

Aktive Thermografie – mit neuer Prüfmethode mangelhafte Karosseriereparaturen und verdeckte Unfallschäden erkennen

Von Volker Carl*

Sachverständige werden immer wieder beauftragt festzustellen, ob Karosseriereparaturen z. B. in betrügerischer Weise mangelhaft ausgeführt wurden oder an einem Fahrzeug verdeckte Unfallschäden vorliegen. Im Ingenieurbüro Carl wurden jetzt mithilfe der aktiven Thermografie neue Prüfverfahren für komplette Fahrzeuge entwickelt, mit denen in kurzer Messzeit Mängel bildhaft aufgeklärt und dokumentiert werden können.

1 Einleitung

Der Begriff der Thermografie wird von vielen ausschließlich mit der Gebäudethermografie an Bauwerken in Verbindung gebracht. Kennzeichnend für diese, auch passive Thermografie genannte Technik, ist hierbei, dass lediglich die Eigenwärme des Messobjektes gemessen wird. Neben der passiven Thermografie hat sich in jüngster Vergangenheit die Entwicklung einer Prüftechnik vollzogen, die diese Technik in Verbindung mit unterschiedlichen, thermischen Anregungsarten nutzt und daher auch aktive Thermografie genannt wird und zur zerstörungsfreien Materialprüfung vorwiegend im Bereich der Luft- und Raumfahrt an Hochleistungsmaterialien eingesetzt wird.

Dieser Beitrag zeigt die momentanen Entwicklungen des Prüfverfahrens auf, auch im Bereich der Karosserieuntersuchung ein bildge-

bendes Verfahren einzuführen, um beispielsweise verdeckte Unfallschäden oder Mängel darzustellen bzw. zu dokumentieren.

2 Grundlagen

2.1 Passive Thermografie

Bei der Thermografie werden Infrarotkameras eingesetzt, deren Sensorchips Wärmestrahlung aus unterschiedlichen Wellenlängenbereichen im Infrarotbereich detektieren. Im Bereich der Automobilherstellung werden solche Systeme z. B. eingesetzt, um Komponenten zu überprüfen, die Wärme im Auto erzeugen. Dies können sein: heizbare Heckscheiben oder Sitze, **BILD 1**, Lenkräder etc. Auch in der Entwicklung oder im Bereich der Wartung können solche passiven Thermografiesysteme wertvolle Informationen über Wärmeverteilungen am Fahrzeug liefern.

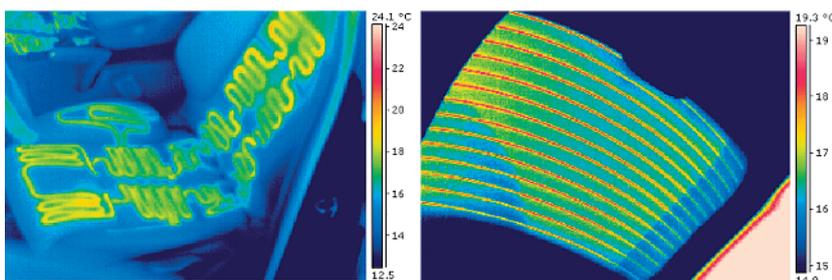


BILD 1: Temperaturmessung einer Sitzheizung und einer Heckscheibe mit passiver Thermografie

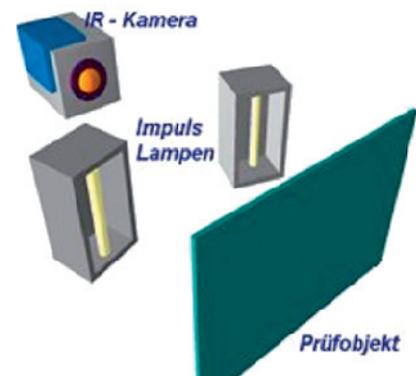


BILD 2: Konvektive Luftanregung mit Lichtimpulsen

2.2 Aktive Thermografie

Die Einbringung zusätzlicher Energie in ein Prüfobjekt erzeugt einen Wärmefluss im Material, sodass aufgrund dieser zusätzlichen, zeitabhängigen Messwerte auch Informationen aus der Tiefe eines Werkstoffes abgeleitet werden können. Daher werden bei dieser sogenannten aktiven Thermografie keine Einzelbilder wie bei der passiven Thermografie verwendet, sondern immer ganze Filmsequenzen. Die zusätzlich eingebrachte Wärmeenergie kann auf verschiedene Weise eingeleitet werden.

