

DIN 54184

ICS 19.100

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Impulsthermografie mit optischer Anregung**

Non-destructive testing –
Pulse thermography using optical excitation

Essais non-destructifs –
Thermographie pulsée optique

Gesamtumfang 33 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Inhalt

Seite

Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	5
4 Personalqualifikation	6
5 Funktionsweise der Impulsthermografie und Geräteaufbau	6
5.1 Allgemeines und Gesamtaufbau	6
5.2 (Anforderungen an) Anregungsquellen	7
5.3 Alternative Strahlungsquellen mit Impulsanregung	9
5.4 Anforderungen an IR-Kameras	9
5.5 Probenpositionierung	10
5.6 Arbeitsschutz	10
6 Festlegung und Überprüfung der Kennwerte	12
6.1 Referenzprobekörper	12
6.2 Eindringtiefe	12
6.3 Örtliche Auflösung	13
6.4 Nachweisempfindlichkeit	14
6.5 Homogenität der Anregung	15
7 Vorbereitung der Prüfung	15
8 Durchführung der Prüfung	16
9 Datenauswertung	17
9.1 Allgemeines	17
9.2 Auswertung des Temperaturkontrastes	17
9.2.1 Allgemeines	17
9.2.2 Bestimmung des Temperaturkontrastes	18
9.2.3 Bestimmung des SNR	19
9.3 Puls-Phasen-Thermografie (PPT)	19
9.3.1 Allgemeines	19
9.3.2 Einfluss des Zeitbereichs	19
9.3.3 Einfluss der Bildwiederholrate	19
9.3.4 Optimierung der PPT	20
9.3.5 Bestimmung der Tiefe einer Fehlstelle aus der Blindfrequenz	20
9.4 Thermal Signal Reconstruction (TSR)	21
9.5 Principal Component Analysis (PCA, Hauptkomponentenanalyse)	23
10 Prüfbericht	24
Anhang A (informativ) Kalorimetrische Energiebestimmung von Anregungsquellen	25
Anhang B (informativ) Analytische 1D Lösung der Wärmeleitungsgleichung für Platten	27
Anhang C (informativ) Beispiel für die Auswahl der Phasenwerte bei der Auswertung mit der Puls-Phasen-Thermografie	29
Anhang D (informativ) Muster Prüfprotokoll	31
Literaturhinweise	33

Vorwort

Dieses Dokument wird vom Arbeitsausschuss NA 062-08-27 AA „Visuelle und thermografische Prüfung“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) bearbeitet.

Dieser Normvorschlag wurde von einer Arbeitsgruppe zur Blitzthermografie im Rahmen des Förderprogramms „TNS — Transfer von FuE Ergebnissen durch Normung und Standardisierung“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie angestoßen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Durchführung der Impulsthermografie mit optischer Anregung zum Zweck der Zustandsanalyse fest. Diese Prüfungen dienen

- dem Nachweis von Fehlern und anderen Unregelmäßigkeiten;
- der Bestimmung von Geometrien/Formen parallel zur Messoberfläche;
- der Bestimmung der Überdeckung von Fehlstellen und von Schichtdicken;
- der Bestimmung von thermischen Materialeigenschaften.

Die Impulsthermografie mit optischer Anregung wird dazu unter Verwendung von Blitzlampen oder einer ausreichend starken LED- oder Laserquelle eingesetzt. Bei Materialien mit kleiner Temperaturleitfähigkeit können zur Erwärmung auch impulsartige Wärmequellen mit längeren Erwärmungszeiten verwendet werden.

Anwendungsgebiete der Impulsthermografie mit optischer Anregung sind in der industriellen Fertigung (Verbundwerkstoffe, Fahrzeug-, Triebwerks- und Kraftwerkskomponenten, Fügetechnik, additive Fertigung, elektronische Bauelemente usw.) und in der Instandhaltung (Luft- und Raumfahrt, Kraftwerksanlagen, Versorgungstechnik, Bauwesen usw.) zu finden. Nur eingeschränkt eignet sich das Verfahren zur Prüfung von Materialien mit sehr hohem Porenanteil (z. B. Dämmstoffe).

