

Effektive Erkennung von SF₆-Leckagen mit einer Gaskamera

Dipl.-Ing. **Frank Zahorszki**, ITEMA GmbH, Merseburg

Einleitung

Die Detektion gefährlicher Gase mit optischen (infraroten) Kameras setzt sich vielen Bereichen der Industrie seit einigen Jahren massiv durch. Die Klassifizierung der Gase als gefährlich erfolgt entsprechend ihrer Gefährlichkeit für:

- Die Umwelt / das Klima: Treibhauseffekt, Ozonloch
- Menschen: Vergiftung, Erstickung, Verätzung, Gestank
- Technische Anlagen: Explosion, Brand, Zerstörung von Einsatzstoffen oder Produkt, Ausfall der Funktionalität und/oder Sicherheit (SF₆-Verlust)

Weitere relevante Faktoren können auch die Bewahrung eines positiven Firmenimages durch Vermeidung von Störfällen oder die höhere Wertschöpfung durch fehlenden Produktionsausfall oder eine höhere Produktqualität sein.

FLIR als Weltmarktführer für Infrarotkameras hat vor einigen Jahren eine patentierte Gruppe von Gaskameras entwickelt, um verschiedenste Gase aus ungefährlicher Entfernung effizient und sicher detektieren zu können.

1. Technologie der optischen Gasleckerkennung /

Funktionsprinzip der SF₆-Gaskamera

Typischerweise sind Infrarotkameras eher breitbandig ausgeführt, d. h. sie empfangen die elektromagnetische Strahlung in einem weiten Wellenlängenbereich – z. B. 8 - 14 µm. Gaskameras haben ein sehr schmalbandiges Filter, welches deckungsgleich mit der spektroskopischen Absorptionsbande des zu detektierenden Gases (SF₆: 10,3 bis 10,7 µm) ist. Da das Gas dann in diesem Wellenlängenbereich gleichzeitig als Absorber für die Hintergrundstrahlung und als Emittent von IR-Strahlung wirkt, erscheint es deutlich verstärkt vor dem Hintergrund und ist klar sichtbar.

Dass man mit einer solchen Gaskamera keine Konzentrationen messen kann, hat mehrere Ursachen. Der Hauptgrund ist der, dass eine Gaswolke immer ein dreidimensionales Gebilde unterschiedlicher Konzentrationen, Gastemperaturen und Hintergründe ist. Die auf dem Strahlungsweg liegenden Anteile der unterschiedlichen Schichten sind nicht extrahierbar. Des Weiteren werden durch die Bildbehandlungsalgorithmen zur Sensitivitäts-

erhöhung quantitative Messwerte wie Wärmestrahldichten in qualitative Aussagen umgewandelt.

2. Anforderungen an eine optimale Gaskamera

Da infolge der spektralen Filterung sehr viel Strahlungsenergie verloren geht, muss dies kompensiert werden. Die aus der Nachtphotografie bekannte Lösung zur Verlängerung der Belichtungszeiten ist unpraktikabel, da oftmals eine mobile Arbeitsweise ohne Stativ notwendig ist. Mit Stativ sind z. B. Detailaufnahmen auf einer Bedienerbühne mit Gitterrostboden schwer möglich – oder die Besteigung einer Mannleiter. Für die SF6-Detektion in Hochspannungsanlagen stellt dies üblicherweise kein Problem dar.

Die Kompensation der fehlenden Strahlungsenergie kann daher praktisch nur auf dem Weg der Sensitivitätserhöhung des Detektors und der Auswertelgorithmen erfolgen. Aus den Praxiserfahrungen in verschiedenen Testreihen ergibt sich eine minimale thermische Auflösung des Detektors von 15mK oder besser als sichere Variante, um auch kleinere Leckagen erkennen zu können. Nach der Gewinnung hochsensitiver Rohdaten durch einen exzellenten Detektor kann durch eine nachgeschaltete Bildverarbeitung in der Kamera die wirksame Kamerasensitivität noch einmal deutlich gesteigert werden. FLIR benutzt dazu einen patentierten Algorithmus, der in Echtzeit zwischen bewegten Bildszenen – typischerweise die Gaswolke – und der sich nicht bewegenden Umgebung differenziert. Eine Durchführung dieser empfindlichkeitssteigernden Berechnungsmethoden in der Kamera (HSM-Modus) sichert die mobile Einsetzbarkeit der Kamera.

