

# Thermografie in der Schweißtechnik

*S. Keitel, A. Klisch, J. Herrmann*

*Werkstofftechnik, Forschung und Entwicklung / SLV Halle GmbH*

[gf@slv-halle.de](mailto:gf@slv-halle.de), [klisch@slv-halle.de](mailto:klisch@slv-halle.de), [herrmann@slv-halle.de](mailto:herrmann@slv-halle.de)

---

## Abstract

Die Thermografie hat sich bei industriellen Anwendungen in Entwicklung, Fertigung und zur Prozessüberwachung in verschiedenen Branchen wie Automobil- und Rohrleitungsbau, Luft- und Raumfahrt, Bauwesen sowie Elektrotechnik und auch in der Schweißtechnik bereits etabliert. Im Sinne einer berührungslosen, zerstörungsfreien Prüfung und schnellen Prüfaussage wurde in den letzten Jahren die Entwicklung immer besserer Infrarotkamarasysteme vorangetrieben. Demzufolge stehen heute Systeme zur Verfügung, welche aufgrund ihrer hohen Bildwiederholfrequenz Echtzeitbilder liefern. Gegenwärtig werden verschiedene Lösungen mit Anwendungen der passiven Thermografie zur Detektion von Schweißnahtunregelmäßigkeiten angestrebt. Weiterhin ist das Messen von  $t_{8/5}$ -Zeiten für die Verfahrensentwicklung von großem Interesse. Eine zertifizierte Ausbildung des Prüfpersonals nach DIN EN ISO 9712 ist die Basis für eine sachgerechte Handhabung von thermografischen Anzeigen und fördert die Akzeptanz des Anwenders in diesem Verfahren.

---

## 1 Thermografie an Schweißverbindungen

### 1.1 Einsatzgebiete der Thermografie

Zur Schadenserkenkung, zur energetischen Mängelerfassung an Gebäuden und zur Ortung von Überhitzungen in technischen Einrichtungen sind die Anwendungen der Thermografie heute Stand der Technik. Einige Anwendungsbeispiele sind im Folgenden aufgelistet:

- der Bauwirtschaft (zur Ursachenermittlung bei Durchfeuchtung),
- in der Energiewirtschaft (bei Rohr- und Anlagenisolierungen),
- der chemischen Industrie (Füllstandsmessung Behälter und Rohrleitungen; Zustandsbestimmung an Rohrleitungen aus GfK),
- in der Haus- und Klimatechnik (zur Leckageortung),
- in der Landwirtschaft und Umweltanalytik (Erfassung von spezifischen, schlagbezogenen Daten in Pflanzenbau und Züchtung)

## *1.2 Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren in der Schweißtechnik*

Noch recht selten wird die Thermografie in der Schweißtechnik als zerstörungsfreies und als Instrument zur Prozessüberwachung angewandt. Zurückzuführen ist diese Tatsache, dass Metalle (Raumtemperatur) in der Regel nur einen sehr geringen Emissionsgrad aufweisen. Begründen lässt sich dieser Aspekt mit der hohen Reflektivität metallischer Werkstoffe. Dadurch ist es schwierig zu unterscheiden, ob die von der Infrarotkamera aufgenommene Wärmeverteilung vom eigentlichen Prüfobjekt oder von der Umgebung herrührt. Weniger stark ausgeprägt ist dieser Effekt bei raueren Oberflächen, da es hierbei zur diffusen Reflexion und somit zu einer Erhöhung des Emissionsgrads kommt (Selbstschwärzungseffekt). Neben den Werkstoff-Einflussgrößen beeinflusst auch der Schweißprozess mit seiner charakteristischen Wärmeeinbringung maßgebend das Prüfergebnis.

Dabei kommt dem Aspekt einer integralen Prüfung besondere Bedeutung zu. Den gestellten Aufgaben Rechnung tragend, bedeutet dies eine frühzeitige Erkennung von Unregelmäßigkeiten, bei unterschiedlichen Nahtarten, unter Nutzung eines entsprechenden Kamerasystems.

Tritt beispielsweise während des Schweißens ein Bindefehler auf, kühlt die Schweißnaht, je nach Lage und Größe der Unregelmäßigkeit, aufgrund von Konvektionsunterschieden in der Umgebung der Unregelmäßigkeit langsamer ab. Es kommt zum Wärmestau an der Flankenseite des Bindefehlers. Die auf eine Fläche projizierte Wärme- und somit Temperaturverteilung wird von der Infrarotkamera erkannt (*Abb. 1*).