ANMERKUNG In diesem Dokument wird die Impulsthermografie mit optischer Anregung auch als Impulsthermografie bezeichnet. Allgemein wird auch der Begriff Blitzthermografie verwendet.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN 17119, *Zerstörungsfreie Prüfung — Thermografische Prüfung — Aktive Thermografie*

DIN EN 16714-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Thermografische Prüfung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

DIN EN 16714-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Thermografische Prüfung — Teil 2: Geräte*

DIN EN 16714-3, *Zerstörungsfreie Prüfung — Thermografische Prüfung — Teil 3: Begriffe*

DIN EN 62471, *Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert)*

DIN EN ISO 9712, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung*

ASR A 3.4, *Technische Regeln für Arbeitsstätten — Beleuchtung (Ausgabe: April 2011, zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287)*

BGBl. I Nr. 38/2010, *Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen*¹⁾

1) Einzusehen unter: <https://www.bgbl.de>

Ein unverbindlicher Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung

TROS IOS (alle Teile), *Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung — TROS Inkohärente Optische Strahlung*

2006/25/EG, *Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN EN 16714-3 und die folgenden Begriffe.

3.1

Impulsthermografie

Blitzthermografie

aktive Thermografie, bei der so kurzzeitig erwärmt wird, dass während der Erwärmung noch keine wesentlichen Wärmetransportprozesse im Material stattgefunden haben

3.2

Puls-Phasen-Thermografie

PPT

Frequenzanalyse der zeitlichen Abkühlung nach Impulsanregung mit Darstellung von Amplituden- und Phasenbildern

3.3

Blindfrequenz

Anregungsfrequenz, bei der die Phasenverschiebung des Defektes den gleichen Wert aufweist wie die ungeschädigten Bereiche des Prüfobjektes

3.4

Hauptkomponentenanalyse

PCA

(en: Principle Component Analysis)

orthogonale lineare Transformation von Thermografiesequenzen

3.5

Einzelwertzerlegung

SVD

(en: Singular Value Decomposition)

mathematisches Verfahren, mit der die PCA durchgeführt wird

3.6

Thermal Signal Reconstruction

TSR

Anpassung des zeitlichen Temperaturverlaufs der Abkühlung nach Blitzanregung mit einem Polynom nach doppeltlogarithmischer Darstellung

3.7

Blitzlampe

mit Xenon-Gas gefüllte Blitzröhre, über die ein Kondensator entladen wird

3.8

Aspektverhältnis

Verhältnis der lateralen Ausdehnung einer Fehlstelle oder Inhomogenität zu ihrer Überdeckung

4 Personalqualifikation

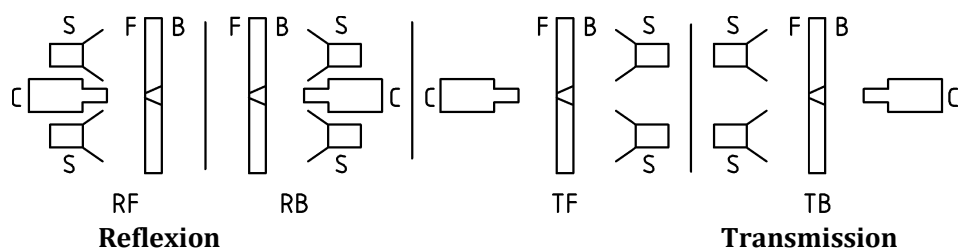
Kenntnisse und Fertigkeiten in der Impulsthermografie müssen durch eine Qualifizierung nachgewiesen werden. Als Nachweis dient ein Qualifizierungsnachweis nach DIN EN ISO 9712 oder gleichwertig. Das Prüfpersonal muss hinreichende Kenntnisse über die Prüfgegenstände, ggf. über die Fertigungsprozesse und über die möglicherweise auftretenden nachzuweisenden Fehler besitzen.

