

DIN 19277

ICS 17.160

**Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen –
Thermografie –
Allgemeine Methoden (ISO 18434-1:2008, modifiziert)**

Condition monitoring and diagnostics of machines –
Thermography –
General procedures (ISO 18434-1:2008, modified)

Surveillance et diagnostic de l'état des machines –
Thermographie –
Procédures générales (ISO 18434-1:2008, modifiée)

Gesamtumfang 33 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Thermografieverfahren	9
5 Vergleichende Thermografie	9
5.1 Arten der vergleichenden Thermografie.....	9
5.2 Vergleichende quantitative Thermografie.....	10
5.3 Vergleichende qualitative Thermografie.....	11
6 Berührungslose Temperaturmessung mit Hilfe von Infrarotkameras	11
7 Nullmessungen	11
8 Sicherheit.....	12
9 Kalibrierung	12
10 Aufnahme der Messdaten	12
11 Verantwortlichkeiten des Kunden	13
12 Feldmessungen der Hintergrundtemperatur und des Emissionsgrades, abschwächende Zwischenmedien	13
13 Kritische Temperaturen (Fehlerklassifizierung)	14
13.1 Aufstellen von Kriterien zur Fehlerklassifizierung.....	14
13.2 Kriterien hinsichtlich des Temperaturunterschiedes.....	14
13.3 Kriterien hinsichtlich von maximal zulässigen Temperaturen.....	15
14 Kriterien zur Beurteilung des Profils.....	15
15 Diagnostik und Prognostik	16
15.1 Zeitabstände zwischen den Untersuchungen.....	16
15.2 Auswertung der Bilder	16
15.3 Verfahren zur Identifizierung von Fehlern.....	16
16 Prüfbericht.....	17
17 Qualifizierung des Personals.....	18
Anhang A (normativ) Feldmessungen der Hintergrundtemperatur und des Emissionsgrades	19
Anhang B (informativ) Beispiele für sicherheitstechnische Regeln und Leitlinien.....	25
Anhang C (informativ) Beispiele für historische Fälle.....	26
Literaturhinweise.....	33

Nationales Vorwort

Dieses Dokument wurde vom nationalen Arbeitsausschuss NA 062-08-27 AA „Visuelle und thermografische Prüfung“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) erarbeitet. Der Norm-Entwurf ist als DIN ISO 18434-1:2014-12 erschienen.

Die internationale Norm ISO 18434-1:2008-03 „Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography — Part 1: General procedures“ wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring*, Unterkomitee SC 5, *Condition monitoring and diagnostics of machines* erarbeitet und ist mit nationalen Modifizierungen in dieses Dokument übernommen worden.

Die folgenden Modifizierungen gegenüber ISO 18434-1:2008-03 wurden vorgenommen:

- a) in der Einleitung und in Abschnitt 1 wurde „ISO 18434-1“ durch „DIN 19277“ ersetzt;
- b) in Abschnitt 3 wurde die Definition der Begriffe überarbeitet;
- c) in Abschnitt 8 wurde die Verweisung auf Anhang B durch eine Verweisung auf die entsprechenden gesetzlichen Regelungen ersetzt;
- d) Anhang B wurde komplett gestrichen.

Von den nationalen Modifizierungen sind ergänzende oder ersetzende Festlegungen **gerastert**; Festlegungen die nicht gelten sind lesbar ~~durchgestrichen~~.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Thermografie — ~~Teil 1:~~ Allgemeine Methoden

Einleitung

Dieser Teil der ISO 18434 DIN 19277 ist eine Anleitung zur Anwendung der Thermografie (IRT, en: infrared thermography) als Teil eines Programms zur Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen. Die IRT kann zur Identifizierung und Dokumentation von Anomalien zu Zwecken der Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen angewendet werden. Diese Anomalien werden üblicherweise durch den normalen Betrieb, unsachgemäße Schmierung, fehlerhafte Ausrichtung, verschlissene Bauteile oder mechanische Belastungsanomalien verursacht.