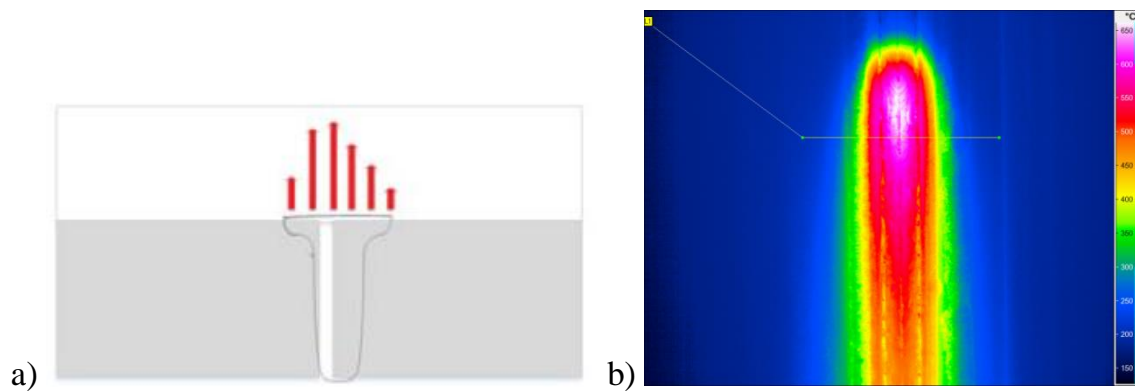


Abb. 1: Flankenbindefehler a.) schematisch b.) im Thermogramm [1, 2]

Abweichungen von der Temperaturverteilung können auch durch Schlackeinseln (Mangansilikate), die sich auf der geschweißten Oberfläche ablagern, hervorgerufen werden. Diese sind jedoch legierungsabhängig und stellen als Oberflächenunregelmäßigkeit keine unzulässige Unregelmäßigkeit dar (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

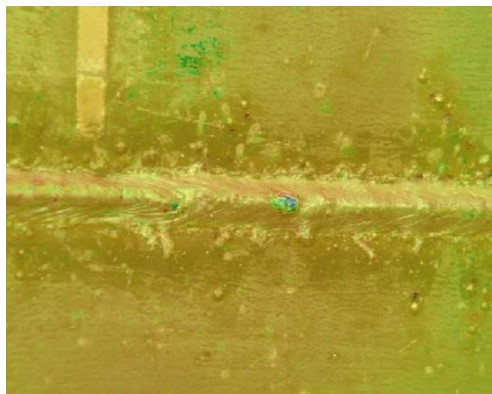


Abb. 2: Mit einer visuellen Abbildung überlagertes Thermogramm einer Schweißnaht mit Schlackeinseln [3]

### 1.3 Thermografie als Prozessüberwachung in der Schweißtechnik

Neben der Möglichkeit die Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren zu verwenden, ist dieses Verfahren auch in der Lage als Prozessüberwachung des eigentlichen Schweißprozesses genutzt zu werden. Eine Inline-Prüfung von automatisiert hergestellten Fügeverbindungen mit zeitgleicher Prozesskopplung steigert die Qualität einer Schweißnaht erheblich (High-Frequency Prüfverfahren). Treten Abweichungen auf, wird regelnd in den Prozess eingegriffen oder das geschweißte Teil verworfen (Abb. 3).

