

**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:** 76 (1985)

**Heft:** 6

**Artikel:** Einsatz der Thermografie zur Überwachung elektrischer Schaltanlagen und Anlageteile

**Autor:** Florin, C.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-904582>

### **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:** 26.01.2026

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

# Einsatz der Thermografie zur Überwachung elektrischer Schaltanlagen und Anlageteile

Ch. Florin

*Im Interesse der Versorgungssicherheit ist man bei elektrischen Schaltanlagen bestrebt, durch gezielten Unterhalt eine möglichst hohe Betriebssicherheit zu erreichen. Dies setzt den Einsatz aussagekräftiger und wirtschaftlicher Prüfverfahren voraus. Konventionelle Verfahren vermögen die heute gestellten Bedingungen nur noch teilweise zu erfüllen, so dass sich das Verfahren der Thermografie, einer berührungslosen Temperaturkontrolle, immer mehr durchsetzt. Die Temperaturen unter Last stehender Teile werden dabei in Form eines Bildes dargestellt. Auf diese Weise lassen sich schadhafte Stellen rationell und gefahrlos erkennen. Unter Mitwirkung von geschulten Messoperatoren und einer anlagekundigen Person ist eine zuverlässige Klassierung des Schadens möglich.*

*Dans l'intérêt de la sécurité de l'approvisionnement, on s'efforce d'obtenir par un entretien approprié des postes de distribution une sécurité d'exploitation aussi élevée que possible. Cela suppose l'utilisation de systèmes de contrôle plus parlants et plus rentables. Les procédés conventionnels ne peuvent plus répondre que partiellement aux exigences qui sont posées, si bien que le procédé thermographique, un système de contrôle de température sans contact, s'impose de plus en plus. Les températures des éléments soumis à une charge sont présentées sous forme d'une photo. De cette manière, les parties défectueuses peuvent être décelées rationnellement et sans danger. Avec la collaboration d'opérateurs de mesures professionnels et d'une personne connaissant l'installation, il est possible d'établir de manière fiable l'importance des dommages.*

## Adresse des Autors

Christian Florin, Florin & Scherler AG, Alpenstrasse 39, 6010 Kriens

## 1. Einleitung

Trotz grossen Anstrengungen, die Betriebssicherheit elektrischer Anlagenteile oder gesamter Schaltanlagen unter Einhaltung der grösstmöglichen Sicherheit gewährleisten zu können, gibt es eine Anzahl von potentiellen Schadstellen, bei denen ein Versagen plötzlich zu einem unplanmässigen Unterbruch der Energieversorgung führen kann.

Den für die Betriebssicherheit solcher Anlagen und Bauteile Verantwortlichen sind die Schwierigkeiten bekannt, diese Fehlerquellen möglichst frühzeitig ausfindig zu machen. Aus diesem Grunde werden oft regelmässig gefühlsmässige Temperaturkontrollen, vor allem an wichtigen Anlageteilen, durchgeführt, da es möglich ist, auf Grund der Temperatur entsprechender Elemente (Leiter, Verbindungen, Schalter, Trenner usw.) auf deren Funktionszustand zu schliessen.

Das wahrscheinlich heute noch weitverbreitete Verfahren beschränkt sich vorwiegend auf manuelle oder optische Kontrollen definierter Anlagenteile. Als weitere Möglichkeit bietet sich ein periodischer Anlageservice an, bei dem gesamte Anlagen abgeschaltet werden, um lose Schraubverbindungen anzuziehen (Schraubenkontrolle) und entsprechende Schaltelemente zu reinigen und zu unterhalten. Zudem gibt es auch Möglichkeiten, nach anderen «Kontaktverfahren» bestimmte Anlagenteile unter Last zu prüfen (Wachsbandagen, örtliche Temperaturmessungen usw.).

Es zeigt sich aber, dass konventionelle Methoden zeit- und personalaufwendig sind und deshalb der tatsächliche Nutzen solcher Methoden fraglich erscheint. Aus diesem Grunde gilt es, ein Mess-System einzusetzen, welches zuverlässige Kontrollen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erlaubt.

## 2. Thermografie – wirtschaftliche Kontrollmethode

Bei der Anwendung der Thermografie wird die Tatsache ausgenutzt, dass alle Gegenstände über dem absoluten Temperaturnullpunkt ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) Strahlen in Form elektromagnetischer Wellen aussenden. Diese Strahlen werden durch eine hochentwickelte Messausrüstung erfasst und auf einem Monitor als sichtbares Bild dargestellt (Thermogramm oder Temperaturbild).

Da die Strahlungsintensität von der Temperatur des strahlenden Körpers abhängt, lässt sich dem erfassten Signal eindeutig eine Temperatur zuordnen (hell entspricht «warm», dunkel entspricht «kalt»).