Farbliche Markierungen des austretenden Gases haben sich am Markt nicht durchgesetzt, da sie immer durch einen Bedienereingriff getrimmt werden müssen und so die Ausdehnung der „dargestellten Gaswolke“ von der Willkür des Bedieners abhängt. Eine echte bedienerunabhängige autonome Gaswolkenmarkierung wäre ein willkommenes Feature.

Eine ATEX-Zertifizierung einer Gaskamera ist nicht notwendig, wie selbst die EU-Kommission in ihren Empfehlungen zum Einsatz optischer Gaskameras schreibt. Die Durchführung einer Risikoanalyse für ex-gefährdete Bereiche (in der Industrie: Feuererlaubnischein) und die Mitführung eines Ex-Meters während der Messung sind ausreichend. Wenn der Betreiber eine solche Risikoanalyse oder eine Ausweisung von Ex-Zonen nicht durchgeführt hat, ist im Rahmen der Risikoanalyse des Messtechnikers das Ex-Meter permanent einzusetzen. Bei ATEX-zertifizierten Gaskameras ist zu bedenken, dass die Kamera immer auch für die betreffende Schutzklasse zertifiziert ist. Eine Kamera mit einer Schutzklasse für Stäube ist nicht für explosionsgefährdete Gase zugelassen.

Frank Zahorszki: „Effiziente Erkennung von SF6-Leckagen mit einer Gaskamera“

Ein mobiler Einsatz ohne 220V-Stromversorgung und lange Akkulaufzeiten sind für einen spezialisierten Dienstleister unabdingbar. Eine Netzstromversorgung steht auch im Widerspruch zu ggf. auftretenden Ex-Zonen in diesen Anlagen.

Eine Nutzbarkeit der Kamera bei leichtem Nieselregen oder winterlichen Bedingungen runden das Profil für eine effiziente und hochsensible Gaskamera ab.



Bild 1: Einsatz einer FLIR-Gaskamera unter harten Winterbedingungen

Letztendlich hängt das optimale Messergebnis von verschiedenen Faktoren ab – und die Gaskamera ist dabei nur ein Teil:

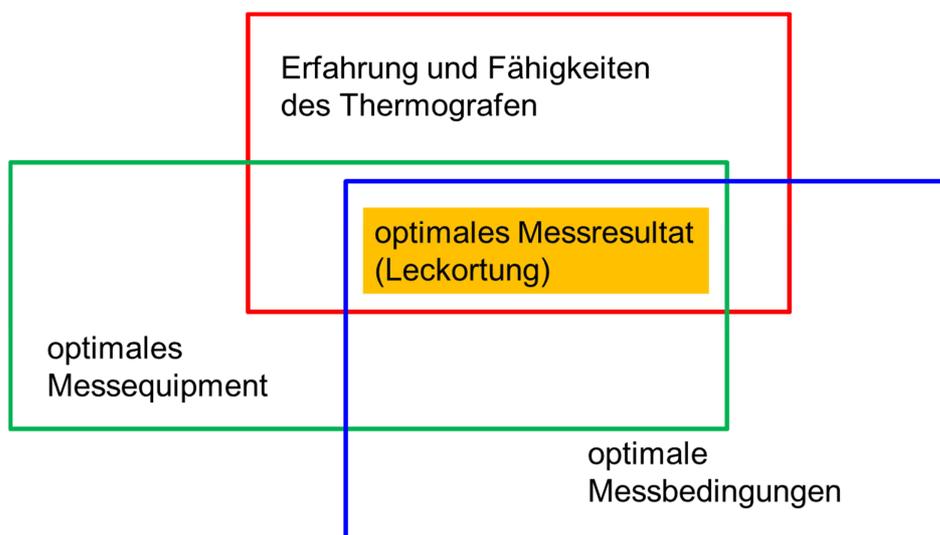


Bild 2: Rahmenbedingungen für eine optimale Leckortung

Frank Zahorszki: „Effiziente Erkennung von SF6-Leckagen mit einer Gaskamera“

Limitierende Witterungsbedingungen sind starker – vor allem böiger – Wind und zu starker Regen bzw. Schneefall. Durch den Wind wird das austretende Gas an der Leckagestelle sofort verwirbelt und damit in seiner Konzentration ausgedünnt. Eine Gaswolke bleibt auch nicht so lange an der Leckstelle „stehen“ wie bei Windstille. Eine ausführlichere und zeit-aufwendigere Inspektion kann dies nur teilweise kompensieren.