5 Funktionsweise der Impulsthermografie und Geräteaufbau

5.1 Allgemeines und Gesamtaufbau

Bei der Impulsthermografie erwärmt ein kurzer und energiereicher Impuls die Oberfläche des Prüfobjektes. Erst im Anschluss an die Erwärmung erfolgt der wesentliche Anteil der Wärmediffusion in das Innere des Prüfobjektes hinein und kann dabei durch Fehlstellen verschiedener Art beeinflusst werden. Die Größe, die Tiefe, die Abweichung der thermischen Eigenschaften einer Fehlstelle gegenüber dem umgebenden Material und die Energie und Dauer der thermischen Anregung bestimmen deren thermischen Kontrast auf der Oberfläche und zusammen mit den Gerätekenngößen der Infrarot(IR)-Kamera deren Nachweisbarkeit. Da die Erwärmung möglichst homogen über die Prüfoberfläche erfolgt, findet die Wärmediffusion im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche statt, so dass Fehlstellen mit Orientierung parallel zur Oberfläche (z. B. Ablösungen von Beschichtungen, Hohlstellen, Einschlüsse) am besten nachgewiesen werden können.

Wie in DIN EN 17119 beschrieben, kann die Prüfung sowohl in Reflexions- als auch in Transmissionskonfiguration durchgeführt werden. In Reflexionskonfiguration befinden sich die Anregungsquellen und die IR-Kamera auf derselben Seite des Prüfobjektes, in Transmissionskonfiguration auf gegenüberliegenden Seiten. Durch Vertauschen von Vorder- und Rückseite kann somit ein Prüfobjekt bei beidseitiger Zugänglichkeit insgesamt in vier verschiedenen Konfigurationen untersucht werden, siehe Bild 1. In Tabelle 1 werden beide Konfigurationen mit ihren Anforderungen und Vor- und Nachteilen gegenübergestellt.



Legende

- F Vorderseite
- B Rückseite
- R Reflexion
- T Transmission
- S Anregungsquelle
- C IR-Kamera

Bild 1 — Mögliche Konfigurationen von Anregungsquellen und IR-Kameras in Reflexion und Transmission

Tabelle 1 — Anforderungen an und Eigenschaften von Reflexions- und Transmissionsmessungen

Anforderungen und Eigenschaften	Reflexionskonfiguration	Transmissionskonfiguration
Voraussetzungen der Zugänglichkeit des Prüfobjektes	einseitige Zugänglichkeit	beidseitige Zugänglichkeit
Geometrie des Prüfobjektes	keine wesentlichen geometrischen Abhängigkeiten	Prüfobjekt sollte nicht zu dick sein, damit Anregungssignal auf der gegenüberliegenden Seite detektiert werden kann
Voraussetzungen an Versuchsaufbau	das Prüfobjekt sollte das Blitzlicht nicht direkt in die IR-Kamera reflektieren → Wahl geeigneter Winkel im Versuchsaufbau	die Anregungsquellen sollten nicht direkt in die IR-Kamera hineinleuchten → Abschirmung des optischen Impulses über die Kanten des Prüfobjektes hinweg, z. B. mit einem Rahmen
relative Eindringtiefe im Vergleich	halb so groß wie bei Transmission	doppelt so groß wie bei Reflexion
Nachweisbarkeit von Fehlstellen	Fehlstellen nahe der Oberfläche (d. h. größeres Aspektverhältnis) und mit großem Effusivitätsunterschied können besser als in Transmission nachgewiesen werden	Fehlstellen in der Mitte des Bauteils (kleineres Aspektverhältnis als bei Reflexion) und mit großem Unterschied in der Temperaturleitfähigkeit können besser als in Reflexion nachgewiesen werden
laterale Auflösung	höhere laterale Auflösung bei flachen Fehlstellen als in Transmission	höhere laterale Auflösung bei tieferliegenden Fehlstellen als in Reflexion
Tiefenauflösung	wird durch die Überdeckung der Fehlstelle und bei geringen Überdeckungen auch durch die Bildwiederholrate bestimmt	nur integrale Information über den Gesamtquerschnitt der Probe möglich, also keine Tiefenauflösung
Bestimmung der Überdeckung von Fehlstellen	möglich, z. B. über den zeitlichen Verlauf des Temperaturkontrastes, mit PPT oder mit TSR	nicht möglich
Dickenmessung des Gesamtprüfobjektes	möglich	möglich
Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit des ungestörten Materials	möglich	sehr gut geeignet, da Anpassung mit analytischem Modell einfach zu realisieren