Das Einzigartige dieses Messverfahrens ist, dass das zu untersuchende Objekt bei der Prüfung nicht verändert oder zerstört wird und dass sich die Temperaturverteilung flächenmässig in Form eines Bildes darstellen lässt. Die Messungen erfolgen völlig berührungslos.

Figur 1 zeigt die mobil einsetzbare Messausrüstung mit Kamera, Kon-

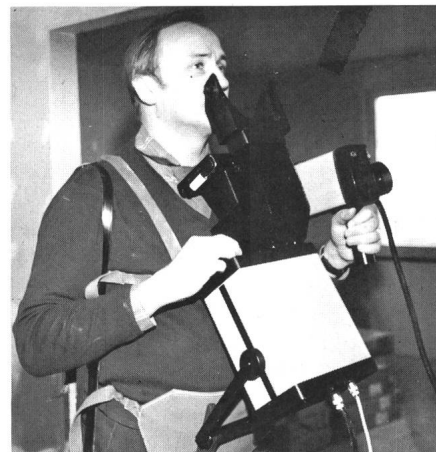


Fig. 1 Mobile Messausrüstung

Anlagen			Komponenten		
mit Thermografie geprüft	ohne thermische Schwachstellen	mit thermischen Schwachstellen	insgesamt geprüft	mit erhöhter Wärmeabstrahlung	
				gesamt	davon kritisch
200	42	158	etwa 60 000	1520	360

trollmonitor, Dokumentationseinheit und Batterie für den netzunabhängigen Betrieb.

Inspektionen mit dem Thermografiesystem im Hochspannungssektor sollten bei maximal möglicher Betriebsstromstärke, mindestens aber mit 30% Nennlast durchgeführt werden.

Die Auswertungen der Resultate aus Untersuchungen in 200 Schaltanlagen (verschiedene Spannungsbereiche) führten zu den in Tabelle I zusammengestellten Ergebnissen.

In 42 Anlagen wurden keine thermischen Unregelmässigkeiten festgestellt, während in 158 Anlagen solche vorhanden waren. Von den geprüften Anlageteilen bzw. Komponenten sind etwa 2,5% mit erhöhter Temperatur ins Messprotokoll aufgenommen worden. Unter Berücksichtigung der Einflüsse aller Randbedingungen waren etwa 24% der im Messprotokoll definierten Anlageteile als kritisch zu bezeichnen.

Die festgestellten Temperaturerhöhungen zwischen den «gesunden» und den «kranken» Anschlussteilen wurden mit 3 °C...170 °C (!) definiert.

Die als kritisch bezeichneten Bereiche erfordern jeweils eine sofortige Korrektur (Austausch oder Reparatur), während die restlichen Anlageteile bei nächster Gelegenheit instand gestellt werden sollten.

### 3. Klassierung des Schadenrisikos

Eine Klassierung des Schadenrisikos allein aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen ist in der Regel nicht zulässig (Tab. II). Vielmehr sollten die im Messprotokoll angegebenen Temperaturdifferenzen dem Verantwortlichen als auslösender Faktor dienen, eine gegebene Situation näher zu analysieren.

Da in vielen Anlagen die Messungen nicht bei Nennstromstärke durchgeführt werden können, ergibt sich die Notwendigkeit der Extrapolation von der Belastung während der Messung auf Nennstromverhältnisse. Im Messprotokoll werden jeweils beide Werte angegeben. Im weiteren können beispielsweise unterschiedliche Windverhältnisse ebenfalls eine Berücksichtigung im Auswertungsprogramm erfordern. Dies bedeutet, dass alle Faktoren, welche das Messergebnis beeinflussen, vom Messoperator bereits während der Untersuchung berücksichtigt und im Messprotokoll festgehalten bzw. in die Auswertung miteinbezogen werden. Bauteil- oder anlage-spezifische Bedingungen sind jedoch durch den Verantwortlichen bei der Klassierung des Schadenrisikos zu berücksichtigen.

Die folgenden Beispiele aus der Praxis bestätigen, dass die Temperaturdif-

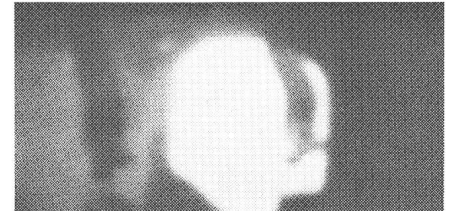
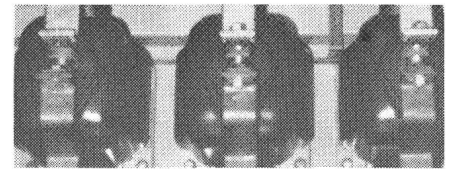


Fig. 2 Erhöhte Temperaturen bei einem Stromwandler  
Normalaufnahme (oben) und Thermogramm (unten)

ferenz alleine nicht als Faktor zur Risikoklassierung beigezogen werden darf.