Die IRT basiert auf der Messung der räumlichen Verteilung des Wärmeflusses, die von einer Objektoberfläche emittiert wird. Die gemessenen Werte werden in Strahlungsintensitäten oder Temperaturen umgerechnet und orts aufgelöst in einem Thermogramm dargestellt. Der Thermograf benötigt deshalb als Voraussetzung für die Durchführung eines Messprogramms Fachwissen über die Zusammenhänge von Wärme, Temperatur und die unterschiedlichen Arten der Wärmeübertragung. Im Betrieb erzeugen alle Maschinen Wärmeenergie. Sie kann in Form von Reibung oder anderen Energieverlusten und als eine Eigenschaft der Prozessmedien auftreten. Wärmeenergie kann auch durch den eigentlichen Prozess selbst erzeugt werden. Folglich kann die Temperatur eine wichtige Kenngröße zur Überwachung der Leistungsfähigkeit und des Zustands von Maschinen sowie zur Diagnostik von Maschinenproblemen sein. Die IRT eignet sich optimal für die Durchführung dieser Temperaturüberwachung, da sie vollständige Thermogramme einer Maschine oder eines Maschinenbauteils zerstörungsfrei liefert; der technische Aufwand des Versuchsaufbaus gering ist und die Ergebnisse in einer sehr kurzen Zeit zur Verfügung gestellt werden.

Ein wichtiger Vorteil von Strahlungsthermometern gegenüber Kontaktthermometern ist ihre kurze Reaktionsgeschwindigkeit. Die Strahlungsenergie bewegt sich in Lichtgeschwindigkeit von der Objektoberfläche bis zum Sensor. Die Reaktionsgeschwindigkeit des Messgeräts beträgt Millisekunden oder sogar nur Mikrosekunden. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Empfindlichkeit der Messgeräte, wodurch im Thermogramm sehr geringe Temperaturunterschiede der Objektoberfläche aufgelöst werden können.

Trotz der genannten Vorteile ist die IRT dahingehend eingeschränkt, dass sie bei Oberflächen mit geringem Emissionsgrad falsche Werte anzeigt.

1 Anwendungsbereich

~~Dieser Teil der ISO 18434~~ DIN 19277 gibt eine Einleitung für die Anwendung der Thermografie (IRT) zur Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen, wobei im Begriff „Maschinen“ die zusätzliche Ausrüstung für Maschinen, beispielsweise Ventile, fluid- und elektrisch betriebene Maschinen sowie maschinenbezogene Wärmeaustauschgeräte, eingeschlossen ist. Zusätzlich werden IR-Anwendungen beschrieben, die zur Beurteilung der Leistung von Maschinen genutzt werden.

~~Dieser Teil der ISO 18434~~ DIN 19277

- führt in die Terminologie der IRT ein, die zur Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen erforderlich ist;
- beschreibt die Arten der IRT-Verfahren und deren Vorteile;
- enthält Regeln für Kriterien zur Beurteilung des Schweregrades von durch die IRT identifizierten Anomalien;
- regelt Verfahren und Anforderungen zum Durchführen der IRT an Maschinen, einschließlich Empfehlungen hinsichtlich der Sicherheit;
- beschreibt die Interpretation von Daten, Beurteilungskriterien und die Anforderungen an die Erstellung des Prüfberichts;
- beschreibt die Bestimmung und Kompensation der Hintergrundtemperatur, des Emissionsgrades und des Einflusses von abschwächenden Medien.

~~Dieser Teil der ISO 18434~~ DIN 19277 beschreibt außerdem die Prüfverfahren zur Bestimmung und zum Kompensieren der reflektierten scheinbaren Temperatur, des Emissionsgrades und von abschwächenden Medien, die bei der Messung der Oberflächentemperatur einer Objektoberfläche mit einer quantitativ auswertenden IR-Kamera unbedingt berücksichtigt werden müssen.

ANMERKUNG Es ist vorgesehen, dass zukünftige Teile dieses Standards die anwendungsspezifischen Leitlinien zur Analyse behandeln.

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).

ISO 13372, *Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary*

ISO 13379, *Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques*

ISO 13381-1, *Condition monitoring and diagnostics of machines — Prognostics — Part 1: General guidelines*

ISO 17359, *Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines*

ISO 18436-7, *Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 7: Thermography*

ASTM E1897, *Standard test methods for measuring and compensating for transmittance of an attenuating medium using infrared imaging radiometers*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 13372 und die folgenden Begriffe:

3.1

Hintergrundtemperatur

nicht kompensierte Temperaturanzeige einer Infrarotkamera, die die gesamte Strahlung enthält, die auf den Strahlungsempfänger fällt, ohne Berücksichtigung der Quelle

3.2

abschwächende Medien

Schutzfenster, Filter, Atmosphäre, externe Optiken oder andere Medien, die die Infrarotstrahlung abschwächen, die von einer Quelle emittiert wird

3.3

schwarzer Körper

idealer, perfekter Emittent und Absorber von Wärmestrahlung bei allen Wellenlängen

ANMERKUNG Der schwarze Körper wird durch das Plancksche Gesetz beschrieben.

