

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	67 (1976)
Heft:	22
Artikel:	Temperaturmessungen in Hochspannungsanlagen mittels Infrarot-Messgerät
Autor:	Gantenbein, F.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-915235

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: 20.02.2026

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

Temperaturmessungen in Hochspannungsanlagen mittels Infrarot-Messgerät

Von F. Gantenbein

621.316.17.027.3 : 536.521.2

In über 150 Anlagen wurden mittels einer Thermovisionskamera Hochspannungsinstallationen auf Erwärmungen geprüft. Die Leiter und Apparate wurden unter möglichst grosser Last auf Erwärmung, speziell an Verbindungsmuffen, Apparateanschlüssen, Schalter- und Trennerkontakte usw. untersucht, und Erwärmungsstellen in der Reihenfolge ihrer Dringlichkeit behoben. Folgeschäden sind damit erfolgreich vermieden worden.

Dans plus de 150 installations à haute tension les échauffements ont été contrôlés à l'aide d'une caméra de thermovision. Les conducteurs et les appareils, fonctionnant sous une charge aussi grande que possible, furent ainsi examinés, notamment des manchons de raccordement, des raccords d'appareils, des contacts de disjoncteurs et de sectionneurs, etc. Les endroits trop chauds ont été éliminés dans l'ordre de leur urgence, ce qui a permis d'éviter des dégâts.

1. Problemstellung

Nach der Montage einer Hochspannungsanlage stellt sich immer das Problem der Kontrolle von Erwärmungen an Leiter- und Apparateverbindungen unter Nennlast. Auch nach längeren Zeitperioden können sich Übergangswiderstände ändern, was schon bei Teillasten zu Überhitzungen und zu Defekten führen kann. Entsprechende Schäden traten an verschiedenen Apparaten auf, so z. B. an Trennern, Kabelendverschlüssen, Schaltern, Wandlern, Drosseln, HF-Sperren, Leitungsmuffen usw.

Es stehen diverse Prüfmöglichkeiten zur Verfügung, um all die Erwärmungen als Auswirkung des Übergangswiderstandes einer Verbindung zu messen.

Im ausgeschalteten und geerdeten Zustand der Anlage kann z. B. mittels eines Hochstromtransformators die Installation

auf ihr thermisches Genügen hin getestet werden. Diese Prüfung erlaubt Messungen unter betriebsähnlichen Bedingungen, hat aber den Nachteil, dass die Prüfungszeit gross ist und damit längere Ausserbetriebnahmen sowie Erdungen mit all den Unfallgefahren mit sich bringt.

Im weiteren könnten während des Betriebes Thermometer zur berührungslosen Temperaturmessung eingesetzt werden. Diese Methode gestattet jedoch nur die punktweise Temperaturvergleichsmessung, so dass jede Klemm- und Apparateverbindung einzeln gemessen werden muss. Die Apparate arbeiten z. T. nach dem Infrarot-Messprinzip, d. h. die Wärmestrahlung wird durch einen geeigneten Empfänger aufgenommen und zur Temperaturanzeige ausgewertet.

Eine schnellere Messung wird durch ein Meßsystem ermöglicht, bei dem nicht nur ein Punkt erfasst, sondern eine ganze Fläche thermisch dargestellt wird. Verschiedene ausländische Kraftwerksgesellschaften führen seit 1964 mit solchen Geräten erfolgreich Messungen als Ergänzungen der vorbeugenden Wartung durch. Die statistische Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass durch periodische Infrarotkontrollen und Behebung der ermittelten Heißstellen, Erwärmungsstellen in Hochspannungsanlagen, d. h. latente Gefahrenherde, auf ein Minimum reduziert werden können.

2. Beschreibung des Messgerätes

Die Thermovisionseinrichtung, deren modifizierter Typ auch zu militärischen Zwecken eingesetzt wird, besteht aus einer Kamera und einem Wiedergabegerät (Fig. 1). Mit dem Kamerateil wird die infrarote Strahlung der Messobjekte optisch erfasst. Über ein rotierendes Prisma und ein Spiegel-System wird sie einem mit flüssigem Stickstoff tiefgekühlten Indiumantimon (In-Sb)-Detektor zugeführt, dessen Ausgangssignal als Bildinformation zur Wiedergabeeinheit gelangt.