#### 3.1 Stromabhängige Schäden («Stromwärme»)

- Ausführungskontrolle, Temperaturdifferenz 10 °C: In einer neu montierten Anlage konnte ein Schaden an einem Stromwandler vermieden werden (Fig. 2). Als Ursache fand man eine lose Schraubverbindung.
- Funktionskontrolle, Temperaturdifferenz 4 °C: Ein neuer Transformator wurde auf seine Funktion hin untersucht. Es zeigte sich, dass ein Isolator bei der Spannungseinführung trotz geringer Belastung erwärmt war (Fig. 3), was auf einen Fabrikationsmangel im Innern zurückgeführt werden konnte.
- Periodische Inspektion, Temperaturdifferenz 15 °C: Periodische Inspektionen erlauben einen gezielten Unterhalt in elektrischen Anlagen. Erwärmungen infolge erhöhtem

Klassierung des Schadenrisikos unter normalen Betriebsbedingungen Tabelle II

Ursache		stromabhängig		spannungsabhängig
Temperaturdifferenz °C		Schadstelle direkt sichtbar	Schadstelle indirekt sichtbar	
klein	1-2	völlig unkritisch	unkritisch	kritisch
	2-5	unkritisch	kritisch	sehr kritisch
mittel	5-10	unkritisch	sehr kritisch	extrem kritisch
	10-20	(un)kritisch		
gross	20-30	kritisch		
	30-40	kritisch		
	40	sehr kritisch		

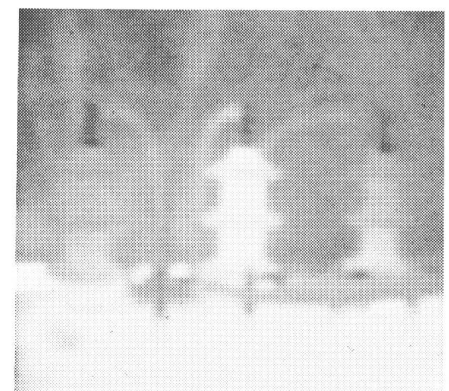


Fig. 3 Erhöhte Temperatur eines Isolators bei einem neuen Transformator

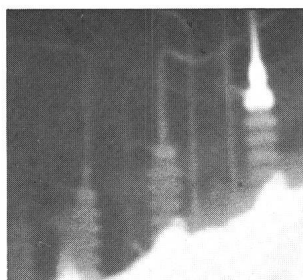
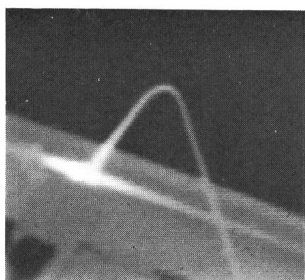


Fig. 4  
Thermogramm einer  
Trafo-Einführung  
(rechts) und einer  
T-Stück-Verbindung  
(links)

Übergangswiderstand können zuverlässig klassiert werden (Fig. 4).

### 3.2 Spannungsabhängige Schäden («Spannungswärme»)

Unter Spannungswärme versteht man die Auswirkung von kleinsten Durchschlägen oder auch von Wirbelstromeeinflüssen.

Einige dieser Spezialfälle sind im Kapitel 5 beschrieben.

## 4. Durchführung der Messungen

Die Messungen werden durch einen speziell geschulten Messoperateur in Zusammenarbeit mit einer anlagekundigen Person ausgeführt.

Dabei werden die Temperaturen aller Anschlüsse und Verbindungen unter Last stehender Anlagenteile flächemässig und berührungslos erfasst und in Form eines «Wärmebildes» auf einem Monitor dargestellt. Auf diese Weise lassen sich gefahrlos und rationell schadhafte Stellen erkennen und klassieren.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt gleich im Anschluss an die Untersuchung. Um Unklarheiten zu vermeiden, wird das Thermogramm einer schadhafte Stelle mit einem Normalbild ergänzt.

Das Messprotokoll enthält:

Standortangaben:

- Anlage
- Objekt
- Feld

Anlagedaten:

- Phase
- Belastung bei Messung
- Maximal mögliche Belastung

Inspektionsdaten:

- Temperatur des gesunden Elementes bei Messstrom
- Temperatur des gesunden Elementes bei Nennstrom
- Temperatur des kranken Elementes bei Messstrom

- Temperatur des kranken Elementes bei Nennstrom
- Temperaturdifferenzen zwischen dem gesunden und dem kranken Element bei Mess- sowohl als auch bei Nennstrom

Einflussfaktoren:

- Umgebungstemperatur
- Windverhältnisse

Der Inspektionsbericht enthält:

Dokumentation:

- Thermogramme der schadhafte Komponente
- Normalbilder mit genauer Definition der schadhafte Komponente
- Messprotokollblatt
- Eventuelle Hinweise, Skizzen oder Erläuterungen

Nachfolgend werden einige Beispiele aus einem Untersuchungsbericht vorgestellt.

