

## Kurzfassung

Der Einsatz kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe (CFK) ist schon lange nicht mehr nur auf die Luft- und Raumfahrt begrenzt, sondern findet auch breite Anwendung in anderen Industriezweigen wie der Automobilbranche, der Sport- und Freizeitindustrie, der Medizintechnik und weiteren Branchen. Deswegen sind für diese Werkstoffe in der Produktion und in der Gebrauchsphase effiziente Prüfverfahren erforderlich. Die Akzeptanz der Industrie hinsichtlich eines Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) ist im Wesentlichen von der Zuverlässigkeit und der Genauigkeit der quantitativen Angaben abhängig. Eine geeignete Methode zur Prüfung von Verbundwerkstoffen ist die Infrarot-Thermografie (IRT), eine optische und bildgebende Prüfmethode zur Erfassung der Oberflächentemperatur, die sich vor allem in den letzten Jahren stark weiterentwickelt hat. Aktuell verwendete Methoden zur zeitaufgelösten und lateral orts aufgelösten Quantifizierung von Defekten im Rahmen der IRT basieren auf der direkten Auswertung der aufgenommenen Infrarot-Bilder, was in Bezug auf die Empfindlichkeit gegenüber tieferliegenden Defekten und der Genauigkeit bei der Angabe der lateral Größe jedoch stark limitiert ist.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der zeitaufgelösten und lateral orts aufgelösten Quantifizierung von Defekten in CFK unter Verwendung der passiven Thermografie während der Schädigungsentstehung sowie der aktiven Thermografie als unabhängige Inspektionsmethode. Das Potenzial der Quantifizierung anhand von Amplituden- und Phasenbildern der aktiven und passiven Thermografie wird mit den bekannten Methoden der Analyse der IR-Bilder verglichen. Hierfür werden drei voneinander unabhängige Anwendungsfälle verwendet: die aktive Thermografie zur ZfP an CFK Platten mit künstlichen Delaminationen in Form von Folien, die In-situ-Überwachung im Rahmen der quasi-statischen Zugprüfung unter Verwendung der passiven Thermografie und die Visualisierung von Impactschädigungen mit Hilfe der passiven und aktiven Thermografie. Die Genauigkeit der Quantifizierung ist vor allem von dem durch einen Defekt verursachten Kontrast abhängig, welcher durch die Auswertung der Amplituden- und Phasenbilder erheblich gesteigert wird. Die Angabe zur lateralen Defektgröße ist damit insgesamt genauer und ermöglicht auch die Quantifizierung tieferliegender Defekte. Auch die Beschreibung des Degradationsverhaltens kann durch Verwendung der Amplitudenbilder zuverlässiger umgesetzt werden, wobei Schädigungsereignisse im Rahmen der In-situ-Überwachung auch noch in der vierten Lage (in einer Tiefe von etwa 0,4 mm) visualisiert werden können. Bei der Visualisierung von Impactschädigungen kann sowohl die passive, als auch die aktive Thermografie verwendet werden, wobei die Auswertung der Amplituden- und Phasenbilder ebenso geeignet ist wie die der IR-Bilder.

## Abstract

The use of carbon fiber-reinforced polymers (CFRP) is no longer limited to the aerospace industry, but is also widely common in other industries such as automotive, sports and leisure, medical technology and other markets. In this context, these materials require efficient testing technologies during production and during their service life. Industry acceptance of a non-destructive testing (NDT) method is largely dependent on the reliability and accuracy of quantitative data. A suitable method for testing composites is infrared thermography (IRT), an optical and imaging testing method for detecting surface temperature and which has undergone significant development, especially in recent years. Currently used methods for time-resolved and laterally spatially resolved quantification of defects in the context of IRT are based on direct evaluation of the acquired IR images, which is however significantly limited in sensitivity to deeper defects and accuracy in indicating lateral size.

The present work deals with time-resolved and laterally spatially resolved quantification of defects in CFRP using passive thermography during damage initiation and active thermography as an independent inspection method. The potential of quantification using amplitude and phase images of active and passive thermography is compared with known methods of analysis of IR images. Three independent use cases are used for this purpose: the active thermography for NDT on CFRP sheets with artificial delaminations in form of foils, the in-situ monitoring in the context of quasi-static tensile testing using passive thermography and visualization of impact damage using passive and active thermography. The accuracy of quantification depends mainly on the contrast caused by a defect, which is significantly increased by evaluating the amplitude and phase images. The information on lateral defect size is thus more accurate overall and also allows deeper defects to be quantified. The description of the degradation behavior can also be implemented more reliably by using the amplitude images, whereby damage events can still be visualized in the fourth layer (at a depth of about 0.4 mm) as part of in-situ monitoring. In the visualization of impact damage, both passive and active thermography can be used, with the evaluation of the amplitude and phase images being equally suitable as that of the IR images.