

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	85 (1994)
<b>Heft:</b>	7
<b>Artikel:</b>	Thermographische Inspektion von Hochspannungsanlagen : periodische visuelle und infrarotgestützte Kontrollen erhöhen die Betriebssicherheit
<b>Autor:</b>	Moor, Willy / Florin, Christian
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-902554">https://doi.org/10.5169/seals-902554</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Eine periodische Kontrolle von Hoch- und Niederspannungsanlagen mit thermographischen Methoden unterstützt in sicherer und höchst rationeller Art die vorbeugende Instandhaltung. Schwachstellen an unter Spannung stehenden Anlageteilen entwickeln sich in den meisten Fällen schleichend. Mit einer modernen Infrarot-Gerätetechnik erkennt aber erfahrenes Messpersonal sogenannte Hot spots frühzeitig. Betriebsausfälle, Sachschäden und Brandausbrüche mit oft hohen Folgeschäden lassen sich vermeiden.

# Thermographische Inspektion von Hochspannungsanlagen

## Periodische visuelle und infrarotgestützte Kontrollen erhöhen die Betriebssicherheit

■ Willy Moor und Christian Florin

Die Darstellung der Wärmestrahlung mittels thermographischer Messverfahren ermöglicht die Beurteilung des Zustandes von Hochspannungsanlagen. Solche Thermogramme lassen erkennen, welche Anlageteile wo und mit welcher Intensität Wärme abstrahlen, geben also Auskunft über ihre Temperatur. Thermogramme sind daher ein Werkzeug zur Schadensverhütung und erlauben eine zerstörungsfreie Diagnose von komplexen Anlagen. Mit Routineinspektionen können Schäden und Ausfälle verhütet und mit gezielten Messungen Schwachstellen lokalisiert werden. Thermogramme werden auch auf anderen Gebieten benutzt, so zur Klassierung von Energieverlusten im Bausektor, zur Beurteilung von Umweltschäden (Deponien, Gewässer, Wälder usw.) oder zur Diagnose in der medizinischen Anwendung (siehe Kasten).

### Die thermographische Messung

#### Physikalische Grundlagen der Thermographie

Thermographische Methoden zur Temperaturbestimmung oder zur Feststellung von Temperaturunterschieden beruhen auf der Tatsache, dass jeder Körper, entsprechend seiner Temperatur, elektromagnetische Strahlung aussendet. Das Emissions-

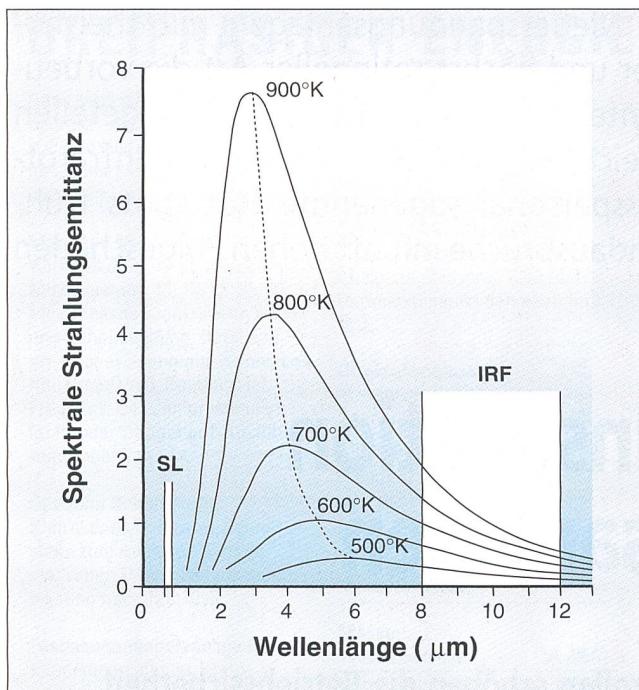
spektrum, das heisst die Intensität der Strahlung als Funktion ihrer Wellenlänge, wird durch das Plancksche Strahlungsgesetz beschrieben (Bild 1). Nach diesem Gesetz nimmt die Strahlungsintensität eines schwarzen Körpers mit seiner Temperatur stark zu. Zudem verschiebt sich die Wellenlänge der maximalen Strahlungsintensität mit steigender Temperatur gegen den von unserem Auge wahrnehmbaren (sichtbaren) Bereich. Aus Bild 1 erkennt man, dass im betrachteten Temperaturbereich die ausgesandte Strahlung hauptsächlich im Infrarot(IR)-Bereich und nur ein ganz kleiner Teil im sichtbaren Bereich liegt. Diese Tatsache wird beispielweise bestätigt beim Erhitzen eines Eisenstabes, welcher ab etwa 500°C zu glühen beginnt, also sichtbares (rotes) Licht aussendet, und bei noch höheren Temperaturen noch stärker und heller leuchtet. Tatsächlich strahlt der