Bild 3: Einsatz der Gaskamera an einem 110kV-Schalter



Bild 4: Einsatz der Gaskamera in einem Umspannwerk

3. Anforderungen an die Bediener / Schulung und Weiterbildung

Es gibt noch keine allgemein gültigen Anforderungen an die Bediener solcher Kameras. Bedingt durch die hohen Gerätepreise werden diese Kameras momentan noch weitestgehend durch Fachleute eingesetzt. Wenn man ein Anforderungsprofil für Bediener erstellen müsste, wären u. a. die folgenden Punkte sinnvoll:

- Kenntnis der technischen Besonderheiten der zu inspizierenden Anlagen
- Ruhiges und systematisches Arbeiten, um keine potentiellen Leckstellen auszulassen
- Ggf. Höhentauglichkeit und sicherer Tritt
- Sensibilität für sicherheitstechnische Anforderungen

Im Rahmen der Schulungen des Autors zum Einsatz von FLIR Gaskameras werden u. a. die folgenden Punkte vermittelt:

- Einführung in das Messverfahren und die Gerätetechnik
- Bedienung der Kamera
- Vermeidung von Fehlinterpretationen
- Übungen an Kundenanlagen
- Dokumentation der Messungen und Erstellung von Prüfberichten
- Bewertung der Messung – u. a. auch durch Nutzung von Bewertungsmatrizen

Der Trainer hat dabei eine mehrjährige Erfahrung mit Messungen mit Gaskameras – auch als selbstständiger Sachverständiger.

3. Vergleich mit anderen Verfahren

Die Leckageerkennung wird bislang u.a. mit mobilen Gasdetektionsgeräten durchgeführt, welche an die potentielle Leckstelle gebracht werden müssen. Daraus folgt, dass diese nur an ausgewählten Stellen einsetzbar sind, wo keine gefährlichen Distanzen zu spannungsführenden Teilen unterschritten werden. Ein Einsatz z. B. an Wandlerköpfen ist aus Sicherheitsgründen nicht möglich. Hier hat die Gaskamera deutliche Vorteile.

Eine andere Methode ist die Überwachung der Nachfüllmengen. Diese ist sehr aussagefähig in Bezug auf das Vorhandensein eines Lecks – kann aber nicht die Leckstelle ermitteln. Sie stellt eine gute Grundlage für die Entscheidung zum Einsatz einer Gaskamera dar.

4. Einsatzerfahrungen – typische Leckstellen

Die 2-3 typischen Leckstellen an SF6-Schaltanlagen gibt es nicht. Generell lassen sich bei den Messungen Leckstellen an den folgenden Punkten finden:

- Manometerverschraubungen
- Berstscheiben und Deckel auf Schaltgeräten und Wandlern
- Blindstopfen und Füllstutzen
- Dichtungen an Flanschverbindungen von größeren SF6-Systemen