### 4.1 Gesamtbericht

Der Untersuchungsbericht enthält sämtliche Protokollblätter und die entsprechenden Bilderbeilagen derjenigen Komponenten, welche als schadhafte bezeichnet wurden.

Pro Schaltanlage wird ein Untersuchungsbericht erstellt, welcher dem Verantwortlichen für die Betriebssi-

cherheit als Grundlage für die Planung von Unterhaltsarbeiten dient. Aufgrund der Dokumentation der Schadstelle im Thermogramm und im Normalbild ist eine eindeutige Festlegung des schadhafte Elementes jederzeit garantiert.

### 4.2 Protokollblatt

Im Protokollblatt sind alle Daten so festgehalten, dass jederzeit eine gegebene Mess-Situation nachvollzogen werden kann (Fig. 5). Im weiteren sind darin die Temperaturdifferenzen als erstes Klassierungskriterium für Mess- und Nennlastbedingungen bereits enthalten.

### 4.3 Bilddokumentation

Die Bilddokumentation wird für alle als schadhafte bezeichneten Elemente erstellt und mit einer Bildnummer versehen, welche sich mit der Bezeichnung im Protokollblatt deckt (Fig. 6).

## 5. Beispiele von thermografischen Inspektionen

### 5.1 Durchführungen

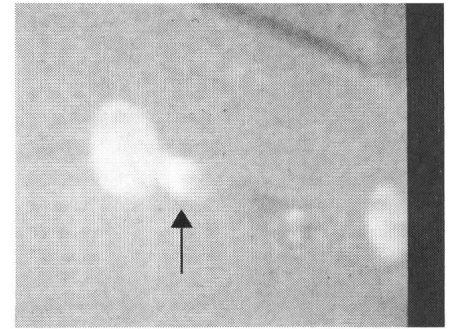
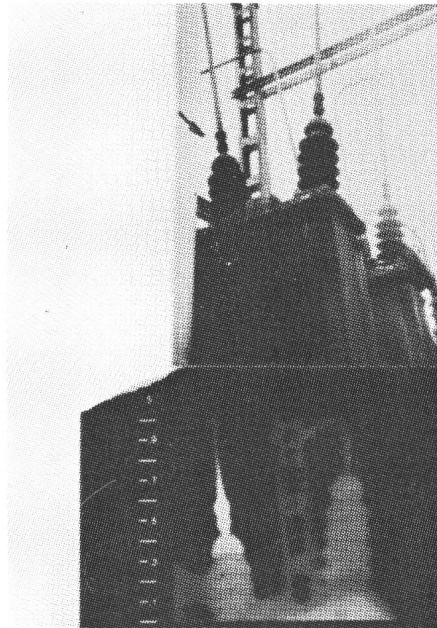
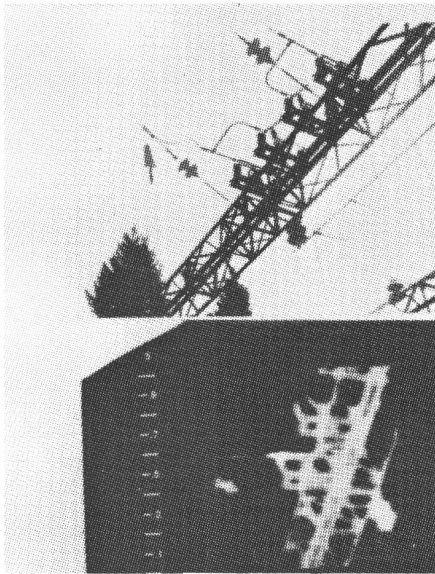
Der Aufbau von Durchführungen ist theoretisch recht anspruchsvoll. Die Leitfähigkeit der Steuerbeläge muss zur Sicherstellung der richtigen Funktion des Elementes vorausbestimmt werden. Die Elemente sind so aufgebaut, dass die einzelnen Steuerbeläge von den nächstfolgenden elektrisch getrennt sind.