#### Weitere Einsatzbereiche von Infrarotkameras

- Gebäudeuntersuchung auf Energieverluste
- Gebäudeuntersuchung auf Feuchteschäden
- Ortung von Leitungssystemen
- Ortung von Leckstellen
- Medizin
- Deponieuntersuchungen
- Gewässerverschmutzung
- Wald- und Flurschäden
- industrielle Anwendungsbereiche
- Brandbekämpfung

#### Adresse der Autoren:

Willy Moor und Christian Florin, Ing. HTL,  
Flir AG, Arsenalstrasse 40, 6010 Kriens.



**Bild 1** Strahlungsverteilung eines schwarzen Körpers

Das für spezifische Temperaturen dargestellte Plancksche Strahlungsgesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der Strahlungsemission eines schwarzen Körpers und seiner absoluten Temperatur. Für reale Körper sind die Intensitäten mit dem sogenannten Emissionsfaktor ( $\leq 1$ ) zu korrigieren.

SL sichtbares Licht  
IRF Infrarot-Fenster  
8–12 μm; in diesem Bereich arbeiten verschiedene der unten erwähnten Infrarotgeräte

stungsscanner, welcher vorwiegend vom Helikopter oder Flugzeug aus eingesetzt wird. Allen Fällen ist gemeinsam, dass die Geräte die Wärmestrahlung mittels hochsensibler Sensoren in ein sichtbares Bild umwandeln.

**Der Hochleistungsthermalscanner:** Eine Thermalscanner moderner Bauart zeigt Bild 2. Dieser ermöglicht eine hohe geometrische Auflösung mit über 200 000 Bildpunkten (und damit Temperaturpunkten) pro Bild. Aufnahmedistanzen auch über 500 m ergeben immer noch äußerst präzise Wärmebilddaten. Eine hohe Bildfolge von 50 Bildern pro Sekunde ermöglicht weitflächige komplexe Anlagen und Übertragungsleitungen über Hunderte von Kilometern in rationeller Art zu erfassen und aufzuzeichnen. Der Einsatz des Thermalscanners erfolgt vorwiegend aus dem Helikopter, aus langsam fliegenden Flächenflugzeugen oder ab topographisch günstig gelegenen Kamerastandorten.

**Die FSI-Kamera:** Ein tragbares Wärmebildsystem, ähnlich einer normalen Video-

Eisenstab bereits bei viel tieferen Temperaturen, hier allerdings vorwiegend in Form von längerwelliger (unsichtbarer) IR-Strahlung (auch Wärmestrahlung genannt).

Die Thermographie benutzt nun diese Zusammenhänge, um aus der IR-Strahlung eines Körpers seine Temperatur berührungslos zu messen. IR-Strahlung ist für das menschliche Auge unsichtbar, ihre Intensität kann aber mit geeigneten Geräten, das heißt mit IR-Geräten, genau gemessen werden. In Analogie zur Fotografie, welche die «Lichtverteilung» aufzeichnet, dient die Thermographie zur Aufzeichnung der «Temperaturverteilung». Während normale optische Geräte die Objekte aufgrund des von ihnen zurückgestreuten sichtbaren Lichtes, welches normalerweise von einer fremden Lichtquelle stammt (Sonne, Scheinwerfer, Foto-Blitzgerät usw.), abbilden, stellen Infrarotgeräte die Gegenstände aufgrund der von diesen selbst ausgestrahlten IR-Strahlung dar (z.B. Nachtsichtgeräte; sie brauchen also keine Beleuchtung); Helligkeitsunterschiede auf thermographischen Bildern bedeuten also Unterschiede in der Temperatur der abgebildeten Objekte.