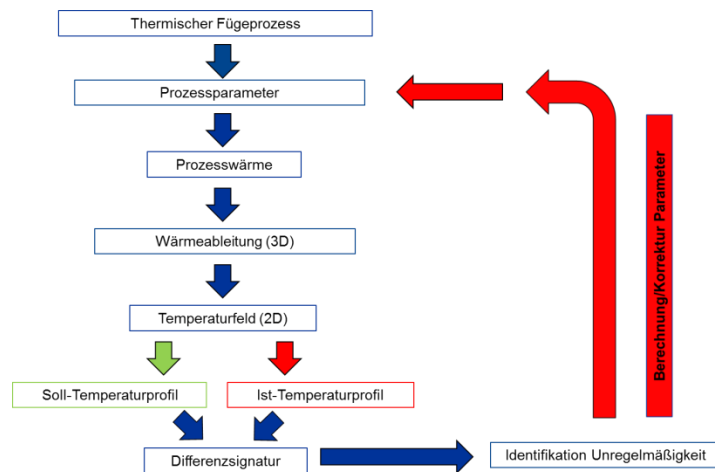


Abb. 3: Prozessüberwachung mittels passiver Thermografie

## 2 Untersuchungen

### 2.1 Vorbetrachtungen

Eine Zielstellung besteht also darin, die Bewertung der Einsatzmöglichkeiten und der Grenzen der Thermografie im Vergleich zu bekannten zerstörungsfreien Prüfverfahren darzustellen. Dazu wurden thermografische Untersuchungen sowohl prozess- als auch bauteilbezogen und verfahrensabhängig während des Schweißprozesses durchgeführt.

Ausgewählte Untersuchungen hatten bereits folgende Schwerpunkte zum Inhalt:

- Aufbau eines Versuchstandes für Rund- und Längsnähte
- Einfluss verschiedener Versuchsaufbauten (Bauteilabstand, Verwendung von Teleobjektiven, stationäre und mit dem Prozess gekoppelte Bewegung)
- Ermittlung erkennbarer Unregelmäßigkeiten wie Risse, Einbrandkerben, offene und oberflächennahe Poren, fehlende oder unzureichende Bindung mit dem Grundwerkstoff und Beschreibung von deren Größe und Lage
- Vergleich der Ergebnisse durch andere, etablierte, zerstörungsfreien sowie zerstörenden Prüfverfahren
- Einbeziehung verschiedener Grundwerkstoffe und Schweißzusätze (allgemeine Baustähle, höherfeste Werkstoffe, Chrom-Nickel-Stähle, Aluminiumlegierungen) und Ermittlung des Einflusses des Oberflächenzustands (Schuppung Naht)
- Einsatz verschiedener Filter zur Anpassung an die jeweilige Prüfsituation
- Vergleichende Versuche mit konventionellen Lichtbogen- und Strahlschweißprozessen

## 2.2 Detektion von Schweißnahtunregelmäßigkeiten mittels Thermografie

Gegenwärtig werden verschiedene Lösungen mit Anwendungen der passiven Thermografie zur Detektion von Schweißnahtunregelmäßigkeiten angestrebt.

Mit ersten Laser-Hybrid-Schweißversuchen, die unter Verwendung des Thermografie-systems ImagerIR 8380 HP der Fa. InfraTec erfolgten, wurden die Konfiguration der Infrarotkamera, die verwendeten Filter und der Versuchsaufbau getestet und bewertet [4]. Neben der Spritzerbildung stellt der Schweißrauch des MSG-Prozesses ein Problem für die thermografische Messung dar. Dieser ist im Wellenlängenbereich des Detektors nicht transparent und „verdeckt“ somit das eigentliche Messobjekt. Die nachfolgende **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**4 zeigt eine Aufnahme, die beim Schweißen einer I-Naht entstand. Man erkennt die Temperaturen im Bereich der Schmelze des Lasers und des Lichtbogens. Die gelbe Linie zeigt den Nahtverlauf. Einzelne Punkte, die geringere Temperaturen aufweisen, sind auf Schlackeinseln (Mangansilikate) zurückzuführen.

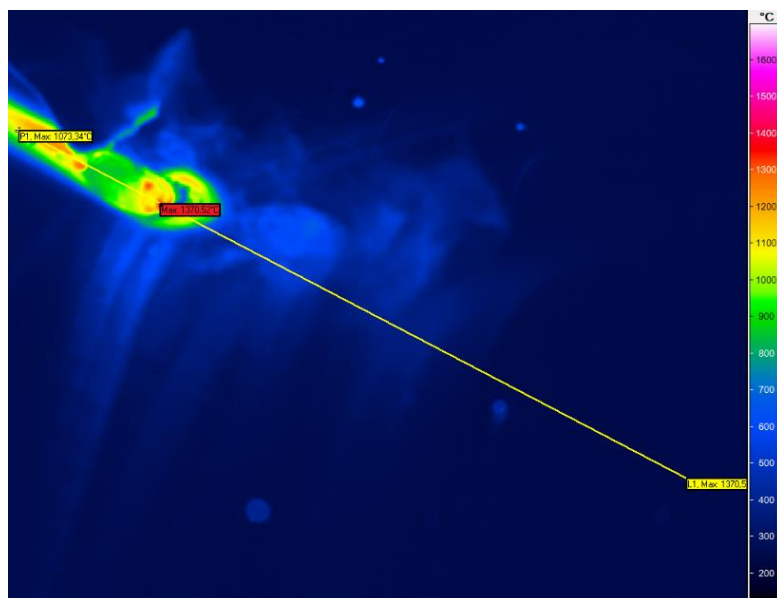


Abb. 4: Thermogramm eines Laser-Hybrid-Schweißprozesses (I-Naht)