Bei der konvektiven Luftanregung, **BILD 2**, wird aufgeheizte Luft pulsierend oder impulsförmig durch oder auf das zu untersuchende Bauteil geleitet. Strahlungsstarke Xenonlampen setzen dazu die benötigte Energie innerhalb weniger Millisekunden als Wärmeimpuls frei.

Die Laseranregung, **BILD 3**, eignet sich dagegen hervorragend zur Untersuchung großer und dickwandiger Strukturen. Dabei wird das Resultat durch ständiges Abscannen ermittelt.

Bei der induktiven Anregung, **BILD 4**, wird durch eine der Geometrie des Bauteils angepasste Spule

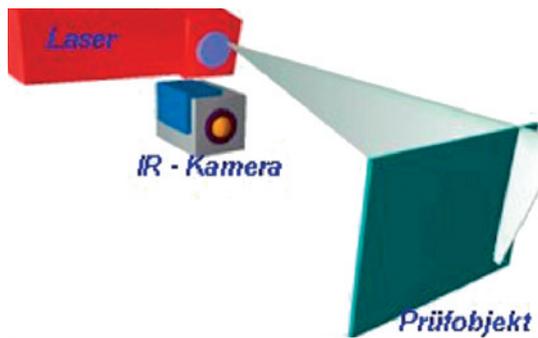


BILD 3: Laseranregung für große und dickwandige Strukturen

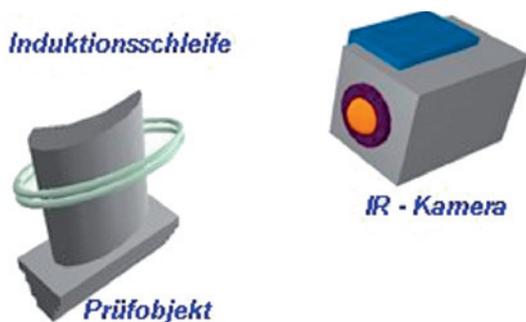


BILD 4: Induktive Anregung mit an das Bauteil angepasster Spule

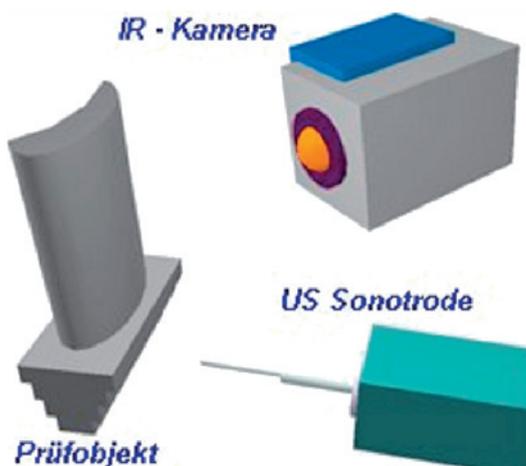


BILD 5: Ultraschallanregung mit ungerichtetem Schall

ein Wirbelfeld induziert, das wiederum einen Strom induziert.

Zudem kann die Ultraschallanregung, **BILD 5**, genutzt werden, um ungerichteten Schall impulsartig in den Werkstoff einzukoppeln. Durch unterschiedliche Auswertalgorithmen können Einflüsse wie beispielsweise Reflexionen oder Verunreinigungen der Oberfläche eliminiert werden und quantitative Aussagen über die Fehlertiefen getroffen werden.

Der Messeffekt bei allen Anregungsarten besteht darin, dass die Ausbreitung der Wärmewelle in das Material durch Materialfehler wie z. B. Delaminationen, Risse oder Dichtunterschiede im zeitlichen Verlauf

verändert wird und mit hochauflösenden Infrarotkameras detektiert werden kann. Im Falle der induktiven Anregung induzieren beispielsweise oberflächennahe Risse Veränderungen in der Stromdichte, die zu lokalen Temperaturänderungen an den Risspitzen führen. Die Einbringung von Ultraschall führt wiederum zu Reibungseffekten an den Risspitzen, die zu lokalen Temperaturerhöhungen führen.