Für quantitativ korrekte Messungen von Oberflächentemperaturen sind aber weitere Faktoren zu berücksichtigen, welche in der obigen vereinfachten Darstellung nicht erwähnt wurden. So ist zu beachten, dass die Kurven nach Bild 1 nur für sogenannte schwarze Körper gelten. Für die normalerweise vorkommenden Objekte sind die Kurven aus Bild 1 mit einem empirisch zu bestimmenden, wellenlängenabhängigen Emissionsfaktor  $E(\lambda) \leq 1$  zu korrigie-

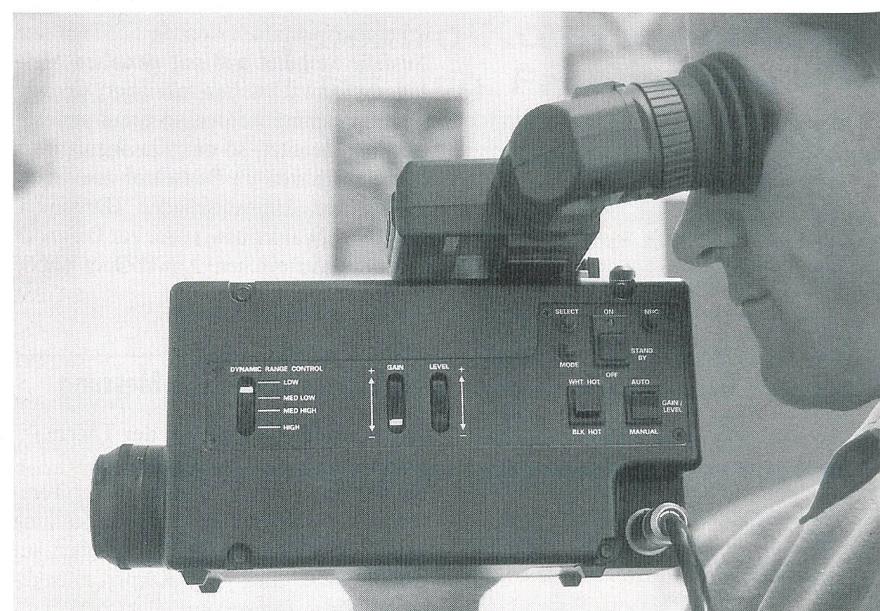
ren. Bei thermographischen Messungen muss daher gleichzeitig die materielle Zusammensetzung der Messobjekte berücksichtigt werden. Auf weitere Einflussgrößen, welche bei Messungen zu berücksichtigen sind, wird im letzten Kapitel dieses Artikels eingegangen.

## Geräte der Thermographie

Die moderne Thermographie nutzt ein breites Gerätespektrum für die verschiedensten Wellenlängen und mit unterschiedlicher Auflösung und Optik: Es reicht vom kleinen, portablen Hand- oder Stativ-Wärmebildsystem bis zum Hochleis-



**Bild 2** Hochleistungsthermalscanner JR18



**Bild 3** FSI-Kamera

kamera, zeigt das Bild 3. Solche Focal plane Array-Kameras enthalten kein Abtastsystem mehr. Die gesamte Objektszene wird direkt und ohne Zeilensprung auf einem Array von 320x240 Sensoren abgebildet. Ein Minikühler ersetzt die Stickstoffkühlung und ermöglicht eine stete Einsatzbereitschaft. Das Infrarotbild wird als Videosignal (PAL) bereitgestellt.

## Beispiele thermographischer Kontrollen an HS-Anlagen

Hot spots in elektrischen Anlagen sind untrügliche Hinweise, dass sich eine Störung anbahnt. Lose Schraubenverbindungen, hohe Übergangswiderstände, Schäden an Isolationen und Dielektrika machen sich unter Belastung durch lokale Wärmeentwicklung bemerkbar.