THERMOVISIONSMESSUNG										LEITUNG : Hr. Florin				DATUM : .....			
ANLAGE : .....										OPERATEUR : .....				BLATT : 1 VON:..			
Bild Nr.	Feld	Objekt	Phase			Temperatur °C						Belastung <sup>A</sup>		Repa- ratur	Nach- messung		
			R	S	T	Umg.	Objekt	Temp. Diff.				I <sub>m</sub>	I <sub>n</sub>				
						T <sub>a</sub>	T <sub>Gm</sub>	T <sub>Gn</sub>	T <sub>Km</sub>	T <sub>Kn</sub>	T <sub>x1-Ty</sub>	T <sub>x2-Ty</sub>			Dat/Vis	Dat/Vis	
1	1002	Trenner 201 NB															
2	1002	Trenner 201 *				18	18	-	-	-	-	-	400				
3	1002	Schalter 2 NB															
4	1002	Schalter 2				18	18	-	27	-	9	-	600				
5	1006	Stromwandler 7 s NB															
6	1006	Stromwandler 7 s				18	18	-	38	-	20	-	250				
7	1006	Schalter 1 s NB															
8	1006	Schalter 1 s				18	18	-	35	-	17	-	150				
9	1002	Trenner 1102 + Kupplung NB															
10	1002	Trenner 1102 + Kupplung				18	18	-	66	-	48	-	450				
11	1002	Stromwandler + Schalter 1002 NB															
12+12a	1002	Stromwandler + Schalter 1002				18	18	-	56	-	38	-	300				
13	1005	Trenner + Kupplung NB															
14	1005	Trenner + Kupplung				18	18	-	79	-	61	-	350				
Bemerkungen: * Leicht warm (auch Trenner 1202-Tr. 4101)																	

Bemerkungen: \* Leicht warm (auch Trenner 1202, Tr. 4101)

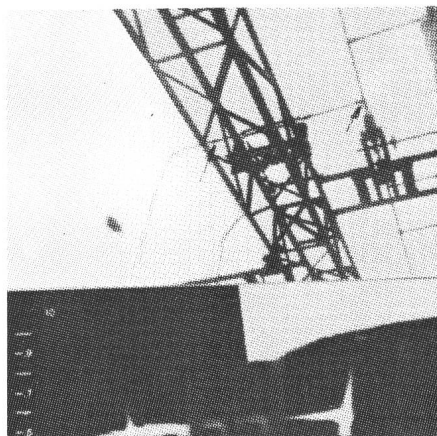
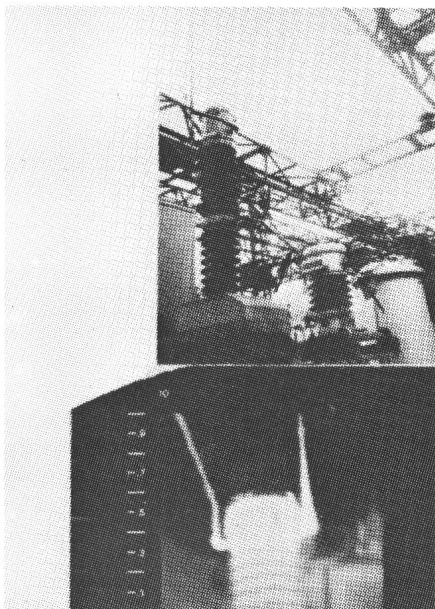
Fig. 5 Beispiel eines Kontrollblattes



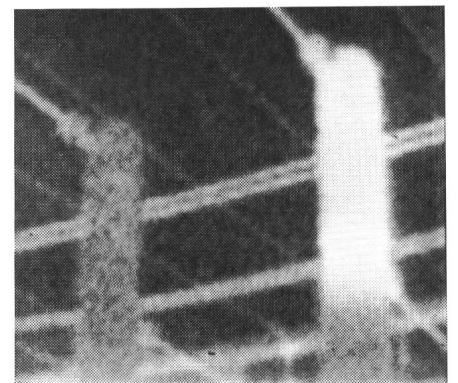
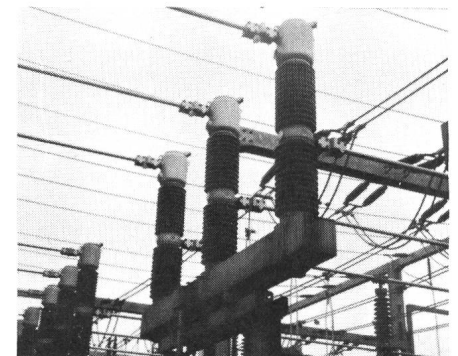


**Fig. 7 Thermogramm einer Durchführung**

Die kleine Temperaturerhöhung von 2 °C ist in diesem Fall nicht stromabhängig und deshalb kritisch



**Fig. 6 Auszug aus der Bilddokumentation, jeweils mit Normalbild und Thermogramm**



**Fig. 8 Ungleiche Temperaturverteilung bei einem Schalter; Normalbild (oben) und Thermogramm (unten)**

Bei einer Routineuntersuchung stellte man im Mittelteil einer solchen Durchführung leichte Erwärmungen fest (Fig. 7). Die genaue Analyse der Ursachen führte zum Schluss, dass die elektrische Isolation zwischen zwei Steuerbelägen fehlerhaft war, d.h. es bestanden, vorläufig örtlich begrenzt, elektrische Durchschläge. Dies war beim demontierten Element an den Kohlespuren auf den Isolations- und Steuerbelägen erkennbar.