Auf dem Wiedergabegerät wird das Wärmeabbild schwarzweiss auf einem Bildschirm sichtbar. Es besteht aus 280 Zeilen zu 100 Punkten und wird 25mal ausgemessen und aufgezeichnet. Infolge des schnellen Messzyklus können auch Temperaturen eines bewegten Teils gemessen werden. Im weiteren ist es nicht erforderlich, dass das Gerät während der Messung absolut ruhig stehen bleibt. Ein Polaroidkamerazusatz ermöglicht Aufnahmen der Wärmeabbilder. Mittels wählbaren Empfindlichkeitsstufen ist es möglich, Temperaturbestimmungen zwischen -20°C und $+200^{\circ}\text{C}$ mit einer Temperaturauflösung von $0,2^{\circ}\text{C}$ bei 30°C und 1°C bei 100°C vorzunehmen. In einem Abstand von 10 m kann die Temperaturbestimmung auf einem Gesichtsfeld von beispielsweise $1,2 \times 1,1$ m mit dem 70° -Teleobjektiv oder $3,6 \times 3,2$ m mit dem 20° -Normalobjektiv ausgeführt werden.



Fig. 1 Thermovisionsgerät im Einsatz

Innerhalb des eingestellten Temperaturbereiches können alle Punkte gleicher Temperatur (Isothermen) auf dem Wärmebild direkt sichtbar gemacht werden (Fig. 2). Die Breite (Spektrum) der Isothermen kann von 2 bis 30 % des Temperaturbereiches eingestellt werden.

3. Messtechnik und Messresultate

Die Messungen der Warmstellen erfolgen bei Betriebsstrom oder, sofern die Möglichkeit besteht, mit Nennstrom. Die Interpretation der Messresultate gewinnt mir grösseren Strömen an Sicherheit. Werden Messungen bei weniger als 25 % Nennstrom ausgeführt, so können nur sehr grobe Fehler bemerkt werden.

Vom Operateur wird die ganze Anlage mit der Kamera abgetastet. Hat er eine Stelle mit nicht im üblichen Bereich liegender Temperatur gefunden, wird sie im Messprotokoll mit den Angaben über die Messparameter vermerkt.

Die Beurteilung der Messungen basiert in den meisten Fällen auf dem Vergleich zwischen den drei Phasen oder mit anderen Verbindungsstellen. Die meisten Fehlerstellen waren an Verbindungen zu finden, und zwar sowohl an Schraub- und Klemmverbindungen als auch an Schweissverbindungen (Tabelle I).

Wenn eine Erwärmungsstelle als kritisch taxiert wird, heisst das, dass bei maximal möglicher Stromführung nach kurzer

Aufstellung der durchgeföhrten Messungen und der Anzahl Erwärmungsstellen

Tabelle I

Anzahl Anlagen	Spannungsebene	Anzahl Felder	Erwärmungsstellen		Total
			kritisch	unkritisch	
57	9–16 kV	441	42	111	153
63	50–65 kV	357	31	79	110
23	132–150 kV	96	7	14	21
12	220 kV	52	6	6	12
3	380 kV	10	—	1	1
158	9–380 kV	956	86	211	297

genügend angezogen waren. In manchen Fällen deuten schon wesentlich kleinere Erwärmungen auf Fehler im Innern eines Schalterkopfes hin, speziell bei verhältnismässig kleinen Strömen wie bei der erwähnten Messung.

Der zeitliche Aufwand zur Messung eines Feldes beträgt $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunde. Bei Drehstromanlagen werden alle 3 Phasen gemeinsam auf dem Bildschirm des Wiedergabegerätes sichtbar gemacht. Dadurch ist die Erwärmungsbestimmung sehr einfach vorzunehmen. Fehlerstellen können sofort erkannt und durch die Erfahrung des Operateurs beurteilt werden. Für eine exakte Wärmequellenbestimmung und für die Dokumentation ist es von Vorteil, ein Thermovisionsfoto des Fehlerortes aus nicht zu grosser Distanz aufzunehmen.



Fig. 2 Thermovisionsfoto von Trennerkontakt mit Isotherme

Die weissen Zonen haben alle dieselbe Temperatur

Zeit ein Schaden entstehen könnte. Diese Warmstellen müssen unverzüglich durch entsprechende Massnahmen eliminiert werden.

Eine Erwärmungsstelle wird dagegen als unkritisch beurteilt, wenn die Erwärmung z. B. einer Verbindungsstelle gegenüber derjenigen in den anderen beiden Phasen deutlich erhöht ist, aber auch bei maximalem Betriebsstrom kein Schaden befürchtet werden muss. Die Ursache kann dann bei Gelegenheit, z. B. bei einer regulären Revision behoben werden.