3.4

Emissionsgrad

ε

Verhältnis der Strahlungsleistung einer Objektoberfläche zur Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers, bei derselben Temperatur und im gleichen Spektralintervall

3.5

Infrarotkamera

IR-Kamera

Gerät, durch das die infrarote Strahlungsenergie von einer Objektoberfläche gesammelt und daraus ein monochromes (schwarz-weißes) oder farbiges Bild erzeugt wird, wobei die Grau- oder Farbtöne sich auf die Verteilung der scheinbaren Temperatur auf der Objektoberfläche beziehen

ANMERKUNG Derartige Bilder werden auch als *Infrarotthermogramme* bezeichnet.

3.6

Bildbearbeitung

Umwandeln eines Bildes in Digitalform und weitere Manipulationen des Bildes, um es für die Computer- oder visuelle Analyse vorzubereiten

ANMERKUNG Dazu zählen bei einem Infrarotbild oder -thermogramm z.B. die Darstellung des Temperaturbereiches (Temperaturskalierung), das Einfügen von Isothermen, Messfunktionen, thermischen Profilen oder die Durchführung einer Bildsubtraktion.

3.7

infrarot

IR

Teil des elektromagnetischen Kontinuums, der von der Wellenlänge des sichtbaren Lichts im Rotbereich von 0,75 μm bis 1 000 μm reicht

ANMERKUNG Aufgrund von Überlegungen hinsichtlich der konstruktiven Ausführung von Messgeräten und der Eigenschaften der Infrarottransmission der Atmosphäre erfolgen die meisten Infrarotmessungen zwischen 0,75 μm und 15 μm .

3.8

Isotherme

farbliche Markierung aller Bildpunkte mit gleichen Strahlungswerten, bzw. gleicher Temperatur

3.9

Thermografie

IRT

Berührungslose Erfassung, Aufbereitung und bildhafte Darstellung der flächenhaften Verteilung der von einer Oberfläche ausgehenden und mit einem IR-Detektorsystem registrierten elektromagnetischen Strahlung Erfassung und Analyse von Wärmestrahlung mit einem IR-Detektorsystem

3.10

Wärmestrahlung

Art der Wärmeübertragung des Wärmeflusses, der durch Emission und Absorption von elektromagnetischer Strahlung erfolgt auftritt, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet

ANMERKUNG Im Gegensatz zur Wärmeleitung und Konvektion zum konduktiven und konvektiven Wärmefluss kann sich die Wärmestrahlung auch im Vakuum ausbreiten. Eine Form der Wärmeübertragung, auf der die Funktionsweise der IRT basiert, da die Wärmeenergie Infrarotenergie über die Strahlung von der Objektoberfläche zum Strahlungsempfänger transportiert wird.

3.11

Reflexionsgrad

ρ

Verhältnis der gesamten reflektierten ~~Strahlungseistung~~ ~~Energieleistung~~ einer Oberfläche zur gesamten auf diese Oberfläche einfallenden ~~Strahlungseistung~~ ~~Energieleistung~~

ANMERKUNG 1 $\rho = 1 - \varepsilon - \tau$, bei einem Spiegel erreicht der Reflexionsgrad 1,0; bei einem schwarzen Körper ist $\rho = 0$.

ANMERKUNG 2 Technisch gesehen ist der Reflexionsgrad das Verhältnis der Intensität der reflektierten Strahlung zur Gesamteinstrahlung; der Reflexionsgrad ist das Verhältnis des reflektierten Lichtstroms zum einfallenden Lichtstrom. Bei der IRT werden beide Begriffe oft synonym verwendet.

3.12

Strahlungstemperatur der Umgebungsobjekte

T_{refl}

unkorrigierte Temperatur anderer Objekte, die durch die Objektoberfläche in die Infrarotkamera reflektiert werden

3.13

Wiederholbarkeit

(Thermografie) Fähigkeit, mit einem Messgerät genau den gleichen auf einer festgelegten Objektoberfläche ermittelten Messwert über einen kurzen oder langen Zeitraum beizubehalten

ANMERKUNG Die Wiederholbarkeit wird in $\pm$ Grad Celsius oder als Prozentsatz des gesamten Messbereichs angegeben.

3.14

Signalverarbeitung

Manipulation eines Temperatursignals oder von Bilddaten, um einen Prozess besser überwachen oder steuern zu können

BEISPIEL 1 Bei Infrarot-Strahlungsthermometern: Peak Hold, Valley Hold, Sample Hold und Mittelwertbildung.

BEISPIEL 2 Bei Scannern, ~~Kamera- und bildgebenden Systemen~~ ~~Kamera- und Bildwandlern~~: Hervorheben von Isothermen, Durchschnittswerten von Bildern, Ausrichtung, Bildabstraktion und Bildfilterung.