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**5 ist ein Thermogramm des Laser-Hybrid-Schweißprozesses beim Schweißen einer Kehlnaht zu sehen. Das Wärmefeld des Lasers ist dabei durch den veränderten Abstand deutlich erkennbar, während

das des MSG-Prozesses durch die Schutzgasdüse verdeckt wird. Um auch das Wärme-  
feld des MSG-Prozesses zu erkennen, muss die Prozessanordnung relativ zur Kame-  
raposition verändert werden.

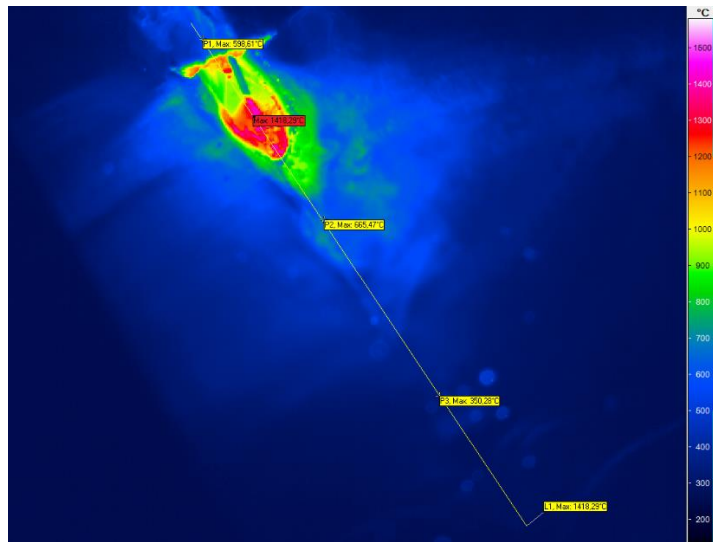


Abb. 5: Thermogramm eines Laser-Hybrid-Schweißprozess (Kehlnaht)

### 2.3 $t_{8/5}$ -Zeit-Messung mittels Thermografie

Das Erfassen und Bewerten der  $t_{8/5}$ -Zeiten für die Verfahrensentwicklung in der Schweißtechnik ist von großem Interesse. Dabei beschreibt die  $t_{8/5}$ -Zeit die Zeitdifferenz zwischen 800°C und 500°C eines Punktes innerhalb der sich abkühlenden, gerade geschweißten Naht. Derzeitig wird die  $t_{8/5}$ -Zeit mit Hilfe von Thermoelementen ermittelt, welche in das flüssige Schmelzbad eingetaucht werden. Ein berührungsloses Ermitteln dieses Parameters kann mit Hilfe einer Thermokamera geschehen. Nachteilig ist, dass die  $t_{8/5}$ -Zeitmessung mittels Thermokamera bei Rundnähten synchron zur Bewegung des Rohres auszuführen hat, um das Abkühlverhalten eines Punktes im Schmelzbad zu verfolgen (Abb. 6).