Als Beispiel einer kritischen Erwärmungsstelle diene der 220-kV-Schalter nach Fig. 3. Anhand des Thermovisionsfotos wurde festgestellt, dass ein Schalterkopf eine Erwärmung von 41 °C aufwies, wobei der Betriebsstrom 144 A bei einem Nennstrom von 1000 A betrug. Es zeigte sich dann, dass die grosse Erwärmung darauf zurückzuführen war, dass verschiedene Verbindungsschrauben im Innern des Schalterkopfes nicht

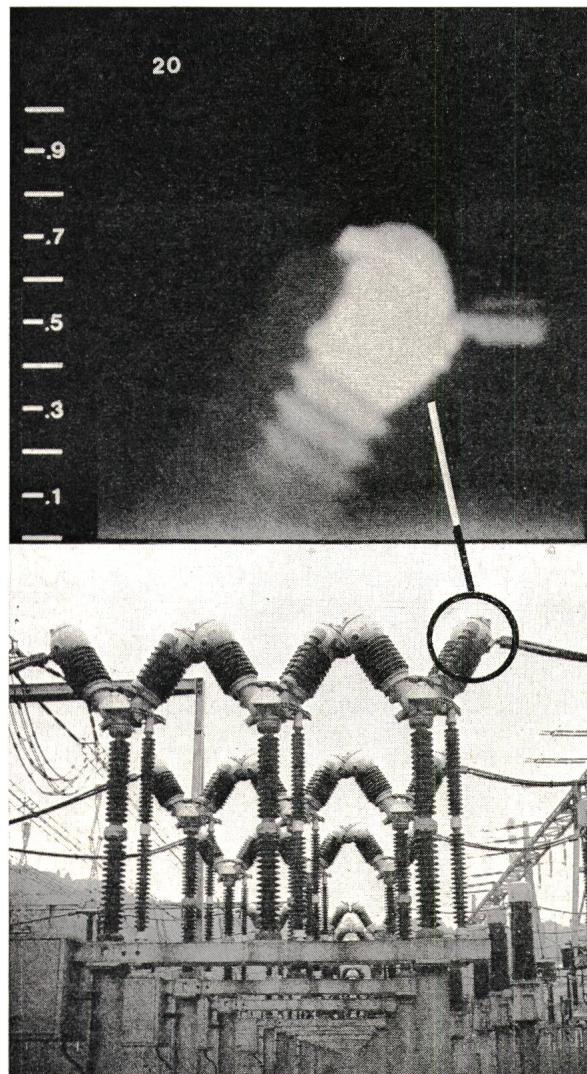


Fig. 3 Thermovisionsfoto von Schalterkopf 220 kV

Da die Kontrollen Einblick in den momentanen Stand der Grösse von Übergangswiderständen gestatten, aber auf längere Zeit gesehen, Veränderungen zu erwarten sind, müssen die Thermovisionskontrollen periodisch durchgeführt werden.

4. Folgerungen

Aus den vorliegenden Resultaten lässt sich feststellen, dass den Leiterverbindungen bei der Montage besondere Sorgfalt gebührt. Wichtig ist vor allem, dass alle Verbindungsstellen sorgfältig ausgeführt sind, sowohl Anschlüsse vom Apparat zum Leiter, als auch solche im Apparat selbst.

In Einzelfällen mussten sogar Konstruktionsverbesserungen ausgeführt werden. Die meisten Ursachen waren hingegen Fehler durch Materialdefekte, fehlende Wartung und mangelhafte Montage.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass man auch Warmstellen in Anlagen fand, in denen periodische Unterhaltsarbeiten durchgeführt wurden und eigentlich keine Erwärmungen zu erwarten waren.

Adresse des Autors

Fritz Gantenbein, Ing.-Techn. HTL,
Montagebüro, BKW Bernische Kraftwerke AG, 3000 Bern 25.

Literatur – Bibliographie

DK 621.315.2 : 621.39

SEV-Nr. A 498

Theorie und Technik der Nachrichtenkabel. Von Hans Schmid. Heidelberg, Hüthig-Verlag, 1976; 8°, 507 S., 227 Fig., 70 Tab. Preis: geb. DM 108.-.

Der Verfasser umschreibt Ziele und Leitgedanken zu diesem Werk in seinem Vorwort: «Eine Infrastruktur für Nachrichtenübertragung wäre ohne Nachrichtenkabel undenkbar. Diese Vorrangstellung verdankt das Kabel seiner Eignung für die wirtschaftliche Bereitstellung von Nachrichtenverbindungen hoher Güte für beliebige Reichweiten und beliebige Bündelstärken bei hoher Betriebssicherheit, wobei infolge unterirdischer Führung auch in einem hohen Grade die Geheimhaltung des Nachrichtengutes gewährleistet ist. Mit dem vorliegenden Buch soll durch eine Zusammenfassung der wissenschaftlichen Grundlagen und der Ergebnisse den berufenen Fachleuten ein Arbeitsbehelf und den Studierenden ein Lernbehelf angeboten werden.»