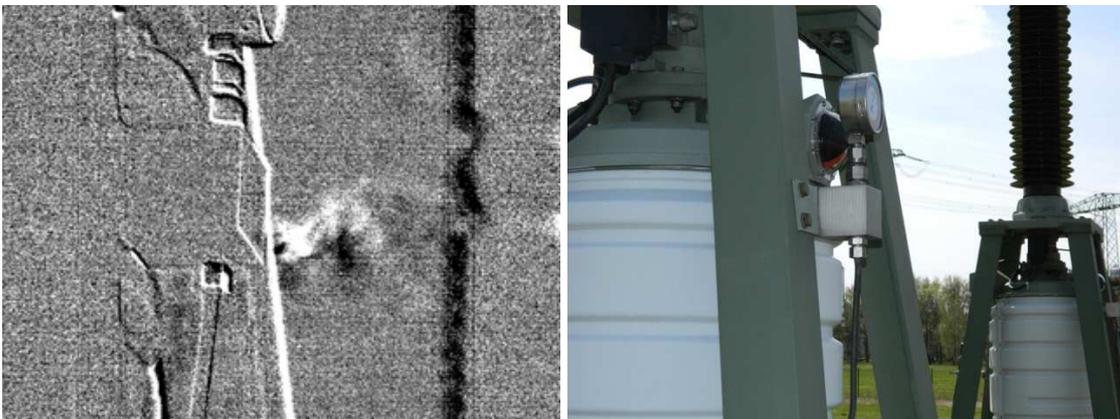


Bild 5: 2,5 kg/a SF6-Verlust an einer Manometerverschraubung

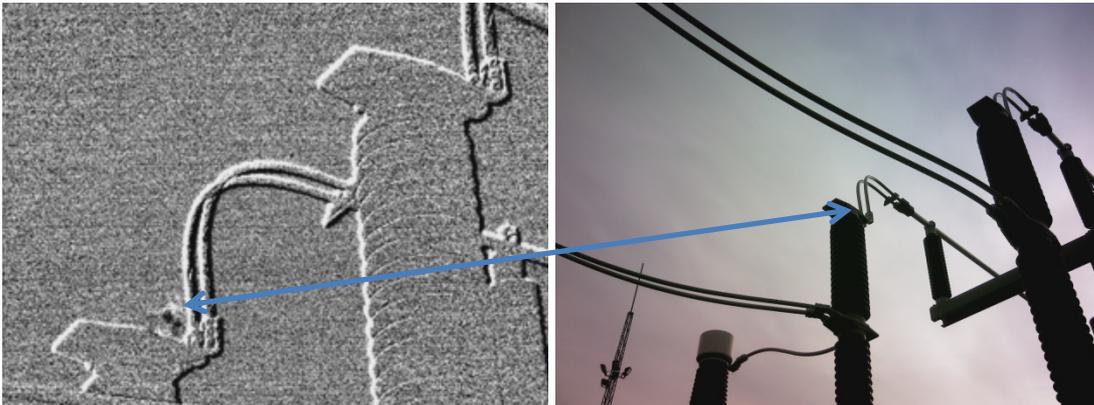


Bild 6: 1 kg/a SF6-Verlust an einem 110kV-Schalter

Die Dokumentation der aufgefundenen Leckage erfolgt mit Videos und einem Prüfbericht.