3.15

räumliche Auflösung

Messpunktgröße in Bezug auf den Arbeitsabstand

ANMERKUNG In einem Infrarot-Strahlungsthermometer wird die Auflösung in mrad oder als Verhältnis der Zielpunktgröße (umfasst 95 % der Strahlungsenergie bei üblicher Anwendung) zum Arbeitsabstand angegeben. Bei Scannern, ~~Kamera- und bildgebenden Systemen~~ ~~Kamera- und Bildwandlern~~ wird sie oft in mrad angegeben.

3.16

Objektoberfläche

Oberfläche eines zu messenden Gegenstands

3.17

Thermogramm

~~bildliche Darstellung der örtlichen Verteilung der Strahlungstemperatur einer Objektoberfläche~~ ~~Wärmekarte~~ ~~oder Bild einer Objektoberfläche, in der/dem die Grautöne oder Farbtöne die Verteilung der infraroten Wärmestrahlungsenergie über die Oberfläche der Objektoberfläche darstellen~~

3.18

Transmissionsgrad Remissionsgrad

τ

Verhältnis der durchgelassenen Strahlungsleistung zur einfallenden Strahlungsleistung

ANMERKUNG 1 $\tau = 1 - \varepsilon - \rho$

Dabei ist

- τ der Transmissionsgrad;
- ε der Emissionsgrad;
- ρ der Reflexionsgrad.

ANMERKUNG 2 Bei einem schwarzen Körper ist $\tau = 0$. Der Transmissionsgrad ist der Anteil der einfallenden Strahlung, der durch Materie hindurchgeleitet wird.

3.19

Arbeitsabstand

Abstand von der Objektoberfläche zum Messgerät, üblicherweise zum primären optischen Element

4 Thermografieverfahren

Es gibt mehrere anerkannte IRT-Verfahren, die in der Industrie angewendet werden. Die *vergleichende Thermografie* ist das am häufigsten angewendete Verfahren und wird üblicherweise angewendet, um anstelle von idealen (absoluten) Daten aus thermischen Messungen die bestmöglichen verfügbaren Daten zu gewinnen. Bei sich ändernden Betriebsbedingungen an Maschinen werden durch grobe Abschätzungen des Emissionsgrades und der Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Emissionsgraden an der Maschinenoberfläche Informationen zur Zustandsüberwachung und -diagnostik der Maschine unter Verhältnissen, die nicht ideal sind und die ständig in dem Bereich anzutreffen sind, gewonnen. Das Vertrauensniveau der Daten hängt von der verwendeten IRT-Ausrüstung, der Ausbildung und der Erfahrung des Thermografen und dem angewendeten Nachweisverfahren ab.

Die *kontaktlose Thermometrie* mit Infrarotkameras wird angewendet, wenn die wahre Temperatur einer Objektoberfläche so genau wie möglich bestimmt werden soll. Dieses Verfahren wird jedoch üblicherweise nicht für die Zustandsüberwachung und -diagnostik angewendet.

Die vergleichende Thermografie wird üblicherweise als Teil eines Zustandsüberwachungsprozesses angewendet, wenn ein derartiger Prozess nach ISO 17359 durchgeführt wird. Die IRT kann auch als Primär- oder Sekundärverfahren zur Diagnose und Prognose angewendet werden, wenn diese Prozesse nach ISO 13379 bzw. ISO 13381-1 durchgeführt werden.

5 Vergleichende Thermografie

5.1 Arten der vergleichenden Thermografie

Die vergleichende Thermografie ist entweder *quantitativ* oder *qualitativ*. Beim *quantitativen* Verfahren ist eine Bestimmung eines Temperaturwertes erforderlich, um den Zustand eines Bauteils zu bewerten. Dieser Wert wird durch Vergleichen der Temperatur der Objektoberfläche mit der Temperatur von ähnlichen Komponenten oder mit vorhandenen Basisdaten bestimmt. Üblicherweise sind bei Oberflächen mit einem hohen Emissionsgrad sowohl die Werte für die Temperatur T als auch für den Temperaturunterschied ΔT unter der Voraussetzung verlässlich, dass zuverlässige Messtechniken angewendet werden. Oft sind die

Werte für T und ΔT von Oberflächen mit einem niedrigen Emissionswert aufgrund von variierenden Oberflächeneigenschaften und Variationen der Strahlungsumgebung nicht verlässlich. Zusätzlich ist bei vielen Anwendungen eine Zuordnung von Werten zu beobachteten Wärmemustern erforderlich. Ziel ist dabei die Analyse, die Trendanalyse, die Bestimmung des Schweregrades und der Zuordnung von Prioritäten.