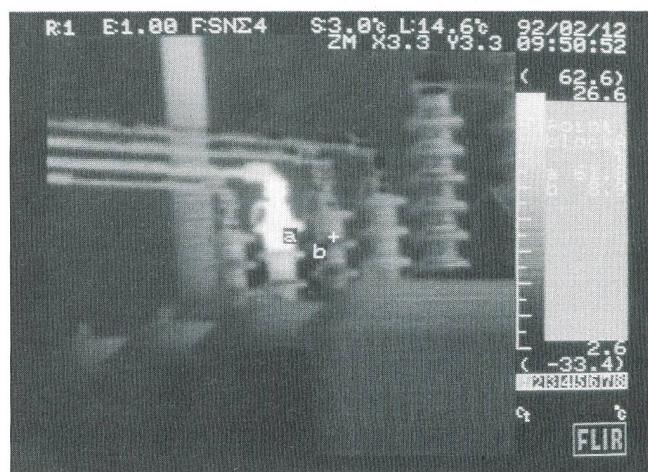
Durch thermographische Messungen werden solche Schwachstellen sichtbar, so dass vorbeugende Massnahmen getroffen werden können, bevor es zu einem unliebsamen Ausfall kommt. In der Praxis stellt man oft aufgrund elektrischer Messdaten fest, dass irgendwo in einem Strang etwas nicht normal ist, kann aber den Fehlerort nicht ohne weiteres eruieren; mit Thermographie lässt sich dieser meist relativ einfach finden.

Für Hochspannungsanlagen im Betrieb gilt «Zutritt verboten», und es ist praktisch auch nicht möglich, im Hochspannungsbereich Temperaturfühler mit entsprechenden Messleitungen einzusetzen. Ganz abgesehen von Isolationsproblemen stellt sich die Problematik der grossen Abmessungen. Die Thermographie erlaubt eine berührungslose Abtastung und kann über Distanzen von mehr als hundert Metern eingesetzt werden.

### Innenraumanlagen

Für die Inspektion von Innenraumanlagen sind kleine tragbare Wärmebildsysteme geeignet. Diese Messgeräte werden von einem Operateur getragen. Ähnlich einer Videokamera dient die Infrarotkamera zur Aufnahme der einzelnen Schaltfelder oder Anlageteile. Ist eine Schadstelle vorhanden, erscheint auf dem Infrarotbild im Monitor eine erhöhte Strahlungsdichte. So zeigt das Bild 4 die Schwachstelle bei einer Trafoeinführung, welche bei einer Belastung von 70% eine Temperaturüberhöhung von +52,9 °C erfährt. Aufgrund dieser Informationen lässt sich die Temperaturüberhöhung für eine 100%ige Belastung hochrechnen. In gleicher Weise zeigt das Bild 5 die Schwachstelle eines Trenners, auf welche bei einer Belastung von 80% zu einer Temperaturüberhöhung der kritischen Stelle von +92,5 °C führt.

**Bild 4 Infrarot-Bild der Schwachstelle einer Trafoeinführung**  
Die Differenztemperatur beträgt:  $a-b = 52,9^{\circ}\text{C}$  bei 70% Belastung



**Bild 5 Infrarot-Bild der Schwachstelle eines Trenners**  
Die Differenztemperatur beträgt:  $b-a = 92,5^{\circ}\text{C}$  bei 80% Belastung



Bei solchen Inspektionen, mit entfernten Abdeckungen, ist es sinnvoll, gleichzeitig visuelle und akustische Kontrollen durchzuführen. Verschmutzungen, fehlende Beschriftungen, ungenügende Abdeckungen usw. können gleichzeitig erfasst und in die periodischen Unterhaltsarbeiten eingebunden werden.

### Freiluftschaltanlagen

Bei der Inspektion von Freiluftschaltanlagen spielen Umfang und Zugänglichkeit eine wichtige Rolle. Je nach Fall wird der Einsatz eines Thermalscanners oder aber der kleineren, tragbaren und von Hand eingesetzten Wärmebildsysteme rationeller sein.

Mit dem Thermalscanner lassen sich zuverlässige Inspektionen von Freiluftanlagen im Ausmass von 500x500 m in weniger als einer Stunde durchführen. Das Datenmaterial wird zu nachträglichem Auswertungszweck als Videoband gespeichert. Die kurze Messzeit ermöglicht eine Gesamtinspektion unter quasistationären Betriebsbedingungen. Schwachstellen können auf einfache Weise lokalisiert werden.