Die störungsfreie Funktionsweise einer solchen Durchführung kann unter den an die Stromversorgung gestellten Bedingungen nicht mehr garantiert werden. Im vorgetragenen Falle wurden neue Durchführungen montiert.

### 5.2 Schalter

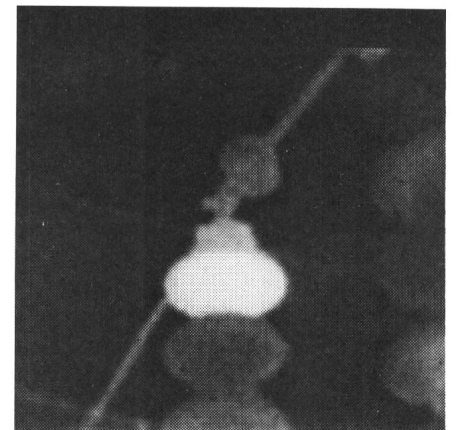
Der Schalteraufbau ist konstruktiv einfach, so dass eigentlich im Schalterinnern keine Wärme produziert werden sollte.

Bei thermografischen Routineuntersuchungen zeigten sich ungleiche Temperaturverteilungen an solchen Elementen (Fig. 8). Widerstandsmessungen bestätigten die Thermografie-Diagnose. Als Ursache fand man eine nicht einwandfrei montierte Schraubverbindung im Schalterinnern.

### 5.3 Stützisolator

Die Untersuchung eines Stützisolators zeigte eine Erwärmung unterhalb

des obersten Tellers (Fig. 9). Die genaue Abklärung ergab folgendes:



**Fig. 9 Örtliche Erwärmung eines Stützisolators**

Alte Stützisolatoren sind, als sogenannte Hohlraumisolatoren ausgeführt. Infolge der Alterung des Elementes entstehen an der Stelle der Bolzeneinführung Haarrisse, durch welche Feuchtigkeit in den Hohlraum eindringt. Bei entsprechender Witterung und elektrischer Belastung finden kleine Entladungen im Hohlraum statt, welche zu dieser Erwärmung führen.

Gemäss bisherigen Erfahrungen besteht kein besonderer Anlass, solche Erscheinungen kritisch einzustufen. Dennoch ist zu empfehlen, solche Elemente an wichtigen Punkten auszuwechseln.

#### 5.4 Aluminiumverbindungen

Bei verschiedenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass bei Aluminium-Stromverbindungen mehr Warmstellen festgestellt werden als bei Kupferverbindungen (Fig. 10). Trotz dieser Feststellung ergaben Sichtkontrollen nach dem Abschalten der Anlagen keine sichtbaren Hinweise auf irgendwelche Einflüsse.

Materialspezifische Abklärungen ergaben, dass Aluminium an Luft relativ schnell oxydiert, so dass die Leitfähigkeit verschlechtert wird. Es entsteht auf diese Weise ein erhöhter Übergangswiderstand, was im Extremfalle

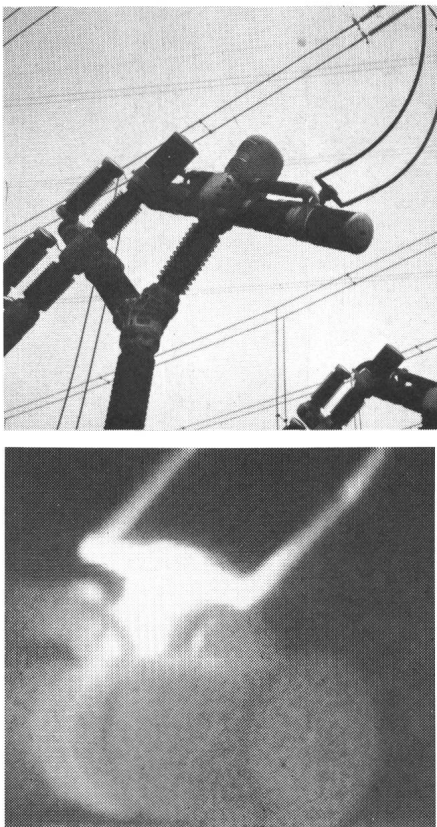


Fig. 10 Heisse Stellen bei einer Aluminiumverbindung  
Normalbild (oben) und Thermogramm (unten)