Es gibt jedoch viele Anwendungen, bei denen quantitative Daten nicht erforderlich sind, um den Zustand der Maschinen zu überwachen oder um ein Problem festzustellen und die entsprechenden Korrekturmaßnahmen einzuleiten. In diesen Fällen sind *qualitative* Verfahren ausreichend.

5.2 Vergleichende quantitative Thermografie

Das Verfahren der vergleichenden quantitativen Thermografie ist ein anerkanntes und bewährtes Verfahren zur Bewertung des Zustandes einer Maschine oder eines Bauteils durch Bestimmung von ungefähren Temperaturwerten. Es ist häufig schwierig, Vor-Ort die tatsächlichen Temperaturen eines Bauteils mit Hilfe der IRT genau zu bestimmen. Das liegt bis zu einem gewissen Grad an den physikalischen Gesetzen der IRT, bei der die vielen Parameter berücksichtigt werden müssen, durch die eine genaue absolute Temperaturmessung erst möglich ist. Folgende Punkte hinsichtlich der IRT müssen berücksichtigt werden: Emissionsgrad, Reflexionsgrad und Transmissionsgrad. Abschätzungen dieser Größen ermöglichen die Abschätzung von Bauteil-Temperaturen, die in den meisten Fällen mehr als ausreichend sind, um thermische Auffälligkeiten zu bewerten.

Ein Beispiel für eine vergleichende quantitative Thermografie ist, wenn zwei oder mehr Maschinen in der gleichen Umgebung und unter den gleichen Belastungszuständen betrieben werden und bei einer Maschine eine erhöhte Temperatur festgestellt wird; das ist üblicherweise ein Hinweis darauf, dass möglicherweise eine Verschlechterung des Betriebszustand vorliegt. Die Bestimmung des Temperaturunterschiedes würde dann bei der Feststellung des Schweregrads dieser Verschlechterung/des Fehlers helfen. In diesem Beispiel würde ein Unterschied von 5 K als geringfügig angesehen werden, wohingegen ein Unterschied von 100 K möglicherweise als kritisch zu bewerten ist. Weiterhin kann auch eine mit realistisch abgeschätzten Messparametern ermittelte Temperaturerhöhung ΔT auf das Erreichen von kritischen Temperaturgrenzen hinweisen. Wenn der Wert des Temperaturanstiegs näherungsweise bekannt ist, würde dieser ebenfalls darauf hinweisen, dass der zulässige Grenzwert eines Bauteils erreicht wird. Deshalb ermöglichen erst die quantitativen Messungen eine Bestimmung des Schweregrads, während qualitative Messungen nur das Vorhandensein von möglichen Mängeln nachweisen.

Da es nicht immer zweckmäßig ist, die genaue Temperatur und als Voraussetzung dafür die Emissionsgrade aller Oberflächen von Maschinen zu bestimmen, ist die alternative Anwendung der vergleichenden Thermografie praktischer. Im Gegensatz zur qualitativen Messung identifiziert man bei der vergleichenden Messung thermische Auffälligkeiten durch Vergleich der gemessenen Oberflächentemperaturen auf einer einzelnen Maschinenkomponente oder zwischen vergleichbaren Komponenten. Dazu wird ein konstanter Wert für den Emissionsgrad $\varepsilon_{\text{default}}$ für Oberflächen mit ähnlicher Struktur abgeschätzt. Die Temperaturdifferenz zwischen zwei oder mehr gleichen oder vergleichbaren Oberflächen wird numerisch bestimmt. Unter der Annahme, dass die Umgebungsstrahlungsbedingungen und Oberflächeneigenschaften für beide Bauteile ähnlich sind, wird die gemessene Temperaturerhöhung des vorgegebenen Anlagenteils als Maß für die Abweichung von der üblichen Betriebstemperatur aufgezeichnet.

Bei der vergleichenden Thermografie werden überschlägige Abschätzungen, bzw. praxisnahe Messungen für die Messparameter Emissionsgrad, Hintergrundtemperatur und Objektabstand verwendet. Die Emissionsgrade der Materialien ergeben sich meistens aus Erfahrungswerten.

Wenn möglich, sollten die Emissionsgrade der in einem Werk häufig vorkommenden Materialien überprüft und in einer Liste von Standard-Emissionsgraden zusammengefasst werden und. Diese Liste kann dann bei der Überprüfung von Bauteilen aus diesen Materialien verwendet werden.