Im ersten Kapitel behandelt der Autor sehr eingehend die Theorie der Elektrodynamik und leitet davon ausgehend die allgemein bekannten Leitungsgleichungen der am häufigsten verwendeten Leitungstypen ab. Gleichsam als Zugabe folgt eine Einführung in die Vierpoltheorie. Im folgenden Kapitel werden Grundeigenschaften und Übertragungseigenschaften der gebräuchlichsten Nachrichtenkabel systematisch untersucht und beschrieben. Sehr sorgfältig zusammengestelltes Tabellenmaterial unterstreicht die Bedeutung dieses Abschnittes. Im dritten Abschnitt geht der Verfasser auf die neuesten Formen von «Kabeln» ein, nämlich die Wellenleiter, die durch die stürmische Entwicklung im Zweiten Weltkrieg für die Nachrichtentechnik ganz besondere Bedeutung gewonnen haben.

Dem nächsten Abschnitt misst der Autor besondere Bedeutung zu. Es werden alle Fälle des Nebensprechens in Nachrichtenkabeln behandelt. Durch das Nebensprechen werden oft die günstigen Grundeigenschaften der Kabel vermindert. Die Kenntnis ihrer Ursache führt oft zu konstruktiven Korrekturmassnahmen, welche dann das lästige Übersprechen weitgehend aufheben und dem Kabel seine ursprünglich idealen Eigenschaften wieder geben.

Ganz ausführlich tritt der Verfasser auf die Konstruktion von Nachrichtenkabeln ein. Diese wiederum ist eng verknüpft mit den heute üblichen Fertigungsverfahren und den verwendeten Materialien. Das achte Kapitel behandelt Nachrichtenkabel im Weitverkehr. Darin kommen einige geniale Methoden zur Sprache, die den Einsatz von Kabeln im Weitverkehr überhaupt erst möglich machen. Immer auf die Praxis bezogen, kommen Probleme der Montage, der Aderverbindungstechnik usw. zur Sprache.

che. Soll ein Kabelnetz über längere Zeit die von ihm geforderte Übertragungsgüte ausweisen, dann muss dies messtechnisch erfassbar sein. Messen gehört also zur Wartung und zum Unterhalt eines Kabelnetzes. Eine ganze Industrie widmet sich dem Bau von sehr präzisen Messgeräten für die Nachrichtentechnik.

Ein umfangreiches Literaturverzeichnis unterstützt den Lernenden in seinen Bestrebungen, an die Quellen der Theorie der Technik der Nachrichtenkabel zu gelangen. Dieses Werk darf als Standardwerk auf seinem Fachgebiet betrachtet werden.

F. Furrer

DK 681.31.-523.8 : 658.284 : 62-52

SEV-Nr. A 494

Prozessdatenverarbeitung. Zusammenfassende Beschreibung des Prozessrechners und seiner Anwendung als Automatisierungsmittel. Von Tomas Martin. Berlin, Elitera-Verlag, 1976; bro. 8°, 160 S., 75 Fig., 15 Tab.

Prozessrechner und Prozessdatenverarbeitung sind aus der heutigen Industrieproduktion und ganz allgemein aus Wissenschaft und Technik nicht mehr wegzudenken, da nur Computer in der Lage sind, die komplexen Produktionsanlagen zu steuern und in ihrer Gesamtheit zu überwachen.

Der Autor, der seit Jahren in verschiedenen Industriezweigen auf diesem Gebiet tätig ist, versteht es, dank einer ausgezeichneten Gliederung einen umfassenden Überblick zu vermitteln. Anhand zahlreicher praktischer Beispiele werden die Grundlagen der Prozessverarbeitung, Hard- und Software sowie Anwendungsprogramme behandelt, ohne im einzelnen zu viele Details zu bringen. Die Anwendungsbeispiele stammen aus dem Tätigkeitsbereich des Autors bei AEG-TELEFUNKEN und beim Kernforschungszentrum in Karlsruhe. Die Überwachung eines Siedewasserreaktors mit 900 Analog- und 5300 Digitaleingaben verarbeitet über rund 80 Programme und zeigt sämtliche Möglichkeiten der Prozessdatenverarbeitung. Der Gesamtüberblick ist jedoch herstellerunabhängig dargestellt.

Der Inhalt des Buches wird durch ein umfangreiches Sach- und Literaturverzeichnis abgerundet und durch eine graphische Darstellung des Inhalts auf den inneren Umschlagseiten ergänzt. Begrüssenswert ist die konsequente Verwendung der deutschen Terminologie in diesem sonst so stark mit englischen Fachausdrücken durchsetzten Fachgebiet.

Das Werk eignet sich vornehmlich als Nachschlage- und Übersichtshandbuch und ist weniger geeignet als Lehrbuch für Anfänger, denn eine gewisse Grundausbildung wird vorausgesetzt.

Chr. Pauli