5.2 (Anforderungen an) Anregungsquellen

Bei der Auswahl der Energie, Anzahl und des Abstands der verwendeten Anregungsquellen ist zu berücksichtigen, dass die erreichte Temperaturerhöhung keine Beschädigung des Prüfobjektes verursacht und dass der in 5.6 beschriebene Arbeitsschutz eingehalten wird. Aus Gründen des Arbeitsschutzes (Berührung) und

zur spektralen Trennung der Anregungsquelle vom Empfindlichkeitsbereich des IR-Detektors (auch zum Schutz des IR-Kamera-Detektors) sollten die Anregungsquellen immer zusammen mit einem optisch transparenten und im infraroten undurchlässigem Fenster (Plexiglasplatte, Glasplatte) vor der Lampe betrieben werden.

Die verwendeten Anregungsquellen sollten eine homogene Erwärmung der Oberfläche des Prüfobjektes mit möglichst hoher Energiedichte (Energie je Flächeneinheit) ermöglichen. Dies wird zum einen mit einem Reflektor erreicht. Um die Homogenität der Erwärmung zu verbessern und/oder um eine möglichst hohe Energiedichte zu erreichen, können zum anderen auch mehrere miteinander synchronisierte Anregungsquellen verwendet werden.

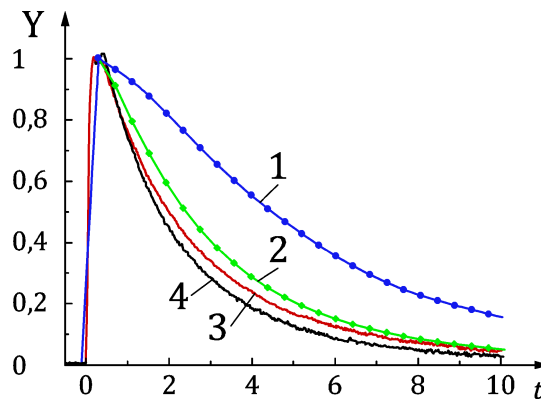
Zur Bestimmung der relativen räumlichen Verteilung der Energiedichte kann vor der Prüfung ein Thermogramm einer Platte mit möglichst homogener und hoher Oberflächenabsorption während der Blitzanregung aufgenommen werden (siehe auch Referenzprobekörper nach DIN EN 16714-1).

Die Stabilität der höchsten Intensität der von Blitzlampen abgegebenen Impulse liegt bei niedrigen Blitzfrequenzen (< 1 Hz) bei etwa 1 %. Blitzlampen altern jedoch und mit der Gesamtanzahl der von einer Lampe ausgesendeten Blitze nimmt die Intensität der Impulse ab. Bei Bedarf kann die absolute Energiedichte in einer definierten Konfiguration ermittelt werden (siehe Anhang A). Für bestimmte quantitative Untersuchungen ist es ebenfalls erforderlich, die von den Anregungsquellen abgegebene Energiedichte am Ort des Prüfobjektes zu bestimmen. Über die Erwärmung kleiner geschwärzter Metallplättchen kann die absolut abgestrahlte Energie der Anregungsquelle bezogen auf die Fläche des Plättchens berechnet werden. Dabei wird von einem linearen Zusammenhang der Temperatur des Plättchens und der abgestrahlten Lampenenergie ausgegangen. Während wie oben beschrieben die relative Energieverteilung gut über die Erwärmung einer großflächigen Platte ermittelt werden kann, können davon einzelne Werte lokal über das Plättchen absolut ermittelt werden. Mit einem solchen Plättchen kann auch die lokale Energiedichte von Anordnungen von mehreren Anregungsquellen vermessen werden.

ANMERKUNG So kann beispielsweise eine einzelne Xenon-Blitzlampe mit Reflektor und einer Energieaufnahme von 6 kJ in einem Abstand von 35 cm auf einer kreisförmigen Fläche mit dem Radius 50 cm eine Gesamtenergie von 1,1 kJ abgeben.