Wird ein tragbares Wärmebildsystem zur Inspektion vorgezogen, so können

gleichzeitig andere visuelle Kontrollen miteinbezogen werden. Der zeitliche Aufwand ist erheblich grösser als bei einer Inspektion mittels Hochleistungsthermalscanner. Das Bild 6 zeigt, wie auf diese Weise die Schwachstelle eines Schwenktrenners mit einer Temperaturüberhöhung von +27,8 °C (bei 50% Belastung) eindeutig lokalisiert werden kann.

### Freileitungen

Für die Inspektion einer Freileitung wird vorteilhaft mit einem Hochleistungsscanner operiert. Sofern möglich, erfolgt die Inspektionsmessung entweder mit Geländefahrzeugen (bei befahrbarer Umgebung) oder mit einem Helikopter. Die Bilder werden laufend aufgezeichnet, örtlich zugewiesen (Numerierung, panchromatische Aufnahmen oder GPS-Positionierung) und im nachhinein detailliert ausgewertet.

Rationellerweise wird bei einem Heli-koptereinsatz die visuelle Zustandskontrolle, insbesondere der Freileitungsmasten, miteinbezogen. Dies erspart nicht nur erhebliche Personal- und Transportkosten, sondern bietet auch die wesentlich günstigere Perspektive, als vom Boden aus,

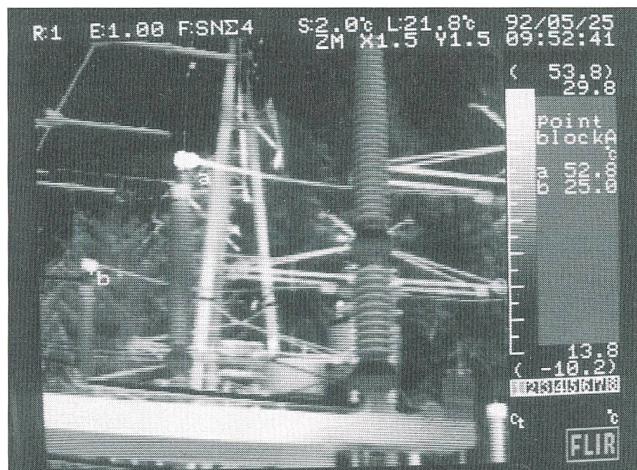


Bild 6 Infrarot-Bild der Schwachstelle eines Schwenktrenners

Die Differenztemperatur beträgt:  $a-b = 27,8^{\circ}\text{C}$  bei 50% Belastung

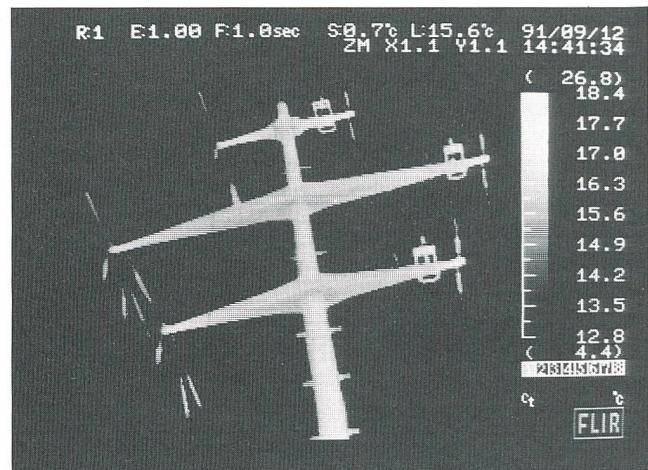


Bild 7 Infrarot-Bild eines Freileitungsmastes

Die Aufnahme erfolgte bei bedeckter Wetterlage. Die Freileitung war bei der Messung mit über 75% belastet. Keine Schwachstellen

und stellt so eine umfassendere Kontrolle sicher. Visuell werden abgebrochene Erdungslitzen und Vogelschutzbesen, Aussinterungen, Längsrisse und andere Betonschäden an den Masten oder Mängel an den Auslegern festgestellt. Korrosionsschäden, behindernde Bäume und Sträucher, am Mast befestigte Weidezäune, fehlende Warntafeln und andere Beschädigungen werden im gleichen Arbeitsgang festgestellt und protokolliert. Durch den geringen Abstand vom Masten zum Heli kann für die gleichzeitige thermographische Kontrolle das kleine Wärmebildsystem eingesetzt werden, was insbesondere in flachem Gelände den Einsatz von Kleinhelikoptern ermöglicht.