Das Prüfverfahren ist grundsätzlich für fast alle Werkstoffe und Werkstoffverbindungen mit hoher Oberflächenemission einsetzbar. Speziell für die Prüfung von Verbundwerkstoffen wie etwa CFK und

GFK weist das Verfahren besondere Vorteile im Vergleich zu konventionellen Verfahren wie beispielsweise der Ultraschallprüfung auf, da es schnell und bildgebend ist und daher eine gute Möglichkeit der Schandokumentation bietet. Nachfolgend sind drei Beispiele aus dem Bereich Luft- und Raumfahrt dargestellt, in welchem das Verfahren ursprünglich entwickelt wurde, Bilder 6, 7 und 8.

BILD 6 zeigt eine beschichtete Turbinenschaufel mit Schichtbindungsfehler im Schnittbild. Im Bereich der Ablösung kann die Wärme nicht abfließen, sodass sich dort aufgrund des Wärmestaus ein höheres Temperaturniveau einstellt. Das Wärmebild rechts zeigt diese Stellen auf der Oberfläche der Turbinenschaufel als „Hotspots“ an.

In **BILD 7** (rechts) ist das Auswertebild eines Solarpanels dargestellt, das bei Satelliten als Stromgenerator dient. Hierbei wurde die Verklebung der einzelnen Solarzellen auf dem Trägermaterial geprüft. Im Falle eines Lufteinschlusses im Klebeinterface kann die Solarzelle infolge des Vakuums im Weltall zerstört werden. Die Lufteinschlüsse stören den Wärmefluss nach einer Impulswärmeanregung und werden im Auswertebild rot dargestellt.

Für die Raumstation ISS wird ein neuer Raumgleiter entwickelt, **BILD 8**, der im Notfall die Bordbesatzung zur Erde zurückbringen soll. Für den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre kommen neu entwickelte, hochtemperaturbeständige Materialien zum Einsatz. Die Impulsthermografie wurde hier von Beginn an bei einzelnen Teilen eingesetzt, um die Festigkeit bzw. Qualität zu überprüfen.

3 Einsatz der aktiven Thermografie bei verdeckten Mängeln an Fahrzeugen

Die aktive Thermografie stellt eine neue Prüfmethode dar, mit der mangelhafte Karosseriereparaturen und verdeckte Unfallschäden erkannt und bildhaft dargestellt werden können.

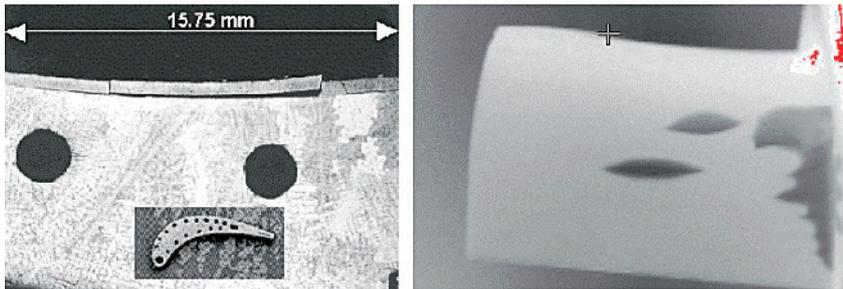


BILD 6: Beschichtete Turbinenschaufel mit Schichtbindungsfehler im Schnittbild (links), Wärmebild mit Fehlern als „Hotspots“ (rechts)



BILD 7: Überprüfung von geklebten Solarzellen auf Solarfeldern

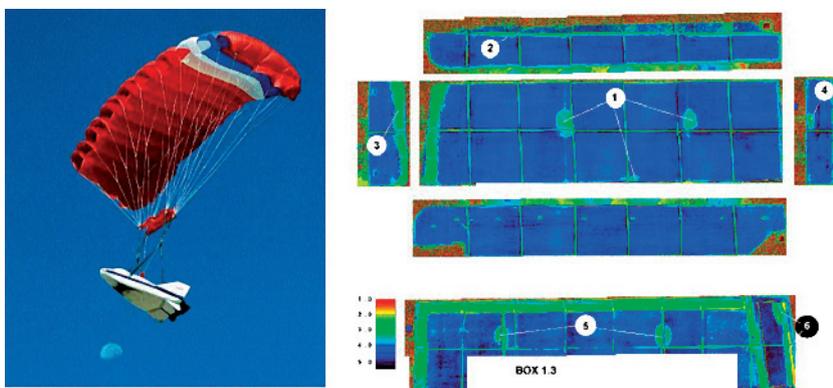


BILD 8: Überprüfung der Homogenität von Hochleistungswerkstoffen an einem neuen Raumgleiter

3.1 Prüfmethode

Derzeitig werden zwei Prüfvarianten verfolgt, **BILD 9**. Die Prüfung ganzer Fahrzeugkarosserien kann entweder mit Impulsanregung (Impulsblitzlampen) oder Lock-in-Anregung (Halogenlampen) erfolgen, wobei der apparative Aufwand mit Halogenlampen kostengünstiger und einfacher ist, jedoch Einbußen in der Ergebnisqualität hinzunehmen sind.