Typischerweise kann die Dauer eines Blitzes einer Xenon-Blitzlampe zwischen 1 ms und mehreren 10 ms betragen. Bei Herstellerangaben muss aber berücksichtigt werden, dass sich dieser Wert in der Regel auf den sichtbaren Spektralbereich bezieht. Im infraroten Spektralbereich ist die Impulsdauer wesentlich länger, siehe Bild 2. Die Erwärmung der Glasglocke (UV-Schutzglocke um die Röhre der Blitzlampe), des Fensters sowie des Reflektors selbst führen zu langzeitigen Strahlungsanteilen im mittel- und langwelligen Infrarotbereich, was eine störende zusätzliche Langzeiterwärmung des Untersuchungsobjektes hervorruft. Ein gezieltes Abbrechen der Gasentladung durch Kurzschluss des Kondensators sowie die Verwendung einer Kühlung der Polymethylmetacrylat (PMMA)- oder Glasscheiben oder die Verwendung eines Wasserfilters (zwei Glasplatten, deren Zwischenraum mit Wasser gefüllt wird) vor den Anregungsquellen kann zu einer Reduzierung der Impulsdauer und des sog. Nachleuchtens der Anregungsquellen beitragen.

Da bei Bildwiederholraten von z. B. 100 Hz der zeitliche Abstand zwischen zwei Bildern mit 10 ms und die Integrationszeiten mit etwa 0,8 ms größer oder in der gleichen Größenordnung wie die Blitzdauer liegen, ist für reproduzierbare Messungen eine zeitlich möglichst genaue Synchronisation zwischen dem Zeitpunkt der Blitzauslösung und den jeweiligen Zeitpunkten der IR-Bildaufnahme durch die Kamera bei der eingestellten Bildwiederholrate erforderlich. Je nach vorhandener technischer Ausstattung der verwendeten IR-Kamera kann die Synchronisation entweder über einen externen Taktgeber oder über den internen Taktgeber der Kamera erfolgen. Es sollte aber eine zeitliche Stabilität von mindestens 10 μ s gewährleistet sein.



Legende

- t Zeit in ms
- Y normierte Strahlungsintensität
- 1 IR-Kamera (3,7 μm bis 5,4 μm)
- 2 IR-Kamera (1,6 μm bis 5,4 μm)
- 3 Siliziumdiode (0,4 μm bis 1,1 μm)
- 4 Siliziumdiode (0,48 μm bis 0,54 μm)

Bild 2 — Relativer, zeitlicher Verlauf des Impulses einer Blitzlampe bei einer Energie von 6 kJ für verschiedene Spektralbereiche

5.3 Alternative Strahlungsquellen mit Impulsanregung

Da bei der Blitzanregung eine kurze Anregungszeit verbunden mit hoher Intensität zu einem hohen Energieeintrag führt und andere Anregungsquellen in der Regel eine deutlich geringere Intensität haben, müssen diese länger eingeschaltet werden, um einen vergleichbaren Energieeintrag zu erreichen. Dabei finden die Wärmediffusionsvorgänge bereits während der Anregung statt und die eindimensionale analytische Lösung für die Impulsthermografie kann für die quantitative Auswertung nicht mehr eingesetzt werden (siehe Anhang B). Zur Ortung z. B. von Fehlstellen in Materialien mit niedriger Temperaturleitfähigkeit oder von tieferliegenden Fehlstellen sind diese Strahlungsquellen jedoch gut geeignet.

LED-Arrays und Laser als nichtthermische „kalte“ Quellen haben den Vorteil, dass die IR-Kamera schon während der Erwärmung die Oberflächentemperatur ungestört erfassen kann, da der Wellenlängenbereich der LEDs sich nicht mit dem der IR-Kamera überschneidet. Fehlstellen können dann auch während der Erwärmung visualisiert werden, wobei die angezeigte Fehlstellengröße noch nicht durch laterale Wärmeleitungsprozesse verbreitert wurde. Eine solche Anzeige ist nur abhängig von Fehlstellengröße und -tiefe. Eine umfangreiche Datenauswertung ist dann nicht mehr erforderlich. Ähnliches wie für die LED-Arrays gilt für einen aufgeweiteten Laserstrahl. Da beide Lichtquellen nur eine geringe Eigenwärme entwickeln bzw. gekühlt werden, können sie dicht am Untersuchungsobjekt betrieben werden. Voraussetzung für eine Ortung der Fehlstellen ist aber nach wie vor ein genügend hoher Energieeintrag, damit ein ausreichendes Signal-zu-Rausch-Verhältnis erreicht werden kann.