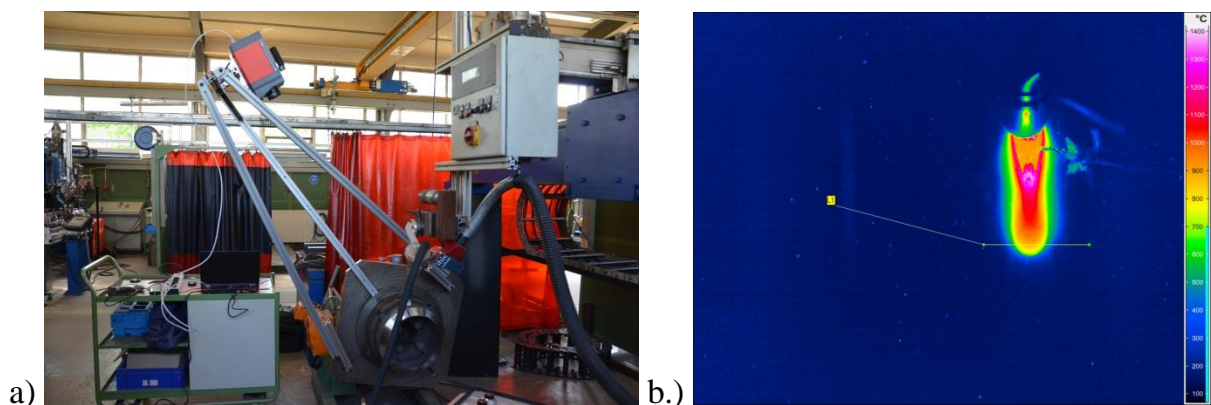


Abb. 6:  $t_{8/5}$ -Zeitmessung mittels Thermokamera bei Rundnähten a.) Messaufbau b.) Thermogramm

Neben dem ungeeigneten Messaufbau liefert die Thermokamera im Vergleich zu den Thermoelementen zu geringe  $t_{8/5}$ -Zeiten (Abb. 7).

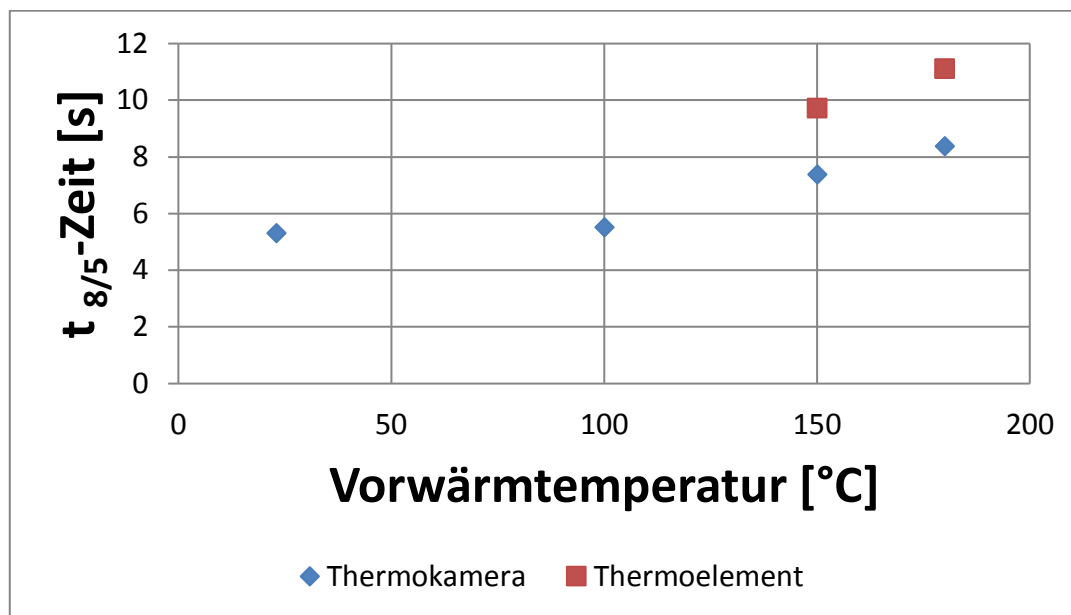


Abb. 7:  $t_{8/5}$ -Zeitmessung mit unterschiedlichen Messsystemen

Die Ursache hierzu ist dem Messprinzip geschuldet, da die Thermokamera Wärmestrahlung detektiert, welche anschließend einem Temperaturwert zugeordnet werden. Diese Zuordnung findet beim Kalibrieren der Kamera am realen Schwarzen Körper statt. Ferner sind die Emissionswerte von Messobjekt und Kalibrierkörper unterschiedlich, so dass eine Disparität naheliegt. Ob das Thermoelement einen genaueren Temperaturwert angibt als die Thermokamera, soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Fakt ist aber, dass die  $t_{8/5}$ -Zeiten in der Praxis mit Thermoelementen ermittelt werden. Die  $t_{8/5}$ -Zeiten, welche mit der Thermokamera ermittelt werden, müssen somit in derselben Größenordnung sein, wie jene welche mittels Thermoelement ermittelt werden.

### 3 Ausbildung von Prüfpersonal Thermografie von Schweißverbindungen nach DIN EN ISO 9712

Die Ausbildung von qualifizierten und zertifizierten Prüfpersonal nach DIN EN ISO 9712 erhöht die Akzeptanz des Anwenders. Die DIN EN ISO 9712 fordert eine Mindestanzahl an Ausbildungsstunden für das Prüfpersonal in der Thermografie (Tab. 1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diese Ausbildungszeit ist in ein Theorie- und Praxisteil unterteilt.