Frank Zahorszki: „Effiziente Erkennung von SF6-Leckagen mit einer Gaskamera“

<p>Ortung von SF6-Gasleckagen mit einer GasFindR-Kamera GF306 für ... GmbH</p> <p>Objekt: Umspannwerk ... Ort: ... GmbH</p> <p>Auftraggeber: SÜDKO Transmission GmbH [Regionalzentrale Mitte (Neuenkirchen)] Gartenweg 1A, 24835 Breda</p> <p>Auftragsnummer: vom 04.09.2013</p> <p>Auftragnehmer: ITEMA GmbH Schulstraße 2 96217 Meranoberg / Of. Oldach</p> <p>Telefon: 03461 902523 Fax: 03461 902527 E-Mail: info@itema.de www.itema.de</p> <p>Montag: 28.08.2013</p> <p>Montagsschicht: Dir.-Ing. Frank Zahorszki Dir.-Ing. Frank Zahorszki</p> <p>Aufgabenstellung: Die GasFindR-Kamera GF306 ist in der Lage, flüchtige Gase wie SF6 u. a. zu visualisieren. In dicht besetzten Umspannwerken wurden an einzelnen Komponenten Verluste an SF6-Gas festgestellt. Mit der hochsensitiven SpezialR-Kamera GF306 soll die nach den Ausschreibungen der SF6-Schwebe gesucht werden. Die aufgefundenen Stellen werden mittels Video zu dokumentieren.</p>	<p>SF6-Gasleckagemessung LW - 28.08.13 - Seite 2</p> <p>Vorgabewerte/Realisierung:</p> <p>Messprotokoll und Allgemeine Bemerkungen: Flüchtige Kohlenwasserstoffe haben bei bestimmten Witterungen die Eigenstoff-Wärmeleitfähigkeit zu übersteigern bzw. besser zu umfassen. Mit einer sehr hochauflösenden SpezialR-Kamera kann der sich im Strahlungsweg ergabende Unterschied visualisiert werden. Die Videos von der GasFindR-Kamera sind entweder als normale Bilder (90° oder im hochauflösenden Bewegtbildformat (1080i) zu visualisieren. Für jede Leckage hat sich der HF-Messwert die geringste Distanzleistung anzuweisen. Die Verengung von den aus der Gaslecke-Flussrichtung kommenden Partikeln anzeigt sich bei der Gasleckeortung nicht als zweckmäßig – hier sind kontrastreiche Flächen wie die Glasfronten oder Glasfenster zu vermeiden. Die Gaslecken haben sich im Video als „weiße Wolken“ vom Hintergrund ab. Im 1080i-Bildformat durch die hohe Empfindlichkeit der SF-Kamera werden die Wärmeflächen auf Flächen – häufig verbleiben – Oberflächen in ähnlicher Form. Dies ist nicht zu vermeiden. Bei der Gasleckeortung sind die Gaslecken nicht über die Begrenzung der kalten Oberflächen hinausgehen.</p> <p>Messaufwand und Ergebnisse: Nach einer kurzen Anlaufzeit und Einweisung wurden die betreffenden Anlagen besichtigt und nach Bedarf dokumentiert. Die Messung wurde durch die Messung von Seiten des Betriebs begleitet. Die Messungsergebnisse waren ca. 12°C aufgetrennter Umgebung und nahezu kein Wind. Im Rahmen der Messungen werden die folgenden Anlagen und Equipments überprüft:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 110kV-Schalter GFS3131792 1 110kV-Schalter GFS3131792/1 2 220kV-Wandler SF6 1 Transformator 240kV (500221208 und 500221209) Leistungsschalter 220kV GFS3131792/1 Alle 110kV-Leistungsschalter und -Wandler Alle verfügbaren 220kV- und 300kV-Wandler 																								
<p>SF6-Gasleckagemessung LW - 28.08.13 - Seite 3</p>  <p>Bild 1: 110kV-Schalter GFS3131792/1 Video: 00:00-00:01</p> <p>Bild 2: 110kV-Schalter GFS3131792/1 Video: 00:01-00:02</p> <p>Bild 3: 110kV-Schalter GFS3131792/1 Video: 00:02-00:03 undichte Messermechanischeinrichtung</p> <p>Bild 4: 110kV-Schalter GFS3131792/1 Video: 00:03-00:04 undichte Messermechanischeinrichtung</p> <p>Bild 5: 110kV-Schalter GFS3131792/1 Nachmessung mit SF6-Gasmessgerät</p> <p>Bild 6: 110kV-Leistungsschalter</p>	<p>SF6-Gasleckagemessung LW - 28.08.13 - Seite 4</p> <p>Übersicht über die Videos: Finden sich mehrere Videos zu einem Equipment, so werden hier die Temperaturbereiche, Bildwinkel bzw. die Intensität des HF-Messwert, unterschiedliche Kontrasteinstellungen zu umfassen. Zur Erleichterung einer optischen, aber auch nicht übermäßigen Dokumentierung werden nicht alle im Original gemessenen Videos für den Prüfbereich verwendet bzw. mit Schnappschussqualität noch nicht getrennt dokumentiert. Die Abbildungen beschränken sich auf die Bildwinkel, die Intensität und die Messwerte im Video (im normal optischen Bereich).</p> <table border="1"> <tr> <td>MOV_0005</td> <td>IR</td> <td>110kV-Schalter GFS3131792, zu diesem Zeitpunkt kein Gasverlust feststellbar</td> </tr> <tr> <td>MOV_0007</td> <td>VS</td> <td>110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)</td> </tr> <tr> <td>MOV_0009</td> <td>IR</td> <td>110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)</td> </tr> <tr> <td>MOV_0100</td> <td>IR</td> <td>110kV-Schalter GFS3131792, Bestätigung des Gasverlustes – kein Gasverlust am Detail feststellbar</td> </tr> <tr> <td>MOV_0102</td> <td>VS</td> <td>110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)</td> </tr> <tr> <td>MOV_0102</td> <td>IR</td> <td>110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)</td> </tr> <tr> <td>MOV_0107</td> <td>IR</td> <td>110kV-Leistungsschalter kein Gasverlust (nur Begrenzung Spiegel)</td> </tr> <tr> <td>MOV_0108</td> <td>IR</td> <td>110kV-Leistungsschalter kein Gasverlust</td> </tr> </table> <p>Bewertung der Messungen: Die GasFindR-Technologie ist eine qualitative Technologie zur Ortung von Gaslecks. Eine Quantifizierung oder Leckmengenbestimmung ist nicht möglich, da die Messleistung u. a. von den folgenden Faktoren abhängt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperaturdifferenz zwischen Gas und Hintergrund • Strahlungsintensität des Lecks • Hintergrund des Hintergrundes • Art und Position des Lecks • Empfindlichkeit der Kamera • Abhängigkeit des Lecks <p>Aus Erfahrungen und Testmessungen ist bekannt, dass Leckraten ab ca. 10g SF6 pro Jahr erfasst werden können.</p> <p>Zusammenfassung: Im Ergebnis der Messung lässt sich feststellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die GasFindR-Technologie ist in der Lage, SF6-Gas zu visualisieren. • Es wurden 2 Leckstellen an 110kV-Schaltern gefunden. • Die anderen Schalter und Wandler sind undicht. • Es sind Instandsetzungsarbeiten notwendig, um die SF6-Gasverluste zu begrenzen. <p>Meranoberg, 28. 08. 2013</p> <p>ITEMA GmbH <i>Frank Zahorszki</i> Dir.-Ing. Frank Zahorszki</p>	MOV_0005	IR	110kV-Schalter GFS3131792, zu diesem Zeitpunkt kein Gasverlust feststellbar	MOV_0007	VS	110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)	MOV_0009	IR	110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)	MOV_0100	IR	110kV-Schalter GFS3131792, Bestätigung des Gasverlustes – kein Gasverlust am Detail feststellbar	MOV_0102	VS	110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)	MOV_0102	IR	110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)	MOV_0107	IR	110kV-Leistungsschalter kein Gasverlust (nur Begrenzung Spiegel)	MOV_0108	IR	110kV-Leistungsschalter kein Gasverlust
MOV_0005	IR	110kV-Schalter GFS3131792, zu diesem Zeitpunkt kein Gasverlust feststellbar																							
MOV_0007	VS	110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)																							
MOV_0009	IR	110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)																							
MOV_0100	IR	110kV-Schalter GFS3131792, Bestätigung des Gasverlustes – kein Gasverlust am Detail feststellbar																							
MOV_0102	VS	110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)																							
MOV_0102	IR	110kV-Schalter GFS3131792, Gasverlust am Detail (Gasverlust ca. 1/1000)																							
MOV_0107	IR	110kV-Leistungsschalter kein Gasverlust (nur Begrenzung Spiegel)																							
MOV_0108	IR	110kV-Leistungsschalter kein Gasverlust																							