Bei der hochauflösenden, automatisierten Variante kommt die etwas aufwendigere Technik mit Impulsblitzlampen zum Einsatz, wobei ca. 16 Einzelprüfungen pro Fahrzeugseite durchgeführt werden. Ein komplettes Fahrzeug wird beidseitig in ca. 30 Minuten geprüft.

In der Entwicklung befindet sich parallel dazu ein Kleingerät auf Basis der Halogenlampenerwärmung. Mit diesem Gerät soll in kurzer Zeit

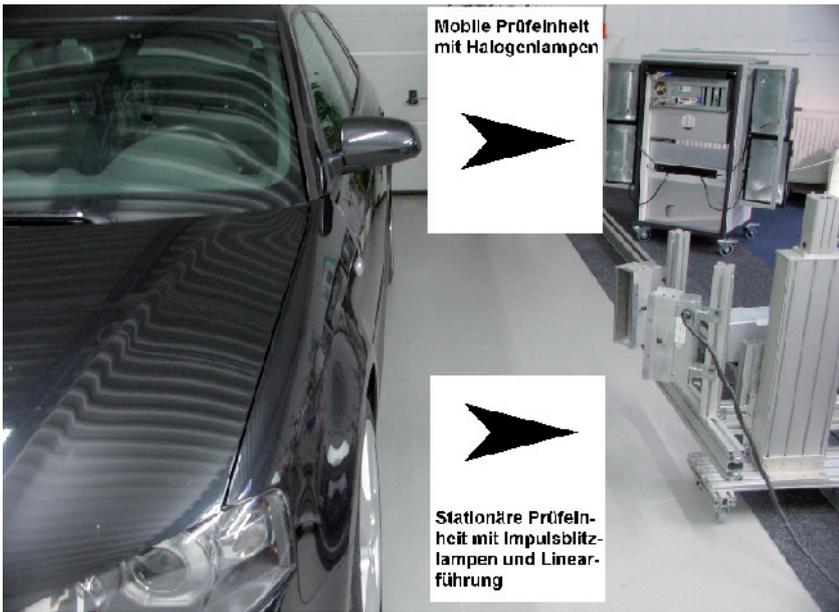


BILD 9: Die zwei unterschiedlichen Prüfkonzepte

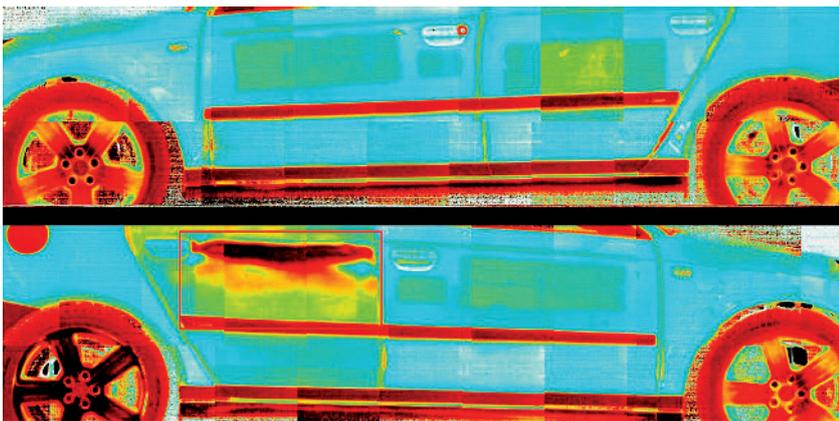


BILD 10: Deutliche Reparaturstelle an der hinteren rechten Tür: ausgebeult, gespachtelt und lackiert. Die Felge hinten rechts wurde ebenfalls nachlackiert.



BILD 11: Fiat Spider, Restaurierung eines Oldtimers

und nur mit einem Messvorgang ein großer Bereich des Fahrzeugs dargestellt werden. Dieses Gerät kann bei Prüfstellen oder Gutachtern zum Einsatz kommen.