Erfahrungsgemäß ist es vorteilhaft, parallel zur Freileitung zu fliegen und jeweils mit dem Heli bis zum nächsten Masten so tief als möglich abzusinken, um dann beim Masten selbst vertikal aufsteigend zu kontrollieren (Bild 7). Zusätzliche, parallel geführte Freileitungen sowie Bäume und Waldpartien können allerdings das Operationsfeld einschränken. Die Erfahrung zeigt, dass die Flugzeit für eine Kontrollseinheit (Flugdistanz zwischen den Masten plus Vertikalflug am Masten) weniger als eine Minute beträgt.

### Thermographische Verfahren erfordern grosse Erfahrung

Die Infrarotkundung ist heute, ganz abgesehen vom militärischen Einsatz, in vielen Bereichen etabliert. Nebst dem Einsatz in der Elektrizitätsindustrie stehen, wie schon erwähnt, der Bausektor, Fernheizsysteme, Umweltkundung und Gesamtenergieanalysen für einzelne Gemeinden und Städte im Vordergrund.

Der Einsatz der Infrarottechnik ist aber weitgehend eine Erfahrungswissenschaft.

Dies vor allem deshalb, weil in einem Wärmebild doch recht viele Faktoren mitspielen und die Erfahrung hilft, die richtigen Mittel einzusetzen und die Bilder richtig zu interpretieren. Die zweckmässige Wahl der Messapparatur, die Festlegung des Messablaufes, die Wahl des Spektralbereiches, der Einbezug der erforderlichen thermischen und zeitlichen Auflösung, die Berücksichtigung der Umgebungs- und Fremdstrahlung, Streustrahlung im Übertragungsmedium, Emissionsstrahlung auf der Objektoberfläche sowie Hintergrundstrahlungseffekte sind Faktoren, die grosse Er-

fahrung erfordern, um schnell und richtig auswerten zu können. Es ist deshalb naheliegend, dass sich werkseigene Infrarotequipen vorwiegend auf Routinemessungen konzentrieren und sich spezialisierte Serviceunternehmen für komplexe Aufgaben und generelle Beratung auf diesem hilfreichen Nischengebiet anbieten. Sie gewährleisten in Zusammenarbeit mit dem werkseigenen Personal, insbesondere im Falle der gleichzeitigen visuellen Kontrolle, die optimalen Voraussetzungen, um das Mittel Infrarotinspektion für die Betriebssicherheit von Hochspannungsanlagen einzusetzen.

## Inspection thermographique des installations de haute tension

### Des contrôles visuels périodiques à l'aide du rayonnement infrarouge augmentent la sécurité de fonctionnement

Le contrôle périodique des installations de haute et moyenne tension par des méthodes thermographiques est une aide sûre et rationnelle à la maintenance préventive. Les points faibles dans les parties d'installations sous tension se développent dans la majorité des cas de manière furtive. Des appareils à infrarouge modernes permettent de détecter à temps les «Hot spots» et d'éviter ainsi des arrêts, des dommages matériels, des débuts d'incendie souvent suivis d'importants dommages indirects.

Les méthodes thermographiques permettent de mesurer sans contact la température d'un corps grâce à son rayonnement IR (fig. 1). Une grande palette d'appareils travaillent actuellement sur diverses longueurs d'onde et avec une résolution et un système optique adaptés. La figure 2 donne en exemple un scanner thermique à haute performance de construction moderne et la figure 3 un système portatif à image obtenue par rayonnement thermique, qui ressemble à une caméra normale. Les images ainsi réalisées présentent les dommages sur les installations électriques le plus souvent comme des points à température accrue donc à intensité spécifique accrue du rayonnement. La figure 4, par exemple, montre une introduction défective dans un transformateur qui, chargé à 70%, subit une augmentation de température de  $+52,9^{\circ}\text{C}$ . De la même manière, les figures 5 et 6 indiquent des points faibles sur des sectionneurs. La figure 7, finalement, montre une prise de vue aux rayons infrarouges d'un pylône de ligne aérienne sur lequel aucun point faible n'a pu être détecté.