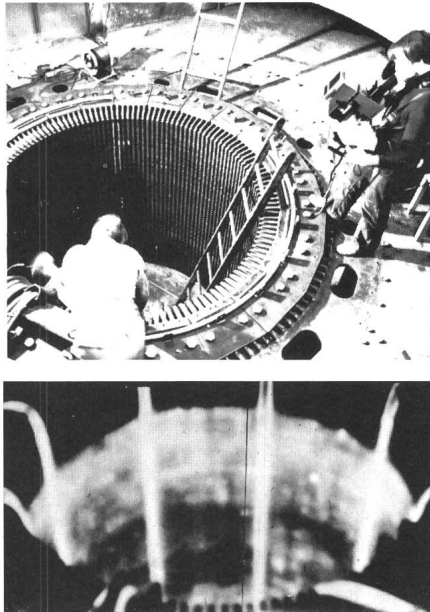


Fig. 11 Thermografische Inspektion des Stators

zur Zerstörung führen kann. Die Feststellungen bei den Inspektionen zeigten, dass sich die Erwärmung oft von den Schraubenlöchern aus ausbreitet, was darauf hindeutet, dass die Materialbehandlung (Promatisierung) in diesen Zonen kritisch ist, nicht erfolgte oder beschädigt wurde.

#### 5.5 Generatoren

Zur Begrenzung von Verlusten sind die Statorkerne aus vielen tausend dünnen Eisenblechen hergestellt. Jedes Blech ist gegen das danebenliegende isoliert. Dies erlaubt eine grössere Flussdichte und begrenzt das elektrisch induzierte Feld sowie den damit verbundenen Strom auf die einzelne Blechschicht.

Sind die Bleche zu einem Eisenkern geschichtet, so treten bei schlechter Isolation zwischen den einzelnen Blechen grosse Ströme auf. Solche Stromflüsse üben wesentliche Einflüsse auf den Eisenkern aus, wobei folgende Effekte auftreten:

1. Die  $I^2R$ -Heizung kann Grund genug sein, die Schichtbleche zu schmelzen. Solche Ursachen können zu bedeutenden Schäden führen.
2. Ist die Statorwicklung in geschlossenem Kontakt mit Teilen des Kerns, so kann eine abnormale Eisenerwärmung solche Temperaturen erreichen, dass die Isolation der Statorwicklung zerstört wird.
3. Eine zu grosse Wärmebelastung kann den Zerfall der Wicklungsisolation beschleunigen.

Die Möglichkeit, solche Kontrollen unter betriebsähnlichen Bedingungen rationell und gezielt mit Hilfe der Thermografie durchzuführen, ist heute angewandte Praxis. Dabei werden thermische Schwachstellen im Kerngefüge sofort auf einem Monitor in Form eines Bildes sichtbar. Als wesentlicher Vorteil ist zu bemerken, dass die gefundenen Schwachstellen quantitativ ausgewertet und fotografisch dokumentiert werden können (Fig. 11).

Dies belegt folgendes Beispiel aus der Praxis: Ein Generator wurde nach 20jähriger Laufzeit revidiert. Vor dem Einbau der neuen Wicklung wurde der Stator einer Qualitätskontrolle unterzogen. Die Prüfergebnisse waren überzeugend: Hot-Spots konnten in Minutenschnelle definiert und quantitativ bestimmt werden.

Messdaten:

Umgebungstemperatur	19 °C
Statortemperatur vor Induzierung	17 °C
Aufheizzeit	15 min
Induzierung	1,5 Tesla
Statortemperatur nach Aufheizung	20–21 °C
Temperatur an der wärmsten Stelle	30 °C

#### 5.6 Hochspannungsleitungen

Thermografische Kontrollen von Freileitungen erfolgen entweder vom Fahrzeug oder vom Helikopter aus.

Dabei werden das Thermogramm und/oder das Normalbild gleichzeitig auf einem Videoband gespeichert, so dass die Ergebnisse lückenlos dokumentiert und in der Hauptzentrale betrachtet werden können.

Das Thermogramm gibt dabei Aufschluss über mögliche Schäden, welche sich anbahnen. Das Normalbild erlaubt einen genauen Rückschluss auf die örtliche Gegebenheit.

Entsprechende Untersuchungen werden routinemässig ausgeführt unter Beizug einer anlagekundigen Person. Figur 12 zeigt als Beispiel das Thermogramm eines Leitungsmastes.

#### 5.7 Elektrische Gebäudeinstallationen

In neu installierten elektrischen Anlagen wurden bereits thermografische Kontrollen zur Sicherstellung der Ausführungsqualität der eingesetzten Elemente und vor allem der Schraubverbindungen durchgeführt.