3.2 Anwendungsbeispiele

Das folgende Beispiel zeigt die Ergebnisse einer Prüfung an einem sich optisch in einwandfreiem Zustand befindlichen Audi A3 Sportback, aufgenommen mit der Impulstechnik, BILD 10.

Im Bereich der hinteren Tür auf der rechten Seite zeigt sich ein lokal behobener Unfallschaden, bei dem deutlich Füllmaterial zu erkennen ist. Außerdem ist eine Nachlackierung des Hinterrades zu erkennen. Man sieht auch die Dämmmatten auf der Innenseite der Türen.

Das Prüfverfahren stellt jegliche Veränderung des Originalzustandes fest, da die Werkstoffparameter oder Verarbeitungsparameter niemals dem Originalzustand entsprechen.

Zwei weitere Beispiele für deutliche Anzeigen bei Nachlackierung und Füllmaterial zeigen BILD 11 und BILD 12.

Bild 11 stellt zur Dokumentati-on einer Oldtimer-Restauration die nachgearbeiteten Reparaturstellen bildhaft dar. Unbehandelte Blechstellen werden hier in dunkelblauer Farbe dargestellt. In Abhängigkeit der Gesamtdicke des aufgetragenen Füllers/Spachtels werden die Reparaturstellen entsprechend der unter dem Fahrzeug dargestellten Farbrampe farblich dargestellt. Da das Füllmaterial eine deutlich andere Wärmeleitfähigkeit besitzt als das Blech, sind die Unterschiede sehr kontrastreich darstellbar.

Ein verdeckter Unfallschaden ist in Bild 12 dargestellt. Bei diesem Fahrzeug war nur der vordere Unfallschaden bekannt. Wie im Beispiel zuvor schon beschrieben, ist hier lokal Füllmaterial zu erkennen. Außerdem ist das typische Kreuzmuster einer Handlackierung am Frontspoiler zu erkennen. Nicht bekannt war die Reparatur des Fahrzeughecks. Sehr gut ist der Übergang von blau nach grün im Bereich der Reparaturstelle zu erkennen. Zum Vergleich der



BILD 12: Porsche mit verdecktem Unfallschaden

Messwerte ist ebenfalls das Ergebnis gegenübergestellt, das mit einem Lackdickenmessstift ermittelt wurde. Die punktuell aufgenommenen Werte korrelieren sehr gut zum Auswertebild der Impulsthermografie.

Auch eine z. B. robotergeführte Nachlackierung einer Austauschür führt zu minimal veränderter Lackdicke und Schichteigenschaften, die im Auswertebild sofort erkannt werden. Dies gilt im verstärkten Maße für das per Hand nachlackierte Ersatzteil. Füllmaterial wie Zinn oder Spachtelmasse oder auch Schweißnähte sind aufgrund der Materialcharakteristik oder Materialdicke vom Originalzustand zu unterscheiden.

Eine Vielzahl von Testmessungen an Neufahrzeugen und Oldtimern konnte die unbeantworteten Fragen nach Originalität oder Qualitätszustand bildhaft aufklären.

Der Vorteil der aktiven Thermografie gegenüber der Überprüfung mit Lackdickenstift oder Magnet liegt in der kurzen Messzeit und der bildgebenden Möglichkeit einer Dokumentation.

4 Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Impulsthermografie-Verfahren bietet bei Fahrzeugen gegenüber den herkömmlichen

Messmethoden eine bildgebende Möglichkeit der Dokumentation von Karoserieschäden oder Reparaturen auf. Verborgene Reparaturstellen unter dem Lack oder nachträgliche Lackarbeiten können aufgrund ihres thermischen Verhaltens eindeutig charakterisiert und dokumentiert werden. Die Impulsthermografie unterscheidet sich von der Thermografie, die durch Wärmedarstellung z. B. an Häusern bekannt ist, dadurch, dass der Prüfgegenstand thermisch angeregt und der dynamische Wärmefluss ausgewertet wird. Dabei werden zwei Verfahren unterschieden: das stationäre hochauflösende System mit automatischer Nachführung der Prüffelder mit Impulsblitzlampen und das mobil einsetzbare System mit Halogenlampe, aber schlechterer Ortsauflösung.

* Autor

Dipl.-Ing. Volker Carl ist Inhaber des Ingenieurbüros Carl Messtechnik und Prüfsysteme in Dinslaken. ::