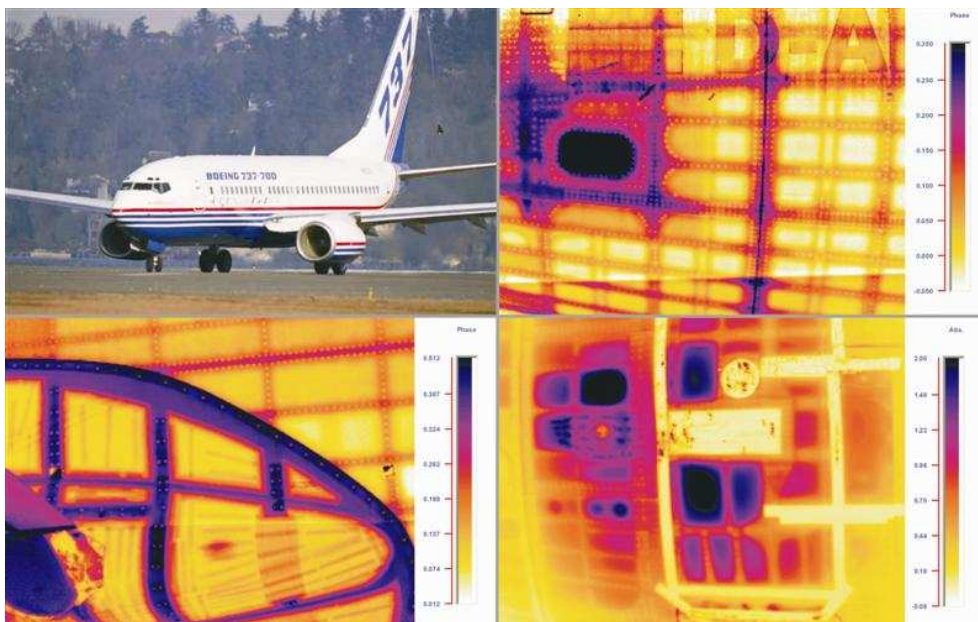


Bild 6: Ergebnisbilder von Messungen an einem Flugzeugrumpf. Die Innere Struktur mit eventuell vorhandenen Defekten wird deutlich angezeigt.

Großflächige Inspektionen des Flugzeugrumpfs waren bisher mit hohen Kosten und großen Aufwand verbunden. Die für derartige Inspektionen erlassenen Arbeitsanweisungen umfassen im Gesamtaufwand häufig mehrere hundert Mannstunden pro Flugzeug. Rechnet man die Ausfallkosten durch Stillstand des Flugzeugs mit hinzu, können die kalkulierten Gesamtkosten sehr hoch sein. Hingegen lässt sich mit dem Prüfsystem JetCheck die gleiche Prüfaufgabe mit einem Team aus 3 Mann an einem einzigen Tag bearbeiten. Die Arbeitsstunden des Personals lassen sich also auf einen Bruchteil reduzieren, was gleichzeitig auch die Stillstandszeit des Flugzeuges drastisch verringert.

Bei der Inspektion wird von der Außenseite gemessen. Als Wärmequelle kommt z.B. ein mit Standard-Halogenstrahlern bestücktes Lampenpanel zum Einsatz, dessen Leistung 16kW beträgt. Die einzelne Messung deckt eine Fläche von 1 – 2 m² ab, wobei alle möglichen Arten von Defekten, wie Delaminationen, lose Nieten oder Wassereinschlüsse identifiziert werden können. Vorausgesetzt, dass keine Defekte gefunden werden, ist die Maschine bei Anwendung des Prüfsystems JetCheck sehr schnell wieder flugbereit.

Für den Flugzeugtyp Boeing B737 wurde das Verfahren zwischenzeitlich sowohl vom Flugzeughersteller, als auch von der amerikanischen und der deutschen Luftfahrtaufsichtsbehörde anerkannt und ist Bestandteil der Arbeitsanweisung für diesen Flugzeugtyp.



Bild 7: Ergebnisbildern einer Rumpfindspektion

4. Resümee

Der Infrarot-Bildverarbeitung kann im Bereich der Luftfahrt ein hohes Potential zugesprochen werden. Sie bietet aus jeglicher Sicht gute Argumente für ihren vermehrten Einsatz:

- Aus technischer Sicht erreicht die Qualität der Prüfergebnisse ein neuartiges Niveau.
- Gleichzeitig kann der Zeit- und Kostenaufwand gegenüber herkömmlichen Prüfverfahren um Größenordnungen geringer sein.
- Für die Boeing B737 ist das Verfahren vom Flugzeughersteller und den Luftfahrtaufsichtsbehörden qualifiziert und ist Bestandteil der Arbeitsanweisung. Für weitere Flugzeugtypen ist die Qualifizierung in Vorbereitung.
- Mit dem vermehrten Einsatz von Composite-Materialien, dabei insbesondere von Kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK), wird das Prüfverfahren nochmals erheblich an Bedeutung gewinnen. Mit dem B787 Dreamliner wird in naher Zukunft das erste Großraum-Flugzeug mit einem Rumpf aus CFK eingeführt werden. Für derartige Materialien sind konventionelle Prüftechniken häufig nicht oder nur eingeschränkt geeignet. Dagegen liefert das beschriebene Prüfsystem gerade bei CFK und anderen Composites hervorragende Prüfergebnisse.