Auf diese Weise können Schwachstellen bereits vor dem Auftreten eines unplanmässigen Ausfalles erkannt

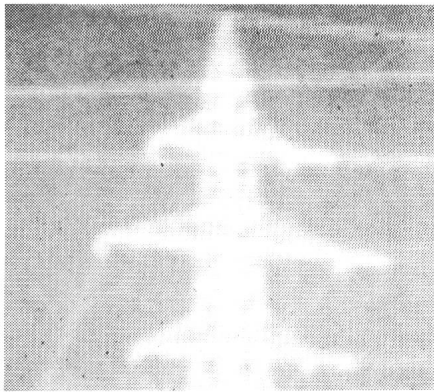


Fig. 12 Thermogramm eines Leitungsmastes

und mit wenig Aufwand instandgestellt werden.

Dabei werden alle Schraubverbindungen und alle Elemente unter möglichst hoher Belastung geprüft. Das Messprotokoll wird für alle geprüften Punkte geführt, so dass eine lückenlose Dokumentation vorliegt. Die Bildunterlagen (Fig. 13) und die entsprechenden Planunterlagen sind, mit der jeweiligen Nummernbezeichnung versehen, Bestandteil des Untersuchungsberichtes.

## 6. Digitale Verarbeitung von Infrarotbildern

Ein Thermogramm (Infrarotbild) besteht aus vielen einzelnen Bildpunkten. Durch einen Quantendetektor wird für jeden Bildpunkt ein Signal erzeugt, welches bis anhin als Analogsignal auf einem Monitor dargestellt wurde. Neuerdings steht auch ein System zur Verfügung, mit dem erstmals Thermogramme kostengünstig digitalisiert und verarbeitet werden können. Das System ermöglicht die quantitative Auswertung, digitale Abspeicherung und farbige Wiedergabe der erfassten Temperaturbilder.

Die mit der Infrarot-Kamera aufgenommenen Thermogramme werden

auf einem Kontrollmonitor als Wärmebild dargestellt. Das interessierende Bild kann nun über ein Interface digitalisiert und im Rechner gespeichert werden. Im Falle des mobilen Einsatzes werden die Thermogramme auf einen Bandspeicher abgelegt und in einer späteren Phase über den Rechner ausgewertet. Im Falle des stationären Einsatzes des Systems können die Bilder direkt auf Disketten abgespeichert werden.

Einmal digitalisierte Bilder bleiben zur weiteren Verarbeitung erhalten und können je nach Kundenwunsch auch auf Grossrechneranlagen weitergeleitet werden. Die Bilddokumenta-

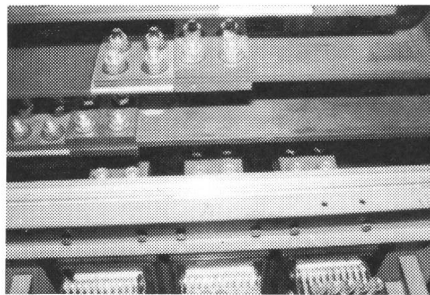


Fig. 13 Normalbild (oben) und Thermogramm (unten) einer Leiterverbindung

Bei losen Schraubverbindungen treten Wärmefelder auf, die thermografisch sicher erkannt werden

tion erfolgt fotografisch oder über einen Farbprinter.

Das System der rechnerunterstützten Thermografie eröffnet in den Bereichen der medizinischen Diagnostik und bei industriellen Anwendungen ungeahnte Möglichkeiten. Wärmebilder können beliebig gespeichert und auch zu späteren Zeitpunkten ausgewertet werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, thermische Veränderungen, ob statisch oder dynamisch, eindeutig festzustellen und quantitativ zu erfassen. Die Auswertungsmöglichkeiten sind beinahe beliebig.

## 7. Thermovisions-Kontrollservice

Aus Kosten- oder Personalgründen ist es oft nicht wirtschaftlich, eigene Thermovisionssysteme anzuschaffen. Durch einen neu geschaffenen «Thermovisions-Kontrollservice» ist es jedoch möglich, die optimale Betriebssicherheit durch wirtschaftliche Prüfverfahren zu garantieren und einen gezielten Unterhalt aufzubauen.

Das erstellte Messprotokoll und der Untersuchungsbericht erlauben jederzeit Aussagen über den Anlagezustand und dienen als Grundlage bei der Organisation des gezielten Unterhaltes.

Beim Einsatz der Thermografie bestehen folgende Möglichkeiten:

- Durchführen der Untersuchung als Dienstleistung. Dabei werden Messoperator und alle zum Untersuch notwendigen Anlagen bereitgestellt und ein abgeschlossener Untersuchungsbericht erstellt.
- Stellen der Anlagen. Dabei wird mietweise ein Infrarotsystem bereitgestellt, welches durch eigenes Personal bedient wird.

Durch das Zusammenwirken von geschulten Messoperatoren und anlagekundigen Personen ist eine zuverlässige Klassierung des Schadenrisikos möglich.