Halogenlampen haben den Vorteil, dass diese bezüglich der Arbeitsschutzmaßnahmen wesentlich unkritischer sind. Nachteilig ist jedoch, dass die direkte Strahlung auch von der IR-Kamera detektiert wird.

5.4 Anforderungen an IR-Kameras

Das Prüfpersonal muss den Nachweis führen, dass das Prüfsystem nach DIN EN 16714-2 geeignet ist, die Prüfaufgabe zu lösen. Zusätzlich müssen die nachfolgend aufgeführten Punkte berücksichtigt werden.

Die Anforderungen an die IR-Kamera sind abhängig von den thermischen Eigenschaften des Prüfobjektes, den thermischen und geometrischen Eigenschaften der zur charakterisierenden Fehlstellen oder Inhomogenitäten.

genitäten sowie vom Energieeintrag der Anregungsquellen. IR-Kameras für die Impulsthermografie müssen die folgenden Mindestanforderungen erfüllen:

- zweidimensionale Detektormatrix mit mindestens 120×120 Pixel;
- Echtzeitdatenerfassung ununterbrochener Thermografiesequenzen muss möglich sein;
- der Wellenlängenbereich der IR-Kamera ist so zu wählen, dass das Prüfobjekt im verwendeten Spektralbereich ausreichend emittiert;
- ausreichende zeitliche Auflösung angepasst an Dicke und Temperaturleitfähigkeit der Prüfobjekte;
- hohe zeitliche Stabilität der Bildwiederholrate bzw. möglichst genauer Zeitstempel der Einzelbilder (wichtig für die Auswertung);
- möglichst Auslesen der Einzeldetektoren im Snapshot Modus, ansonsten ist bei hohen Bildwiederholraten eine zeitliche Korrektur der Einzelpixel erforderlich;
- ausreichende Temperaturlösung;
- möglichst geringe Temperaturdrift während der Messung, bei Mikrobolometerkameras muss der automatische Shutter abgeschaltet werden;
- ausreichende Ortsauflösung;
- zur Synchronisation mit der Anregungsquelle ist ebenfalls eine hohe zeitliche Stabilität von mindestens $10 \mu\text{s}$ erforderlich.

ANMERKUNG Bei Mikrobolometerkameras kann der Takt für die Synchronisation nur von der Kamera vorgegeben werden, bei Quantendetektorkameras können diese in der Regel auch extern synchronisiert werden.

- Die Erfassung von Bildern vor, während und nach der Impulsanregung muss möglich sein.

Eine Temperaturkalibrierung der IR-Kamera ist nicht erforderlich. Eine kalibrierte IR-Kamera muss jedoch nach Herstellerangaben regelmäßig kontrolliert und gegebenenfalls neu kalibriert werden, siehe DIN EN 16714-2. Es muss auf jeden Fall eine NUC (en: non-uniformity correction) der Detektorelemente durchgeführt werden. Vor der Durchführung der Prüfung sind die IR-Kamera und das Gesamtsystem zu überprüfen, siehe Abschnitt 6.

5.5 Probenpositionierung

Erfolgt die Prüfung im Labor, so müssen dort geeignete mechanische Manipulatoren vorhanden sein, die eine reproduzierbare Positionierung des Prüfobjektes ohne Beeinflussung der Messungen ermöglicht (rotieren, scannen).

Erfolgt die Prüfung vor Ort (z. B. während der Fertigung oder während der Nutzung des Prüfobjektes), sind die Positionen von Anregungsquellen und IR-Kamera an die Objektgegebenheiten anzupassen. Es können dazu stationäre Prüfeinheiten, z. B. auch in Verbindung mit Roboterarmen, oder bewegliche Einheiten (z. B. Aufsatzsystem zur Prüfung von großen Flächen bei Rotorblättern oder Flugzeugrümpfen) verwendet werden. In jedem Fall sind auch hier das Blitzlicht abzuschirmen (Arbeitsschutz) und störende Reflexionen zu vermeiden.

5.6 Arbeitsschutz

Die Blitzlampen emittieren intensive Strahlung im ultravioletten, sichtbaren und nahen infraroten Spektralbereich. Zur Vermeidung der für die aktive Thermografie nicht wesentlichen UV-Anteile kann eine Blitz-