Tab. 1: Mindestanzahl der Ausbildungsstunden Thermografie [5]

ZfP-Verfahren	Stufe 1		Stufe 2		Stufe 3	
	ISO 9712	SLV Halle	ISO 9712	SLV Halle	ISO 9712	SLV Halle
TT	40 h	-	80 h	-	40 h	-
TT (w)	40 h	40 h*	80 h	80 h*	40 h	-
TT (w) passiv	-	40 h	-	40 h**	-	-
* Ausbildung Thermografie (aktiv, passiv) ist geplant						
** Ausbildung ist ab dem Jahr 2017 möglich						

Die in Tab. 1 unter TT aufgeführten Ausbildungsstunden können bis zu 50% reduziert werden. Diese Reduktion gilt für Hochschulabsolventen einer technischen Ausrichtung bzw. das Vorhandensein einer Schweißfachingenieursausbildung.

Zur Qualifizierungsprüfung sind nur Lehrgangsteilnehmer zugelassen, welche eine industrielle Vorerfahrungszeit auf dem entsprechenden Sektor vorweisen können (Tab. 2).

Tab. 2: Industrielle Vorerfahrungszeit Thermografie [5]

ZfP-Verfahren	Erfahrungszeit (Tage)		
	Stufe 1	Stufe 2	
		mit Stufe 1 Zertifikat	ohne Stufe 1 Zertifikat
Thermografie	7	20	27

Die industrielle Vorerfahrungszeit muss schriftlich bei der Qualifizierungsprüfung der Zertifizierungsstelle vorgezeigt werden. Weiterhin muss das Prüfpersonal über eine gültige Sehtestbescheinigung verfügen. Dies wird vor Antritt der Qualifizierungsprüfung geprüft.

## **4 Zusammenfassung**

Aufgrund der zunehmenden Automatisierung von Fügeprozessen muss ein geeignetes Prüfverfahren gefunden werden, diesen gesteigerten Anforderungen gerecht zu werden. Die passive Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren stellt hierbei eine geeignete Methode dar, welche zur Evaluierung der Nahtqualität einer Vielzahl an automatisierten Schweißverfahren genutzt werden kann.

Wie auch jedes zerstörungsfreie Prüfverfahren hat die Thermografie Einschränkungen, welche dem Messprinzip und der Messsituation geschuldet sind. Tendenzen einer zunehmenden Akzeptanz der Thermografie im Produktsektor Schweißnähte sind deutlich erkennbar, besonders dort, wo die sogenannte 200 % Volumenprüfung verlangt wird. Dabei besitzt die passive Thermografie das außerordentliche Potential, ein Element der Prozessüberwachung sein zu können.

## **Literatur**

- [1] Wetzels, G.; Börnert, A.; Klisch, A.: Bericht zum Innovationsforum pathe-Passive Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren für thermisch gefügte Bauteile. 1. Aufl. Halle (Saale): DVS Media, 2016. – Förderungskennzeichen 01HI15009.
- [2] Klisch, A.: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen mittels passive Thermografie aus der Sicht eines Anwenders. Gemeinschaftsveranstaltung DVS BV Halle und DGZfP AK Halle-Leipzig 9 (2016) 1, S. 5.
- [3] Lindner, N.: Passive Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Evaluierung des Schweißprozesses. Masterarbeit, TU Chemnitz, 2017.
- [4] Döppner, J.: Einführung in Theorie und Praxis der Infrarot-Thermografie. Schulungsunterlagen 1 (2015) 1, S. 84-88.
- [5] Wagner, S.: Qualifizierung und Zertifizierung der passiven Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren nach DIN EN ISO 9712:2012-12. Innovationsforum pathe-Passive Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren für thermisch gefügte Bauteile 1 (2016) 1, S. 79-81.

## **Autorenanschriften**

M. Sc. Armen Klisch

Schweißtechnische Lehr-  
und Versuchsanstalt Halle GmbH  
Köthener Straße 33a  
06118 Halle (Saale)

Telefon: 0345-5246231  
Telefax: 0345-5246222  
E-Mail: [klisch@slv-halle.de](mailto:klisch@slv-halle.de)