Bild 7: typischer Prüfbericht für eine Hochspannungsschaltanlage

Die obigen Standbilder zeigen wie schwierig eine Leckdokumentation mit „Standbildern“ ist. Daher hat sich die Dokumentation mit aussagefähigeren Videos durchgesetzt. Die Graustufendarstellung erbringt dabei den optimalen Kontrast zwischen Gas und Hintergrund und lenkt dabei nicht durch farbliche Effekte ab.

Für die Bewertung der aufgefundenen Fehler gibt es noch kein einheitliches Schema. Die Frage der sicheren Quantifizierung der aufgefundenen Leckmenge an Hand der Gaskamerasvideos ist wahrscheinlich nicht lösbar.

Bei den Schaltanlagen lassen sich i. d. R. die betroffenen Bereiche mit den aufgefundenen Leckagen frei schalten und dann reparieren. Eine Kategorisierung der Fehler ist daher nicht zwingend notwendig.

5. Zusammenfassung

Der Einsatz einer solchen Gaskamera FLIR GF 306 für die Ortung von SF6-Leckagen stellt ein effizientes und erprobtes Mittel zur Begrenzung von SF6-Emissionen dar. Eine Erfüllung der Betreiberpflichten zur Minderung dieser klimaschädlichen Emissionen wird damit einfacher.

Je nach den individuellen Verfügbarkeitsanforderungen wird es Betreiber geben, die eine solche Messtechnik im eigenen Unternehmen vorhalten wollen oder andere, welche lieber auf die Erfahrungen eines spezialisierten Dienstleisters zugreifen wollen. Eine robuste, mobile und hochauflösende (< 15mK) optische Gaskamera, eine entsprechende Ausbildung an der Technik und Kenntnisse der zu inspizierenden Anlagen sollten dabei die Grundlage für ein sicheres und reproduzierbares Messergebnis bilden.

Kontaktdaten des Autors:

Dipl.-Ing. Frank Zahorszki

c/o ITEMA GmbH

Schulstrasse 2, 06217 Merseburg / OT Blösien

info@itema.de Tel. 03461-502510

www.itema-gaskamera.de

ITEMA GmbH
Infrarot-Thermografie, Engineering,
Messtechnik & Automatisierung

Schulstrasse 2, 06217 Merseburg
Tel. 03461-502510 Fax 03461-502527
www.flir-infrarot.de www.itema.de
info@itema.de